

**ÇAMAŞIR MAKİNESİ KAZAN KÖRÜĞÜ TEST
APARATININ TASARIM SÜRECİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ekrem KURAL

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Konstrüksiyon

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cevat Erdem İMRAK

HAZİRAN 2009

**ÇAMAŞIR MAKİNESİ KAZAN KÖRÜĞÜ TEST
APARATININ TASARIM SÜRECİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ekrem KURAL
503071206**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Haziran 2009**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cevat Erdem İMRAK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Serpil KURT (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI (YTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Herhangi bir projede, ancak takım olarak çalışılırsa sonuca ulaşılabilir. Karşılaşılan sorunlara tek kişinin çözüm bulması yerine, takım olarak sonuca ulaşmak hem daha sağlıklı çözümlerin üretilmesini, hem de farklılıkların ortaya çıkmasını kolaylaştırır. Bu bağlamda çalışma süresince bana yardımını esirgemeyen kişilere teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Bu çalışmanın sonuçlanması için gerekli olan ve meslek hayatım boyunca kullanacağımı düşündüğüm temel bilgileri bana öğreten tez danışmanım Prof. Dr. Cevat Erdem İmrak'a çok teşekkür ederim.

Öncelikle bu çalışmanın sonuçlanması için birlikte çalıştığım ve bana her zaman yol gösteren, Arçelik A.Ş. Arge Direktörlüğü Yapısal Tasarım Yöneticiliği'nden Sayın Ömer Hakan Okutan'a ve Arçelik A.Ş. Çamaşır Makinesi İşletmesi Yapısal Tasarım Takım Liderliği lideri Sayın İbrahim Yıldırım'a çok teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma sırasında birebir beraber çalıştığımız ve sonuçların anlaşılmasında bana büyük destek sağlayan Arçelik A.Ş. Çamaşır Makinesi İşletmesi'nden Sayın İsak Varol'a, Sayın Onur Boztaş'a ve Sayın Gökhan Gürbüz'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma boyunca sıkıntılarımı beraber yaşadığım Gülşah Dalgıç'a ve son olarak da benim bu günlere gelmemi sağlayan ve hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerin en büyüğünü sunuyorum.

Mayıs, 2009

Ekrem KURAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Mevcut Problem ve Projenin Amacı	2
1.2 Literatür Taraması	3
1.2.1 Literatürdeki standartlarda tanımlanmış test yöntemleri.....	3
1.2.2 Literatürdeki standartlarda tanımlanmamış test yöntemleri.....	9
1.2.3 Ölçüm sistemlerinin tasarım süreci	10
1.3 Tezin Kapsamı	14
2. KÖRÜK TEST DÜZENEGİ TASARIM KRTİERLERİ.....	15
2.1 Körük Malzemesinin Özellikleri.....	15
2.1.1 Sertlik ölçümü	15
2.1.2 Çekme testi.....	18
2.2 Körük Parçasında Karşılaşılan Problemler ve Çalışma Koşulları.....	20
2.3 Körük Dinamik Kuvvetler Ölçüm Düzeneği İstekler Listesi.....	23
3. KÖRÜK TEST DÜZENEGİNİN KONSEPT TASARIMLARI.....	27
3.1 Körük Test Düzeneği Sensör Seçimi	28
3.2 Körük Test Düzeneği Konsept Tasarımları.....	36
4. KÖRÜK TEST DÜZENEGİNİN DETAYLI TASARIM AŞAMASI	49
4.1 Körük Test Düzeneği Tahrik Mekanizmasının Detaylı Tasarımı	49
4.2 Körüğün Test Düzeneğine Bağlantısının Detaylı Tasarımı	57
4.3 Körük Test Düzeneğinde Kullanılan Hareketli Parçaların Yer Bağlantısı	61
4.4 Körük Test Düzeneği Ölçüm Zincirinin Oluşturulması.....	63
5. YAPILAN ÇALIŞMALAR	67
6. SONUÇLAR	73
6.1 İleride Yapılabilecek Çalışmalar.....	74
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ.....	77

KISALTMALAR

ASTM : American Society for Testing and Materials

CAD: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

CAE: Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)

CAM: Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)

DIN: Deutsches Institut für Normung

EPDM: Etilen Propilen Dien Monomeri

FEM: Finite Elements Method (Sonlu Elemanlar Metodu)

IRHD: Uluslar arası Kauçuk Sertliği

ISO: International Standards Organisation

LVDT: Linear Variable Differential Transformer

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Kuvvet Sensörü Seçim Tablosu	30
Çizelge 3.2 Yük Hücresinin Teknik Özellikleri.....	31
Çizelge 3.3 Deplasman Sensörü Karşılaştırma Tablosu	35

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Basit Çamaşır Makinesi Modeli.....	2
Şekil 1.2 Direkt Yöntem İçin Test Düzeneği	4
Şekil 1.3 Dolaylı Yöntem Test Düzeneği.....	4
Şekil 1.4 Sürüş Noktası Tekniği Test Düzeneği	5
Şekil 1.5 Şematik Sertlik Ölçümü Yöntemi	6
Şekil 1.6 Young Modülünün Logaritması ile Sertlik Arasındaki İlişki	7
Şekil 1.7 Test Numunesi Ölçüleri(mm)	7
Şekil 1.8 Çekme Cihazı	8
Şekil 1.9 Körük Test Düzeneği	9
Şekil 1.10 Tek Serbestlik Dereceli Kütle Yay Damper Sistemi	9
Şekil 1.11 Tasarım Süreci	11
Şekil 2.1 Sertlik Ölçümü Uç Tipleri.....	16
Şekil 2.2 Sertlik Ölçümü Ayak Tipleri.....	16
Şekil 2.3 Kalınlık-Sertlik İlişkisi.....	17
Şekil 2.4 Sertlik Birimleri Arasındaki İlişki.....	18
Şekil 2.5 Çekme Testi Örneği	19
Şekil 2.6 Temassız Deplasman Sensörü ile Yapılan Ölçüm	19
Şekil 2.7 Körük Yırtılması	20
Şekil 2.8 Çamaşır Makinesi Eksen Takımı	21
Şekil 2.9 Kazanın Değişik Dengesiz Yüklerde Yaptığı Deplasman Miktarları	22
Şekil 2.10 Sıkma Kalkışındaki Deplasman-Zaman Grafiği	22
Şekil 2.11 Test Düzeneğinin Temel Fonksiyonu	24
Şekil 3.1 Yük Hücrelerinde Kullanılan Gerilim Ölçerler	28
Şekil 3.2 Kapasitif Kuvvet Sensörü	29
Şekil 3.3 S Tipi Yük Hücresi	31
Şekil 3.4 Yük Hücresi Teknik Çizimi	32
Şekil 3.5 LVDT Tipi Deplasman Sensörü	33
Şekil 3.6 Eddy Current Elektrik Şeması.....	34
Şekil 3.7 Lazer Deplasman Sensörü Çalışma Prensibi	34
Şekil 3.8 Körük Test Düzeneği Deplasman Sensörü	36
Şekil 3.9 Deplasman Sensörü Teknik Çizimi.....	36
Şekil 3.10 Körük Test Düzeneği Konsept Tasarımı.....	37
Şekil 3.11 Konsept Tasarım Kesit Görünüşü	38
Şekil 3.12 Körük Test Düzeneğinin İkinci Konsept Tasarımı	40
Şekil 3.13 Lineer Yatak.....	41
Şekil 3.14 Körük Test Düzeneğinin Kuvvet Ölçümü İçin Oluşturulan Yapı.....	41
Şekil 3.15 Körük Test Düzeneği Üçüncü Konsept Tasarımı	43
Şekil 3.16 Körük Test Düzeneği Tahrik Mekanizması	43
Şekil 3.17 Körüğün Test Düzeneğine Bağlantı Şekli.....	44
Şekil 3.18 Kuvvet Sensörünün Bağlantı Şekli	45
Şekil 3.19 Lineer Yatakların Yere Bağlantı Şekli.....	46
Şekil 4.1 Körük Test Düzeneği Tahrik Mekanizması	50
Şekil 4.2 Küçük Kasknak Milinin Yatak Yapısı	51

Şekil 4.3 Motor Milinde Rulmanların Üstünde Oluşan Kuvvetler	52
Şekil 4.4 Büyük Kasnak Milinin Yatak Yapısı	53
Şekil 4.5 Çark Milinde Rulmanlar Üstünde Oluşan Kuvvetler.....	54
Şekil 4.6 Tahrik Mekanizması Kolu	55
Şekil 4.7 Kol Boyunun Değiştirilmesi	55
Şekil 4.8 Hareketi İleten Kol Mili.....	56
Şekil 4.9 Kol Milinin Sonlu Elemanlar Modeli	56
Şekil 4.10 Körüğün Test Düzenine Bağlantısını Sağlayan Yapı	58
Şekil 4.11 Körüğün Bağlı Olduğu Plakanın Hareketli Plakaya Bağlantı Şekli	58
Şekil 4.12 Körük Test Düzeninde Kuvvet Ölçümünü Sağlayan Yapı	59
Şekil 4.13 Körük Test Düzenine Kalibrasyon Yapısı	60
Şekil 4.14 Hareketli Parça Yataklarının Yere Bağlantısı.....	61
Şekil 4.15 Körük Test Düzenine Ayaklarının Tasarımı.....	62
Şekil 4.16 Körük Test Düzenine Ölçüm Zinciri	64
Şekil 4.17 Agilent U2353A Veri Toplama Sistemi	64
Şekil 5.1 Kazan Körüğü	67
Şekil 5.2 Kuvvet - Deplasman Grafiği.....	68
Şekil 5.3 Kuvvet - Deplasman Grafiği.....	69
Şekil 5.4 Deneme Ölçümü Sonuç Grafiği.....	69
Şekil 5.5 Ölçüm Grubunun Direngenlik Zaman Grafiği.....	70
Şekil 5.6 Körük Üstünde Arka Arkaya Yapılan Ölçüm Sonuçları.....	71

SEMBOL LİSTESİ

F_{at} : Atalet Kuvveti
 $F_{kayış}$: Kayış Üstünde Oluşan Kuvvet
 F_{r1} : Birinci Rulmanın Üstüne Gelen Kuvvet
 F_{r2} : İkinci Rulmanın Üstüne Gelen Kuvvet
 F_{ϕ} : Çarkın Mile Aktardığı Kuvvet
 L_1 : Ölçümden Önceki Numune Boyu
 L_2 : Kopma Anında Numune Boyu
 m_2 : 2 numaralı parçanın kütlesi
 P_{maks} : Maksimum Ölçülen Kuvvet
 r : Eksen kaçıklığı miktarı
 S : Kesit Alanı
 Y : Kopma Dayanımı
 Z : Yüzde Kopma Uzaması
 σ_{max} : Mil Üstünde Oluşan Maksimum Gerilme
 ω : Açısal hız

ÇAMAŞIR MAKİNESİ KAZAN KÖRÜĞÜ TEST APARATININ TASARIM SÜRECİ

ÖZET

Rekabet koşullarının artmasıyla beraber, firmalar tüketicilere ürünlerini en ucuz şekilde sunmaya çalışırlar. Üretim maliyetlerinin düşmesiyle beraber kalitenin korunması gereklidir. Kalitenin artması üretici firmanın kullanıcının gözünde itibarının artmasını sağlayacağı gibi, bakım maliyetlerinin azalmasını sağlar. Bu durum çamaşır makinesi için de geçerlidir. Kaliteli bir çamaşır makinesinden çamaşırları en temiz şekilde yıkaması beklendiği gibi, bakım ihtiyacının seyrekliği de beklenmektedir.

Çamaşır makinesinde kullanılan kazan körüğü viskoelastik yapıya sahip bir malzemeden oluşmaktadır. Parçada oluşan hatalar yıkama sıvısının dışarıya sızmasına yol açabileceği gibi, makinenin titreşimli ve gürültülü çalışmasına yol açabilmektedir. Bu amaçla çalışmada çamaşır makinesi kazan körüğünün kalite kontrol amaçlı yapılan test düzeneğinin tasarım süreci anlatılmaktadır.

Çalışmada öncelikle literatürde karşılaşılan elastik malzemelere uygulanan standart ve standart olmayan yöntemler açıklanmıştır. Burada kullanılan yöntemlerin körük malzemesinin karmaşık yapısından dolayı yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda bu kısımda kullanılan yöntemlere göre parçada oluşan hataları belirleyebilmek için ölçülmesi gereken özellikler de belirlenmiştir.

Problemin açıklık kazanmasıyla birlikte körük test düzeneğinin tasarım süreci başlamıştır. Daha sonraki bölümlerde tasarım kriterleri belirlenmiştir. Burada tasarım kriterlerini maliyetlerin belirlediği gibi çamaşır makinesinde oluşan koşullar da belirlemektedir. Tasarım kriterlerinin veya çalışmada kullanılan isimle istekler listesinin oluşturulmasından sonra konsept tasarım aşamasına geçilmiştir. Konsept tasarım aşamasında ortaya çıkan seçeneklerden bir önceki aşamada belirlenen tasarım kriterlerine göre seçim yapılmıştır. Seçilen konsept tasarımdan sonra detaylı tasarım aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada test düzeneğinin fiziksel olarak bütün özellikleri belirlenmiştir. Aynı zamanda kullanılan sensörler için oluşturulan ölçüm zinciri de bu aşamada belirlenmiştir.

Daha sonraki aşamada detaylı tasarım aşamasında oluşturulan körük test düzeneğinin ortaya çıkardığı sonuçlar gösterilmiştir. Sonuçlarda öncelikle test düzeneğinin birbirinden farklı özelliklerdeki körükleri ayırt ettiği ve ölçümlerin kendini tekrarlayabildiği gösterilmiştir. Sonuçlar kısmında ise yapılan çalışma anlatılmış ve ileride yapılabilecek eklemeler hakkında bilgi verilmiştir.

DESIGN PROCESS OF WASHING MACHINE BELLOWS' TEST APPARATUS

SUMMARY

With the increasing competition conditions, companies are working to offer their products to consumers by the cheapest way. Protection of quality is required with the falling production costs. Increase of quality provides that reputation of the company will increase on the user's eye. At the same time, maintenance costs will decrease. This situation also applies to washing machines. Washing clothes in the clearest manner is expected from a high quality washing machine. Also the infrequency of need for maintenance is expected.

Washing machine bellows' material is consist of viscoelastic structure. Failure in the bellows production may lead to leak out of the washing liquid and also may lead to run the washing machine in high vibration and noise conditions. In this study , design process of washing machine bellows test apparatus is described.

Fristly, in the study Standard and non-standard test methods are described which are applied to the elastic materials. It is determined that these methods are inadequate because of the complex structure of bellows' material. At the same time, it is determined that which properties of the bellows must be measured according to these methods.

After the problem is clearly identified, desing process of bellows' test apparatus starts. Design criteria of the test apparatus are identified at the following sections. Design criterias are identified byy the costs and washing machine's working conditions. After the identification of the design criterias, conceptual design process begins. Appropriate conceptual design is selected according to the design criterias and created wish list. Afetr the selection of the conceptual design, embodiment design process begins. In this section all of the dimensions and used parts fort he apparatus are identified. At the same time, the measurement chain of the apparatus is determined in this section.

In teh next section, bellows test apparatus results are shown. After that it is determined that the mesaurement results are distinguished from each other and repeated. In the result section, all study is summarized and described which studies can be made int the future.

1. GİRİŞ

Gelişen rekabet koşullarına göre üreticilerin ürünlerinde kaliteyi en ucuz şekilde arttırmaları gerekmektedir. Kalitenin artması ürünün bakım maliyetlerini azaltacağı gibi tüketicinin gözünde de firmanın itibarının artmasını sağlar. Bu durum çamaşır makinesi için de geçerlidir. Çamaşır makinesindeki temel amaç çamaşırları mümkün olan en iyi şekilde yıkamaktır. Bir çamaşır makinesinin kalitesini bu amaç belirleyeceği gibi aynı zamanda ihtiyaç duyulan bakım ihtiyacının azlığı ve sıklığı da belirler.

Kaliteli bir ürün yapabilmek için, ürünü test etmek gerekmektedir. Bu testler toplu şekilde ürüne uygulanabileceği gibi içindeki parçalara da ayrı olarak uygulanabilir. Testlerin nasıl ve hangi koşullarda yapılacağı ürünün geliştirilmesiyle ve tüketiciden gelen ihtiyaçlara göre değişim gösterir. Buna göre zamanla karşılaşılan değişik testler için yeni düzeneklerin tasarımı gerekmektedir.

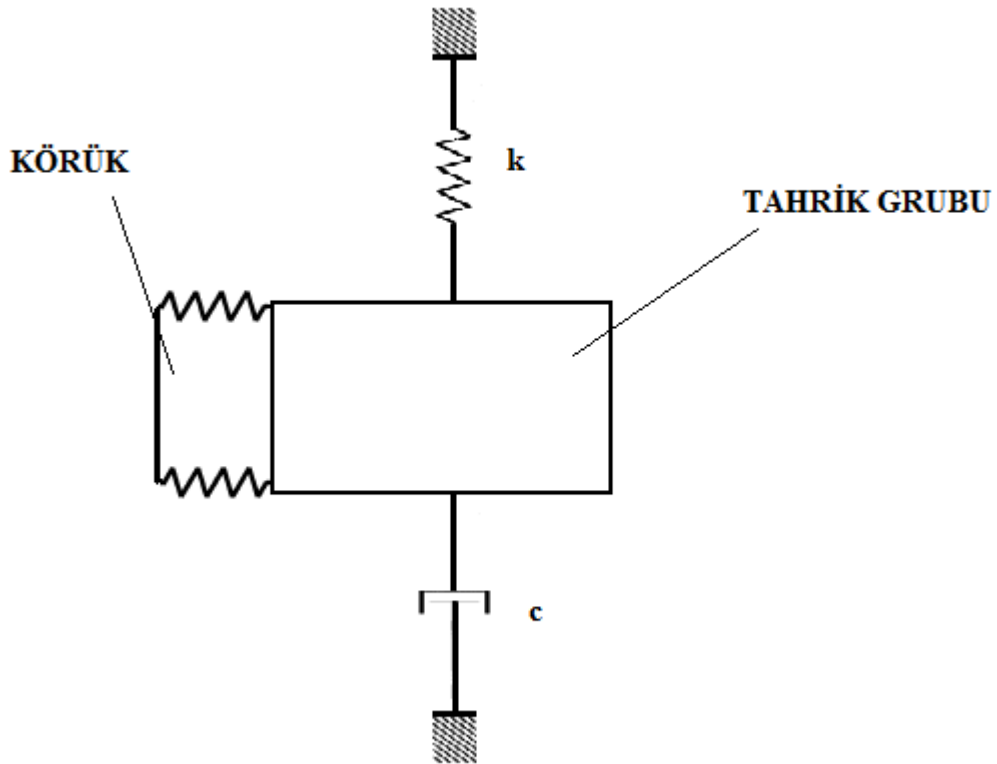
Tasarım eldeki kaynakları karşılaşılan ihtiyaçlara göre şekillendiren ve mühendislikle iç içe geçmiş bir meslektir. Bir parça veya sistem tasarımı ise belirlenen bir amacı yerine getirebilmek için yapılan bir optimizasyondur. Test düzeneklerinin, başka bir adıyla ölçüm sistemlerinin tasarımı herhangi bir parça tasarımı için geçerli olan süreçten farksızdır.

Bu çalışmada çamaşır makinesinde kullanılan körük isimli parçanın öncelikle malzeme özellikleri ve mevcutta standart olarak yapılan testler anlatılmış ardından kalite kontrol amaçlı yapılan test düzeneğinin tasarım süreci ve problemi oluşturan isteklere göre kullanılan ölçüm sistemi anlatılmış ve sonuçlar ortaya konmuştur. Ayrıca kalite kontrol amaçlı yapılabilecek olan test düzeneklerinin genel tasarım ölçütleri açıklanmıştır.

1.1 Mevcut Problem ve Projenin Amacı

Günümüzde birçok sanayi dalında malzeme testlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Malzeme testleri bir ürünün kalitesini ortaya koyduğu gibi, aynı zamanda üreticinin tasarım, imalat veya proses hatalarının belirlenmesini sağlar. Malzeme testleri standartlarla açıklandığı gibi aynı zamanda özel koşullarda testi yapabilecek aparat tasarımı gerektirebilir.

Çamaşır makinesinde kullanılan körük birincil görevi yıkama sıvısının ve deterjanın kazanın dışına çıkmasını engellemek olan bir sızdırmazlık elemanıdır. Körüğün sanayide kullanılan diğer sızdırmazlık elemanlarında olduğu gibi malzemesi EPDM'dir. EPDM viskoelastik özelliklere sahip kauçuk esaslı bir malzemedir. Bu parçada oluşabilecek hatalar çamaşır makinesinde yürümeye yol açabileceği gibi yıkama sıvısının dışarı akmasını sağlayabilir.



Şekil 1.1 Basit Çamaşır Makinesi Modeli

Şekil 1.1’de çamaşır makinesinin basit bir modeli görülmektedir. Burada makinenin tahrik grubu yay ve damperle gövdeye tutturulmuştur. Dinamik açıdan bakıldığında körük makinede üçüncü bir yay ve damper gibi davranır. Bu yüzden kullanılan körüğün dinamik özelliklerinin bilinmesi gerektiği gibi parçadaki hataların montajdan önce belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmadaki asıl amaç çamaşır makinesi körüğünün imalat hatalarını belirleyebilecek bir test aparatı tasarımını ortaya koymaktır. Ayrıca bu sırada kalite kontrol amaçlı yapılabilecek olan test aparatlarının genel tasarım kriterlerini de belirleyebilmektir.

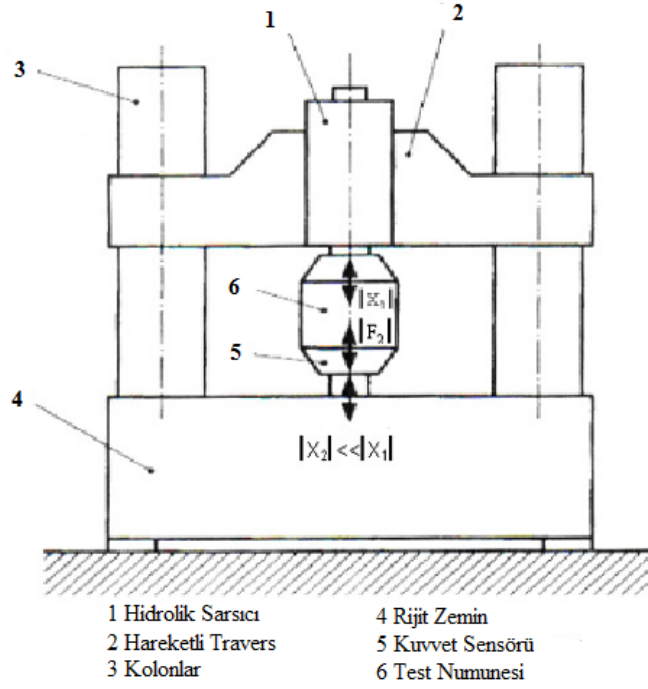
1.2 Literatür Taraması

Bu bölümde öncelikle literatürdeki kauçuk esaslı malzemelerin standartlarla tanımlanmış ve standartlarla tanımlanmamış test yöntemleri açıklanmıştır. Ardından test aparatları ve ölçüm sistemleri için tasarım sürecinin literatürdeki çalışmaları gösterilmiştir.

1.2.1 Literatürdeki standartlarda tanımlanmış test yöntemleri

Plastik malzemelerin özelliklerini ortaya koyan ilk çalışmalar 1930’ların sonunda Leaderman adlı araştırmacı tarafından yapılmıştır. 1940’larda savaş nedeniyle çalışmalarda yavaşlama görülmektedir. Kauçuk esaslı malzemelerin fiziksel testleri hakkındaki ilk çalışmalar 1960’larda Dr J R Scott tarafından yapılmıştır [1].

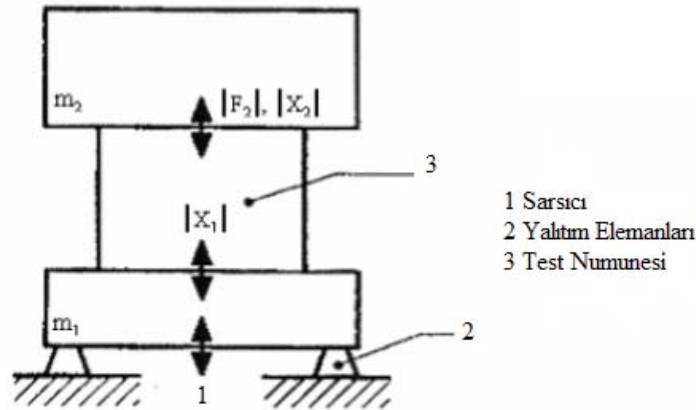
ISO 10846 “Elastik Elemanların Vibro-Akustik Transfer Özelliklerinin Akustik ve Titresim Laboratuvarı Ölçümleri” başlıklı beş bölümden oluşan bir standarttır. Bu standartta elastik elemanların standart test prosedürleri anlatılmaktadır. Birinci bölümde standardın genel kapsamı anlatılmaktadır. Koşullara göre hangi test düzeneğinin seçileceği hakkında bilgi verilmektedir. İkinci bölümünde elastik takozların direngenliklerini saptamak için kullanılan ve şekil 1.2’de gösterilen “Direkt Yöntem” anlatılmaktadır [2,3].



Şekil 1.2 Direkt Yöntem İçin Test Düzeneği [3]

Şekil 1.2’de gösterilen Sistemde Elastik takoz sabit bir hidrolik sarsıcıyla sabit genlikte tahrik edilip, kuvvet sensör vasıtasıyla okunmaktadır. Kuvvet deplasmana bölünerek malzemenin dinamik direngenliği bulunmaktadır.

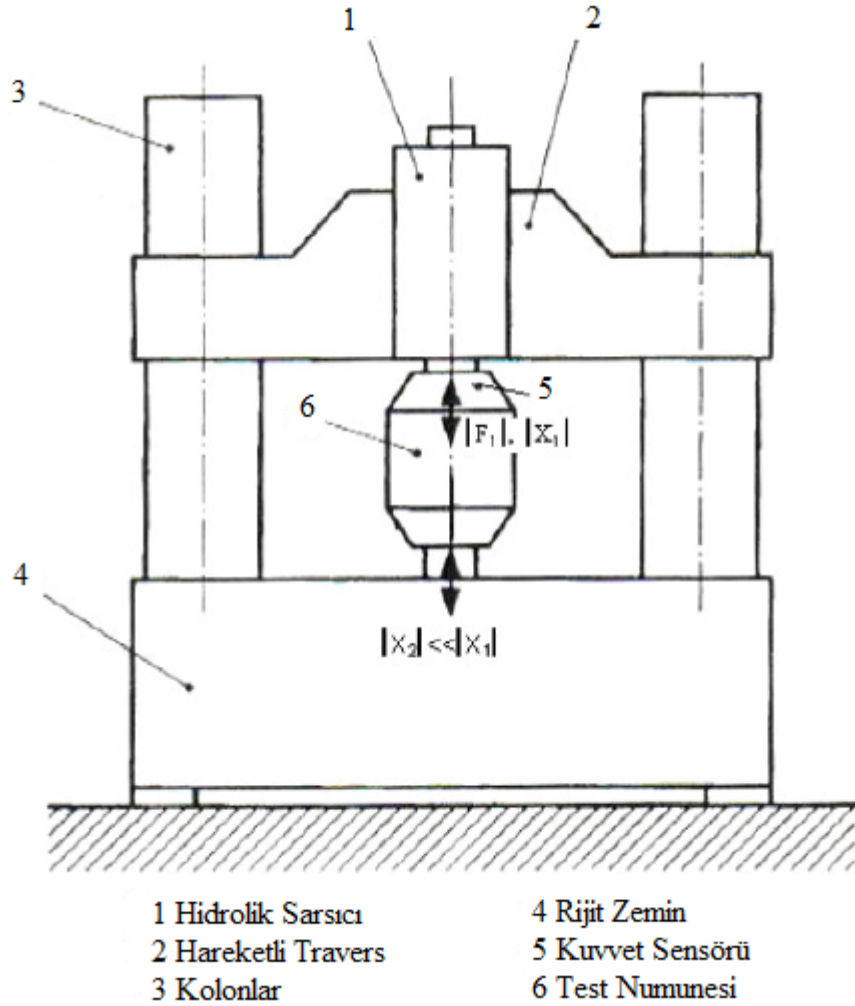
Standardın üçüncü bölümünde “Dolaylı Yöntem” anlatılmaktadır. Şekil 1.3’te Bu yöntemin şematik gösterimi bulunmaktadır [4].



Şekil 1.3 Dolaylı Yöntem Test Düzeneği[4]

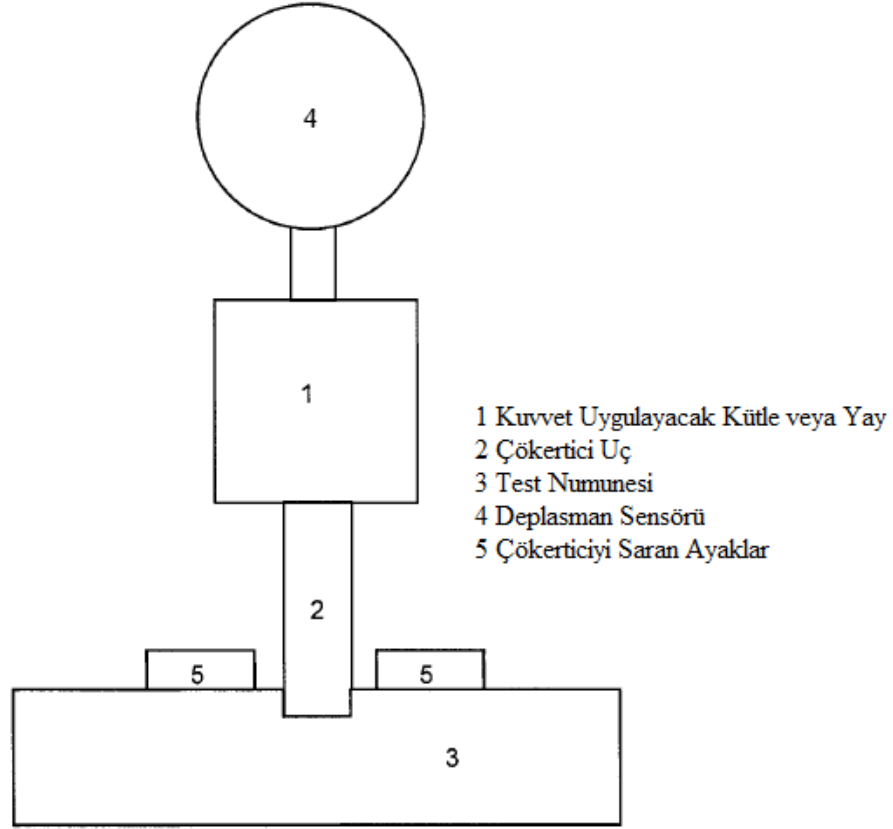
Standardın dördüncü bölümünde ikinci ve üçüncü bölümünde bahsedilen elastik takozlarda kullanılan yöntemlerin diğer elemanlara olan konfigürasyonları açıklanmıştır [5].

Standardın beşinci bölümünde ise elastik takozların dinamik özelliklerinin ölçümündeki “Sürüş Noktası Tekniği” anlatılmıştır. Bu yöntem Şekil 1.4’te gösterilmiştir. Bu düzeneğin standardın ikinci bölümünde gösterilen direkt yöntemden tek farkı kuvvet sensörünün sarsıcı tarafında olmasıdır [6].



Şekil 1.4 Sürüş Noktası Tekniği Test Düzeneği[6]

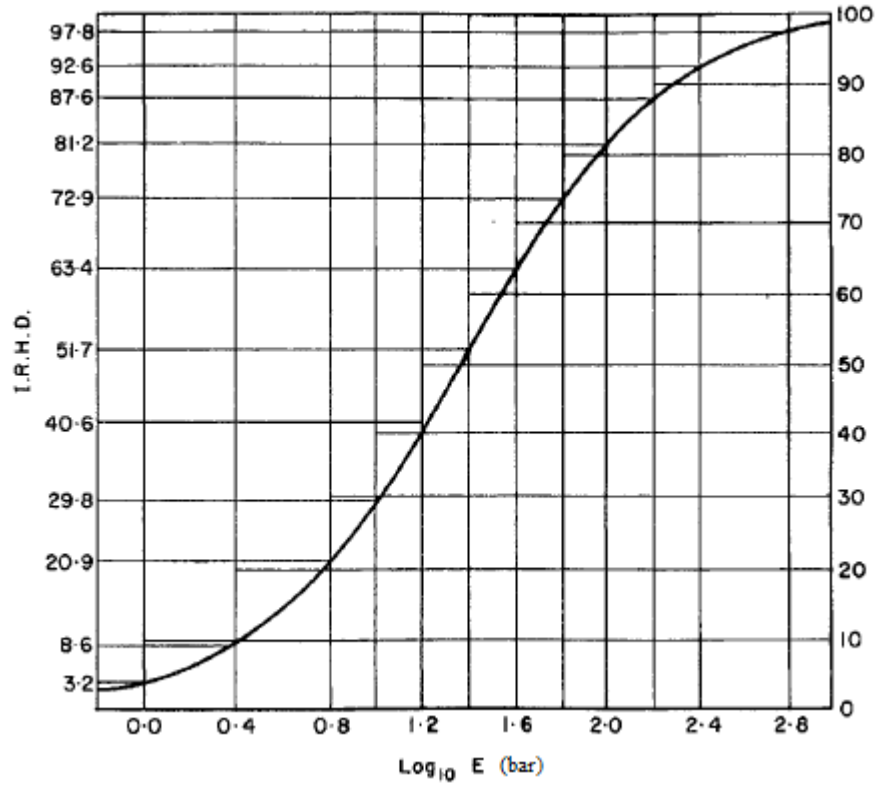
ISO 18517 numaralı vulkanize veya termoplastik esaslı elastik malzemelerin sertlik ölçümlerine giriş isimli standartta ise elastik malzemelerin sertlik ölçümünün önemi vurgulanmış ve yöntemlerin arasında nasıl seçim yapılacağı anlatılmıştır [7].



Şekil 1.5  ematik Sertlik  l  m  Yöntemi[8]

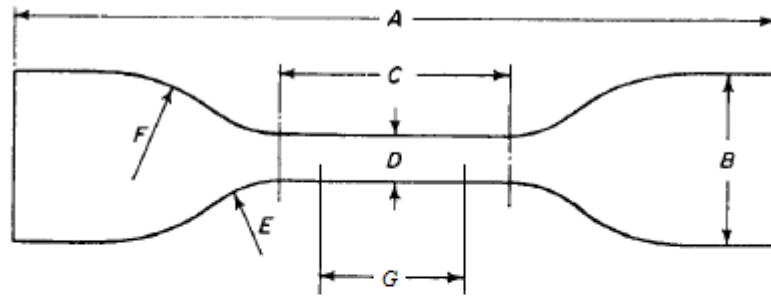
Şekil 1.5'te sertlik ölçümünün şematik bir gösterimi mevcuttur. Dört numara ile gösterilen k t le veya yay ile çökertici uca bilinen bir yük uygulanmaktadır. Bu yük sayesinde uç elastik malzemenin içine geçer. Ucu ilerlemesi deplasman sensörü ile kontrol edilir. Bu mesafe sayesinde sertlik belirlenmiş olur [8].

ISO 48 numaralı vulkanize veya termoplastik esaslı elastik malzemelerin sertliklerinin tayini isimli standartta ölçümün nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Bu standart sertliği 10 IRHD ile 100 IRHD değişen elastik malzemeler için kullanılmaktadır. 0 IRHD Young Modülü 0 olan malzemeyi 100 IRHD ise Young modülü sonsuz olan malzemeyi temsil eder. Standartta belirtilene göre çapı 2.5 mm olan bilye uç malzemeye 5.7 N yük altında 30 saniye etki eder. Test numunesinin alt ve üst yüzeyleri pürüzsüz ve düz olmalı aynı zamanda kalınlığı 8 ile 10 mm arasında olmalıdır. Birkaç deney yapılacaksa ve sonuçlar kar ıla tırılacaksa kalınlıkların aynı olmasına dikkat edilmelidir.  l  m yerleri kenardan en az 13 mm ve birbirinden en az 5 mm uzak olmalıdır. Bu standarda göre ortaya çıkan Young Modülü sertlik eğrisi  ekil 1.6'da verilmiştir [9].



Şekil 1.6 Young Modülünün Logaritması ile Sertlik Arasındaki İlişki

DIN 53504 numaralı standartta ise elastik malzemelerin çekme/kopma dayanımının ve kopma uzamasının tayini anlatılır. EPDM için uygun test numunesi ölçüleri Şekil 1.7'de verilmiştir [10].



ÖLÇÜLER	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4
A	115	75	50	35
B	25 ± 1.0	12.5 ± 1	8.5 ± 0.5	6 ± 0.5
C	33 ± 2	25 ± 1	16 ± 1	12 ± 0.5
D	6 + 0.4/-0	4 ± 0.1	4 ± 0.1	2 ± 0.1
E	14 ± 1	8 ± 0.5	7.5 ± 0.5	3 ± 0.1
F	25 ± 2	12.5 ± 1	10 ± 0.5	3 ± 0.1
G	25 ± 0.5	20 ± 0.5	10 ± 0.5	10 ± 0.5

Şekil 1.7 Test Numunesi Ölçüleri[10]



Şekil 1.8 Çekme Cihazı

DIN 53504 numaralı standartta belirtilen çekme test cihazı Şekil 1.8’de görülmektedir. Standartta göre ölçülecek numune sayısı en az beş olmalıdır. Numuneler ölçülecek odada en az 30 dakika şartlandırılmalıdır. Deney öncesi kalınlık en az üç farklı yerden ölçülmelidir. Deneyde standart çekme hızı 500 mm/dakika’dır. Malzemenin kopma dayanımı aşağıdaki şekilde hesaplanır [10]:

$$Y = \frac{P_{maks}}{S} \quad (1.1)$$

Bu denklemde Y, kopma dayanımını (MPa), P_{maks} ölçülen maksimum kuvveti (N), S ise başlangıçtaki kesit alanını (mm^2) göstermektedir. Kopmada yüzde uzama ise aşağıdaki şekilde hesaplanır:

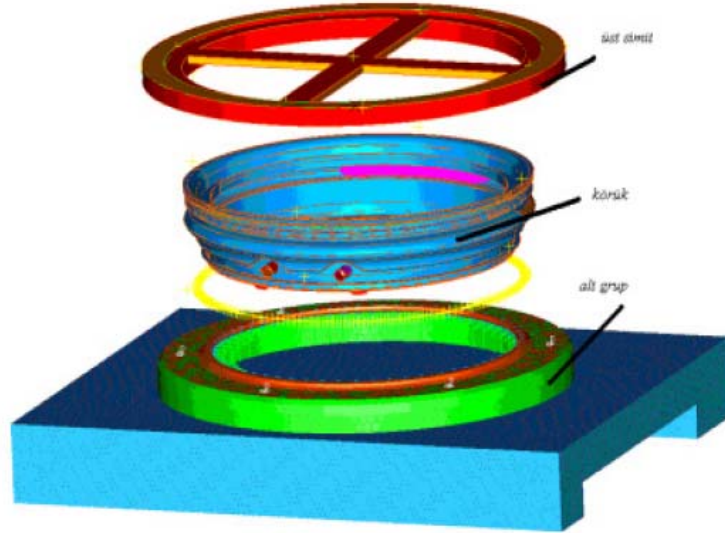
$$Z = \left(\frac{L_2 - L_1}{L_1} \right) \times 100 \quad (1.2)$$

Bu denklemde ise Z yüzde kopma uzamasını, L_1 ölçme boyunu (mm), L_2 ise kopma anındaki ölçme boyunu (mm) gösterir.

Yukarıda standartlaştırılmış test düzeneği oldukça pahalı dinamik ölçüm sistemleridir. Ayrıca ölçmek istediğimiz parça olan körük için bu sistemler üstüne ek aparatlar yapmak gerekmektedir.

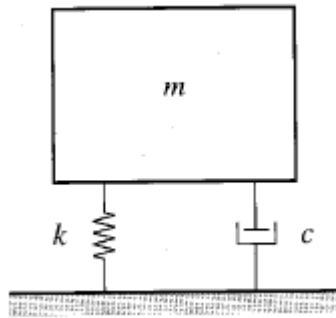
1.2.2 Literatürdeki standartlarda tanımlanmamış test yöntemleri

Varol, yüksek lisans çalışmasında körük parçasının dinamik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada standartlarda belirtilmemiş metotlarla körüğün frekansa ve genliğe bağlı olarak dinamik özelliklerini belirlemiştir. Şekil 1.9’da bu çalışmada tasarlanan test düzeneği görülmektedir [11].



Şekil 1.9 Körük Test Düzeneği

Standartlarda tanımlanmamış başka bir yöntem ise tek serbestlik dereceli kütle yay damper sistemidir. Bu modelle birlikte sisteme bağlı olan kütlenin dinamik özelliklerini belirlemek mümkündür. Şekil 1.10’da tek serbestlik dereceli kütle yay damper sistemi görülmektedir.



Şekil 1.10 Tek Serbestlik Dereceli Kütle Yay Damper Sistemi

1.2.3 Ölçüm sistemlerinin tasarım süreci

Tasarım sürecinin sistematik olarak yaklaşımının temelleri Pahl ve Beitz'in 1977'de yayınlamış olduğu sistematik yaklaşımla mühendislik tasarımı adlı kitaplarına dayanmaktadır. Bu parçanın, ürünün veya sistemin tasarımında izlenecek yol adım adım anlatılmıştır [12].

Tasarım metotlarının temeli ise Roth'un 1960'larda yaptığı çalışmaya dayanır. Roth kataloglarla tasarım adlı kitabında tasarım metotlarını üç ana adıma ayırmıştır. Birinci adım problemin ortaya konması, ikinci adım fonksiyonların oluşturulması ve son adım ise somutlaştırma aşamasıdır [13].

1970'lerde ise Koller tasarım metodolojisini daha çok algoritma temelli bir yapıya oturtmuştur. Koller de Roth gibi tasarım sürecini üç ana adıma bölmüştür. Bu adımlar fonksiyonel sentez arkasından niteliksel sentez son olarak da niceliksel sentezdir. Koller'in tasarım sürecindeki farkı adımların bilgisayar ortamına daha uygun olarak algoritma tabanlı olmasıdır [14].

1983'de Finkelstein tasarım sürecine farklı yaklaşımları getirdiği makalesini yayınlamıştır [15]. 2005'te ise yine Finkelstein ölçme sistemlerinin tasarımı elkitabında tasarım süreciyle ölçme sistemlerine uygulanmasını anlatmıştır [16].

1986'da Shigley ve Mischke makine tasarımının temelleri adlı kitaplarında ölçme sistemlerinin tasarım süreçlerini ve bu sistemlerin eleman seçimlerini anlatmışlardır[17]. 1995'te ise Doebelin, Pahl ve Beitz'in ortaya koyduğu sistematik yaklaşımın test aparatlarında kullanılmasını anlatmıştır [18]. 2000 yılında ise Dym mühendislik tasarımı kitabında, sistematik tasarım sürecini detaylı olarak işlemiştir[19].

Mühendisliğin bütün branşlarının asıl ve temel görevi tasarım yapmaktır. Tasarım bir ihtiyacın anlaşılmasıyla ve kavranmasıyla başlar ve bu ihtiyacın giderilmesiyle ilgili ekipmanların tasarlanmasıyla devam eder.

Test ekipmanı ve ölçüm sistemleri tasarımı genel tasarım kuralları içinde incelenebilir. Tasarım süreci ihtiyacın algılanmasından başlayan ve sonuç dokümanlarının oluşturulmasıyla son bulan adımlardan oluşur. Her bir adım kendi içinde ayrı bir süreçten oluşur. Bu süreçler tasarımın her adımında kendini tekrarlar.

konseptlerden biri seçilerek somut tasarım adımına geçilir. Son aşamada ise somut tasarım geliştirilerek detaylı tasarım aşamasına geçilir.

İlk adımda konsept tasarımın yapılabilmesi için öncelikle problemin anlaşılması gerekir. Bunun için sonuçta çözüme ulaşacak olan problem hakkında bilgi toplanır. Bu aşamada ödevle ilgili literatürde yapılmış çalışmalara bakılabileceği gibi patentler de araştırılabilir. İlk aşamadaki problemin ortaya konulmasıyla ilgili Pahl ve Beitz geometri, kinematik, kuvvet akışları, enerji, malzeme, ergonomi, üretim, montaj, nakliye, bakım, kalite kontrol ve maliyet gibi özelliklere bakılmasını önermiştir. Bu özellikler üretim amaçlı yapılan tasarımlarda kullanılır. Test sistemlerinin veya ölçüm sistemlerinin tasarımında bakılacak özellikler listesi daha fazla uzatılabilir. Ödevin anlaşılabilmesi için bu özelliklerin üstünden hızlıca geçilmelidir.

Ödevin anlaşılması ve hakkında yeterli bilgi toplanmasından sonra konsept tasarımların oluşturulduğu aşamaya geçilebilir. Bu aşamada oluşturulacak tasarımın fiziksel bir şekilde gösterilmesinden ziyade çalışma esaslarına yoğunlaşmak daha doğru bir yaklaşım olur. Oluşturulan konsept tasarımlar arasından belirlenen ödevdeki isteklere göre eleme yapılır. Yine Pahl ve Beitz bu aşamada sistematik bir seçim yapısı önermiştir.

- Fonksiyon yapılarına giriş yapılması
- Fonksiyon yapılarının oluşturulması (alt fonksiyonlar ve tüm yapının)
- Alt fonksiyonların çözümünü oluşturacak prensiplerin bulunması
- Bulunan çözüm prensiplerinin bütün yapıyla birleştirilmesi
- Uygun kombinasyonların seçilmesi

Konsept tasarımların yaratılması tasarım sürecinin en zor bölümüdür. Aynı zamanda bu aşamada oluşturulacak olan seçenekler tasarımın sonucunu direk olarak etkileyecektir. Bu aşamanın zorluğu problemi çözecek olan yapıları çizim yapmadan fonksiyonel olarak ifade edebilmekten kaynaklanır. Çözümlerin çizim yapılarak fiziksel olarak ifade edilmesi çözüme daha kolay ve ucuz yoldan ulaşılmasını engeller.

Konsept tasarım aşamasında temel olarak bir fonksiyon bulunur. Bu fonksiyon sistemin genel olarak çalışması ifade eder. Aynı zamanda sistemi çözüme ulaştıracak olan bu fonksiyon birçok alt fonksiyondan oluşur. Bu alt fonksiyonların çözümlerini

oluşturmak oluşacak olan sistemin genel yapısını belirler. Alt fonksiyonların organizasyonunun başarılı bir şekilde yapılması çözümlerin bulunmasını kolaylaştırır. Aynı zamanda bu fonksiyonların doğru olarak oluşturulması ileride karşılaşılabilecek olan sorunların çözümüne de yardımcı olabilir. Bu aşamada mantık yapılarının kullanılması çözüme yaklaşmayı kolaylaştırabilir.

Alt fonksiyonların çıkarımından sonra yine bu fonksiyonların çözümleri sistematik bir şekilde araştırılmalıdır. Bu aşamada Pahl ve Beitz literatür araştırması, doğal sistemler, bilinen teknik sistemler, benzerlik, deneysel çalışmalar, beyin fırtınası, defli metodu, fiziksel prosesler, sınıflandırma şemaları ve tasarım katalogları gibi çözüm yollarını önermektedir. Bu metotlar kullanılarak bulunan çözümler değişik kombinasyonlarla birleştirilerek genel çözümü oluşturur. Bir sonraki aşamada bu seçenekler arasında mali ve teknik kriterlere göre bir seçim yapılır ve somut tasarım aşamasına geçilir.

Tasarım sürecinde çizimlerin yapıldığı ilk aşama somut tasarım aşamasıdır. Bu aşamada seçilen konsept tasarım üretim prosesleri, teknik ve mali kriterler, kritik noktalar göz önünde bulundurularak geliştirilir.

Tasarım sürecinin genelinde olduğu gibi bu aşamasında da sistematik bir yaklaşım vardır. Somut tasarım adımı belirlenen alt fonksiyon çözümleri ve sistemin genel çözümü için ilk tasarımlar oluşturulur. Konsept tasarımdan gelen bir çözüm için birden fazla tasarım yapılabilir. Somut tasarım aşamasında bu çözümler geliştirilirken mali ve ekonomik kriterler göz önünde bulundurularak eleme yapılabilir. Oluşturulan ilk tasarımlar bir sonraki adıma geçmeden bir optimizasyon işleminden geçirilir. Somut tasarımın en sonunda ilk tasarımların hataları belirlemek gerekmektedir. Bu hataların bulunması detaylı tasarım aşamasında geri dönmeyi engelleyecektir. Hatalar da giderildikten sonra detaylı tasarım adımına geçilir.

Detaylı tasarım aşamasında üretilecek olan sistemin parça listeleri ve detaylı teknik resimleri oluşturulur. Parçalar ve resimler belirlendikten sonra sistemin genel maliyeti belirlenmiş olur. Bu aşamada son olarak bütün dokümanlar ve resimler son olarak kontrol edilir. Detaylı tasarımda oluşan son teknik resimler ve parça listeleri üretim bölümüne iletilir. Aynı zamanda montaj bilgileri, nakliye bilgileri, kalite kontrol ölçümlerinin yapılacağı noktalar, gerekliyse kullanım kılavuzu, bakım ve tamir kılavuzu gibi dokümanlar da üretim bölümüne iletilmelidir.

1.3 Tezin Kapsamı

Çamaşır makinesi körüğünün tahrik grubuyla gövde arasındaki sızdırmazlık elemanı olduğunu yukarıdaki bölümlerde anlatılmıştı. Körüğün malzemesi nedeniyle makinenin dinamik özelliklerine olumlu bir etki yapmadığı ortadadır. Bu yüzden malzemedeki hataları ortaya koyan test sisteminin tasarımı gerekmektedir.

Literatürde körüğün dinamik özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmaya sadece Varol'un yüksek lisans çalışmasında rastlanmıştır. Bu çalışmada körük dinamik özelliklerini belirlemeye yönelik bir test düzeneği de mevcuttur. Fakat yapılan çalışmada ortaya konulan ölçüm sisteminin karmaşıklığı dolayısıyla daha basit ve kolay kullanımlı bir test düzeneğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla yeni yapılacak olan körük test düzeneğinin tasarımında dikkat edilen hususlar aşağıdaki gibidir.

- Düzeneğin kolay kullanımının olması
- Maliyetinin yüksek olmaması
- Körükte oluşan imalat ve proses hatalarını ortaya çıkartabilmesi
- Körüğün çamaşır makinesindeki çalışmasını mümkün olan en yakın şekilde temsil edebilmesi
- Taşınabilir olması
- Mümkün olan en kısa sürede hataları yakalayabilmesi
- Körüğün değişik frekanslarda ve genliklerde test edilebilmesini sağlaması

Çalışmanın bu bölümünde literatürde karşılaşılan elastik esaslı malzemelerin testinde kullanılan standart ve standart olmayan test düzeneklerinin çalışması ile genel tasarım süreçleri anlatılmıştır. Bundan sonraki bölümlerde körük test düzeneğinin tasarım süreci Pahl ve Beitz'in sistematik yaklaşımıyla anlatılmaktadır. Bu aşamada ilk olarak körük test düzeneğinin tasarımında isteklerin neler olduğu anlatılmıştır. Daha sonraki bölümde isteklere göre oluşturulan konsept tasarımlar anlatılmaktadır. Bir sonraki bölümde ise düzeneğin detaylı tasarımı anlatılmıştır. Son olarak test düzeneğinin ortaya koyduğu sonuçlar anlatılmıştır.

2. KÖRÜK TEST DÜZENEĞİ TASARIM KRTİERLERİ

Körük çamaşır makinesinde titreşimleri tahrik grubundan gövdeye iletir. Bu yüzden bu parçada oluşacak imalat ve proses hataları makinenin titreşimli çalışmasına hatta yürümesine yol açabilir. Körük testinden bahsedebilmek için öncelikle malzemenin özelliklerini bilmek gerekir. Bu aşamada öncelikle körük malzemesi hakkında bilgi verilecek, daha sonra körük test düzeneğinden beklenenler anlatılacaktır.

2.1 Körük Malzemesinin Özellikleri

Çamaşır makinesinde kullanılan körük parçasının malzemesi daha önce de bahsedildiği gibi EPDM'dir. EPDM etilen propilen dien monomer kauçuğunun kısaltmasıdır. EPDM malzemesi kimyasal ortamlara nispeten dayanıklıdır ve bu sayede malzeme havalandırmaya ve ısıya karşı dayanıklıdır. EPDM kauçuğunun mükemmel su dayanımı ve zayıf yağ dayanımı vardır. Etilen miktarı yüksek olan EPDM malzemelerin çekme ve yırtılma dayanımları yüksek olur.

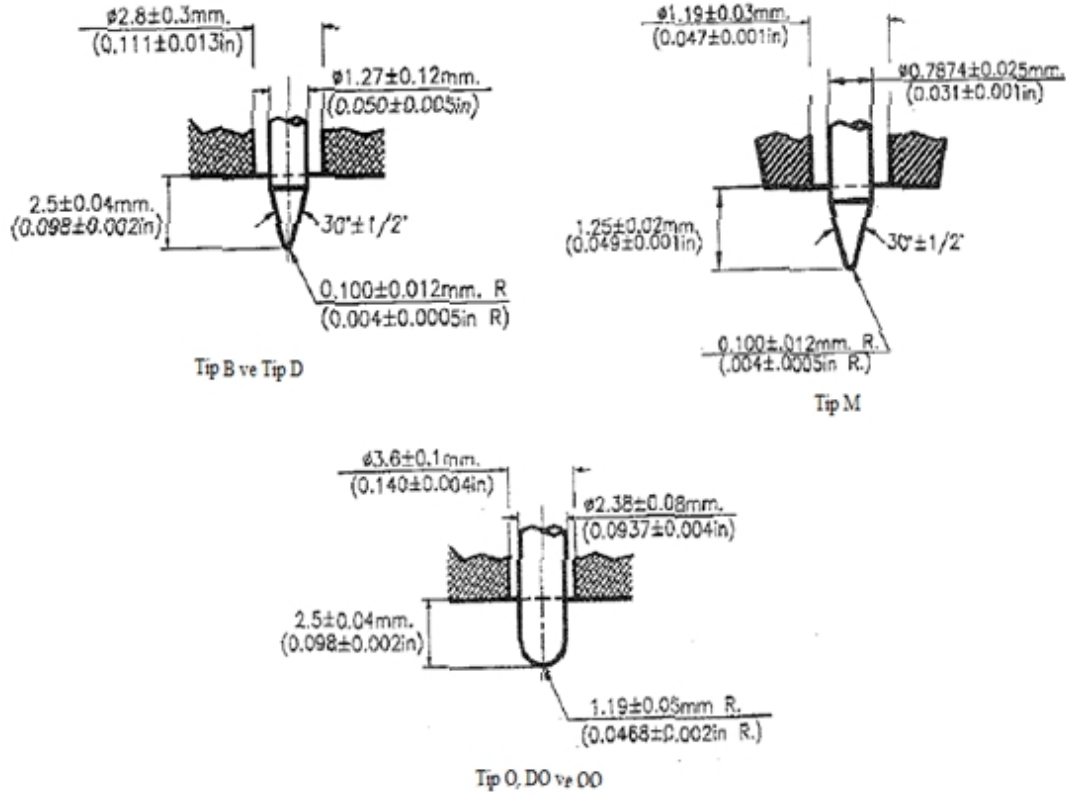
EPDM malzemesi ısı dayanımı, mükemmel su dayanımı ve düşük elektrik iletkenlik özellikleriyle birlikte sanayinin pek çok alanında kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe cam ve kapı contalarında, çatı izolasyonunda, hortumlarda, kablo yalıtımında kendine kullanım alanı bulmaktadır.

2.1.1 Sertlik ölçümü

Kauçuk esaslı malzemeler için ISO 48 standardı daha önceden anlatılmıştı. Bu bölümde ASTM'nin yayınladığı D 2240 numaralı elastik esaslı malzemelerin sertliklerinin tayini adlı standart anlatılmaktadır. Kauçuk esaslı malzemelerin kontrolünde başvuru olan önemli yöntemlerden biri sertlik ölçümüdür. Kauçuk malzemelerin sertlik birimlerinin IRHD olduğu daha önce söylenmişti.

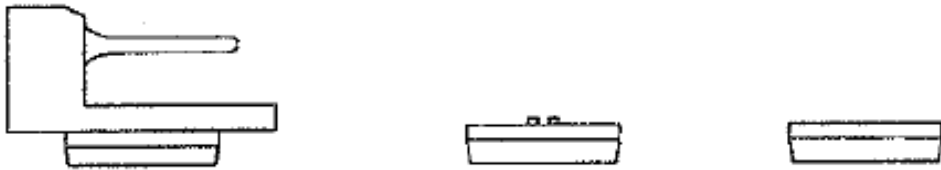
Standartta göre sertlik ölçümünde kullanılan 10 tip uç bulunmaktadır. Şekil 2.1'de bu uçlardan bazılarının ölçüleri ve formları gösterilmiştir. Sertlik ölçümü numunenin kenarından en az 6 mm uzağında olmalıdır. Ayrıca ölçüm numunesinin yüzey alanı 500 mm^2 'den az olmamalıdır. Şekil 2.1'de gösterilen uçların malzemeleri çelik olup 500 HV10'a kadar sertleştirilmişlerdir. Ayrıca standartta ölçümde kullanılan

numunelerin kalınlıklarının 6 mm'den az olmaması gerektiğine de değinilmiştir. Kalınlık değerinin yetersiz kaldığı durumlarda numuneler üst üste koyularak ölçüm gerçekleştirilebilir.



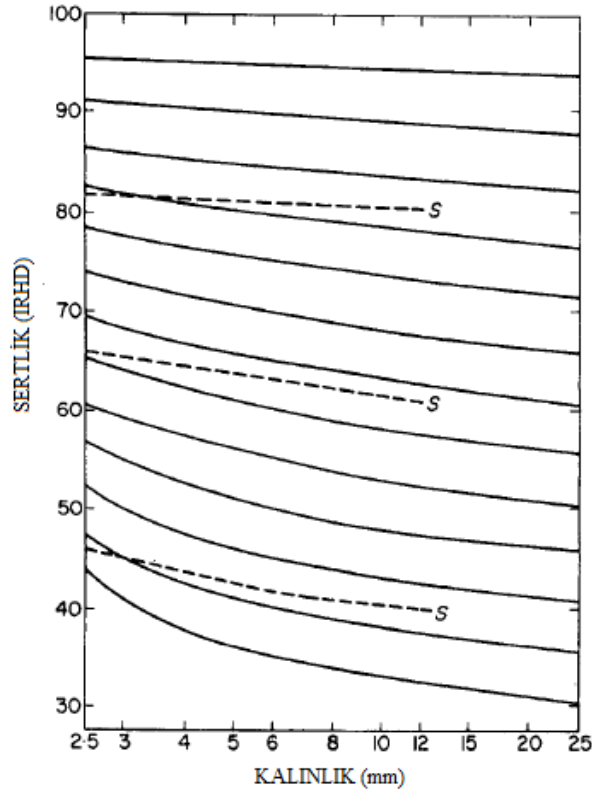
Şekil 2.1 Sertlik Ölçümü Uç Tipleri

Standarda göre ölçüm yapan uçların tipinin değiştiği gibi düzeneğinde üç farklı tipi vardır. Şekil 2.2’de gösterilen tiplere göre kullanılan ayaklarla uçların birbirine bakan yüzeylerinin paralel olması gerekir. Ayak biçimlerine göre değişen düzenek tiplerinin birbirinden farkı ucun numuneye girmesini sağlayan kuvvetin uygulanma biçimidir. Tip 1’de numune uca doğru bastırılırken tip 2 ve 3’te uç numuneye bastırılır. Tip 3’te 2’den farklı olarak arada bir sönüm mekanizması kullanılır.



Şekil 2.2 Sertlik Ölçümü Ayak Tipleri

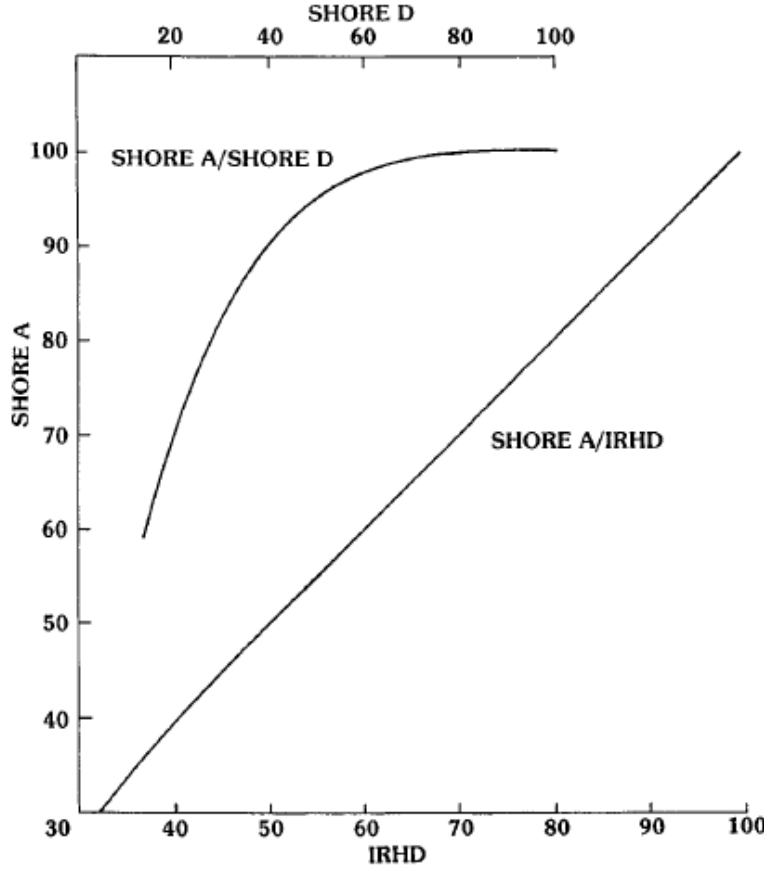
Sertlik ölçümünde dikkate alınması gereken hususlardan biri de birden çok ölçüm yapılacaksa numunelerin kalınlıklarının birbirinden farklı olmaması gerekir. Aynı zamanda numuneden ölçüm alınacak noktaların birbirinden ve kenardan uzaklıklarına da dikkat edilmesi gerekir. Şekil 2.3'te numune kalınlığının sertliğe etkisi görülmektedir. Buradaki şekilde devamlı çizgilerle belirtilen sertlik değerleri IRHD cinsinden, kesikli çizgilerle belirtilen sertlik değerleri ise ShoreA olarak alınmıştır.



Şekil 2.3 Kalınlık-Sertlik İlişkisi

Sertlik ölçümünde test numunesi kalınlığı aynı kaldığı zamanlarda sertlik birimleri arasında geçiş yapmak mümkündür. Şekil 2.4'te 10 mm kalınlıktaki bir test numunesi için ShoreA, ShoreD ve IRHD arasındaki ilişki görülmektedir. Bu sayede standartta belirtilen koşullarda yapılan deneylerden elde edilen sertlik değerleri IRHD biriminden ShoreA ve D birimine dönüştürülebilir.

Çamaşır makinesinde kullanılan körük parçasının sertlik ölçümleri yukarıdaki koşullar sağlanarak yapılmaktadır. Bu ölçümler körüğün imalat ve proses hatalarını belirlemekte önemli bir yöntemdir.

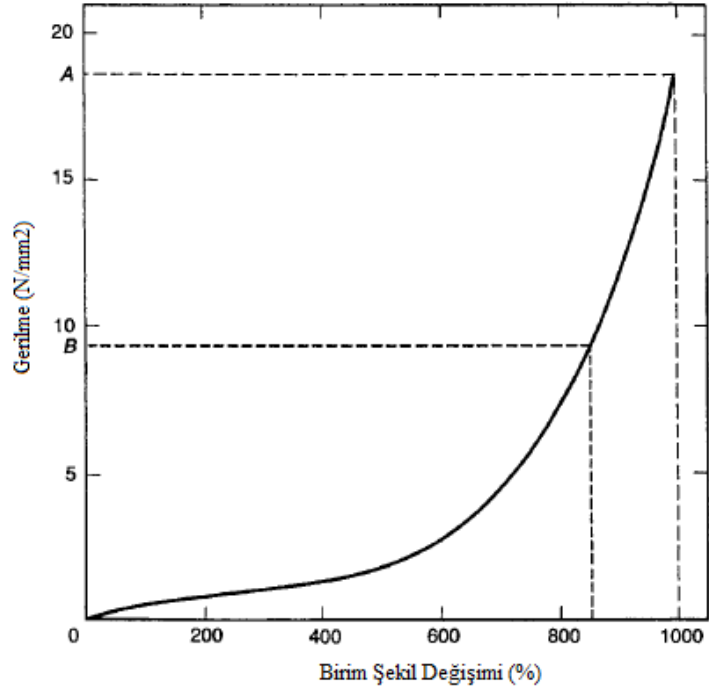


Şekil 2.4 Sertlik Birimleri Arasındaki İlişki

2.1.2 Çekme testi

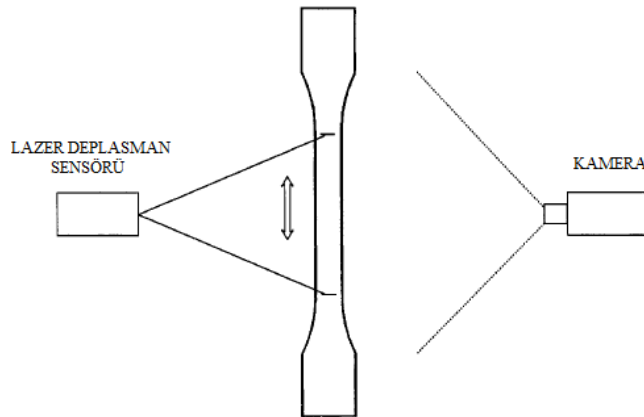
Sertlik testleriyle birlikte körük malzemesine en çok uygulanan testlerden biri de çekme deneyidir. Kauçuk esaslı malzemelerin en temel özelliklerinden biri defalarca uzamasına rağmen kendi boyuna geri dönebilmesidir. Bu noktada bu malzemelerin aynı zamanda basma ve kesme gerilmesine maruz kaldığı parçaların sanayide kullanıldığını belirtmek gerekir. Fakat çekme deneyi kauçuk esaslı malzemelerin sanayide kullanıldığı ilk günden beri önemli bir kalite kontrol parametresi olduğu bilinmektedir.

Çekme testi malzemelerin kuvvete karşı dayanımını gösterirken aynı zamanda kopmadan önce ne kadar uzadığının da anlaşılmasını sağlar. Çekme testinde ölçülen kopma uzaması ve kopma dayanımı gibi özellikler malzemelerin karşılaştırılmasını sağlar. Körük malzemesinin de dahil olduğu bazı kauçuk esaslı malzemeler ortam şartlarından oldukça etkilendiklerinden dolayı, karşılaştırma deneylerinde ortam koşullarını göz önünde tutmak gerekmektedir. Şekil 2.5'te kauçuk esaslı bir malzemenin çekme deneyi sonuç grafiği görülmektedir.



Şekil 2.5 Çekme Testi Örneği

Çekme deneyinde daha önce bahsedilen birim şekil değişimini hesaplayabilmek için test numunesindeki uzama miktarının ölçülmesi gerekmektedir. Bunun için çekme test düzeneklerinde deplasman ölçüm sensörleri kullanılmaktadır. Çekme test düzeneklerinin ilk örneklerinde deplasman ölçümü için LVDT tipi sensörlerin kullanıldığı bilinmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte deplasman ölçümünde temassız tipteki sensörler kullanılmaya başlamıştır. Şekil 2.6’da temassız deplasman ölçümüne bir örnek görülmektedir. Şekildeki düzenekte parçanın şekil değişimi lazer deplasman sensörüyle ölçülürken numunenin diğer tarafında da bir kamera kayıt yapmaktadır.



Şekil 2.6 Temassız Deplasman Sensörü ile Yapılan Ölçüm

2.2 Körük Parçasında Karşılaşılan Problemler ve Çalışma Koşulları

Körük ölçüm düzeneğinin istekler listesini oluşturabilmek için malzemenin hangi özelliğinin ölçülmesi gerektiğini belirlemek gerekir. Mevcuttaki sertlik ölçümü ile çekme deneyinden yukarıdaki bölümlerde bahsedilmişti. Sertlik ölçümü ile çekme deneyi parçadaki imalat ve proses hatalarını belirlemekte önemli yöntemlerdir. Fakat bu iki ölçüm imalat ve proses hatalarını yakalamakta yetersiz kalmaktadır.

Körük içinde katkı maddelerinin bulunduğu bir malzemeye sahiptir. Bu sebepten dolayı yapılan sertlik ölçümlerinde toleranslar sınırında kalan körükler gerçekte olması gerekenden daha rijit veya daha esnek olabilmektedir. Körüğün standartlarda belirtilen mekanik özelliklerini belirlemenin kalite kontrol açısından yetersiz kaldığı görülmektedir. Körüğün mekanik özelliklerinin yanı sıra malzeme özelliklerinin de ölçülmesi gerektiği görülmektedir.

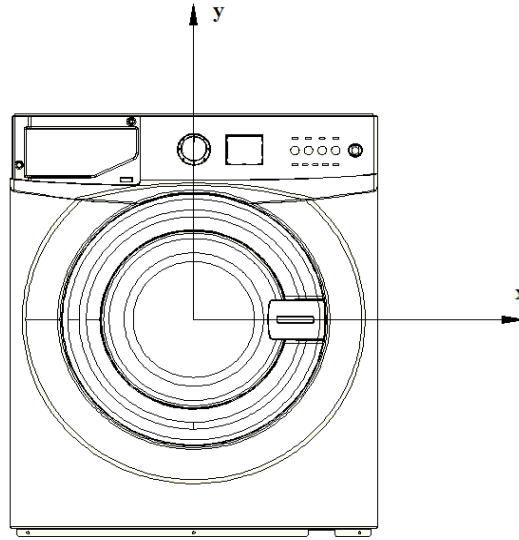
İlk bölümde çamaşır makinesinin basit bir modeli gösterilmişti. Bu modelden anlaşılabileceği gibi körük çamaşır makinesinin dinamiğine doğrudan etki eden bir parçadır. Bu yüzden körüğünün malzemesinde yapılan hatalardan dolayı rijitliğinin artması çamaşır makinesinin titreşimli çalışmasına yol açabileceği gibi yürümesini de sağlayabilmektedir. Diğer taraftan imalatındaki hatalardan dolayı körüğün esnek olması da ömrünü etkilemektedir. Şekil 2.7’de körüğün esnek olmasının yarattığı yırtık problemi görülmektedir.



Şekil 2.7 Körük Yırtılması

Körükte karşılaşılan problemlere bakıldığında malzemenin rijitliğinin ölçülmesi gerektiği açıkça görülmektedir. Bu ölçümün körük çamaşır makinesi koşullarında çalıştırılarak yapılması gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Aynı zamanda körüğün dinamik özellikleri belirlenmiş olacaktır. Körük parçasında yapılan imalat ve proses hataları, mevcutta yapılan sertlik ve çekme testleriyle birlikte, yapılacak olan dinamik kuvvetlerin ölçümüyle belirlenebilecektir.

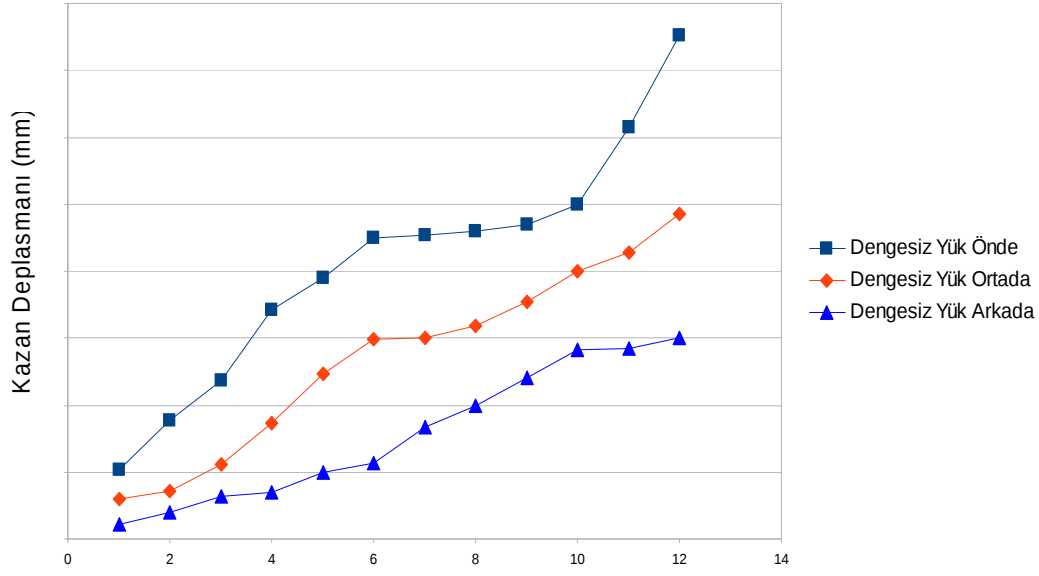
Körük test düzeneğinin tasarım kriterlerini bir başka adıyla istekler listesini oluşturabilmek için bu parçanın çamaşır makinesindeki davranışlarını incelemek gerekir. Körüğün bir tarafının sabit olan gövdeye diğer tarafının da hareketli olan tahrik grubuna bağlandığından daha önce bahsedilmişti. Çamaşır makinesi yıkama ve sıkma hareketleri sırasında tahrik grubu üç yönde bir hareket yapar.



Şekil 2.8 Çamaşır Makinesi Eksen Takımı

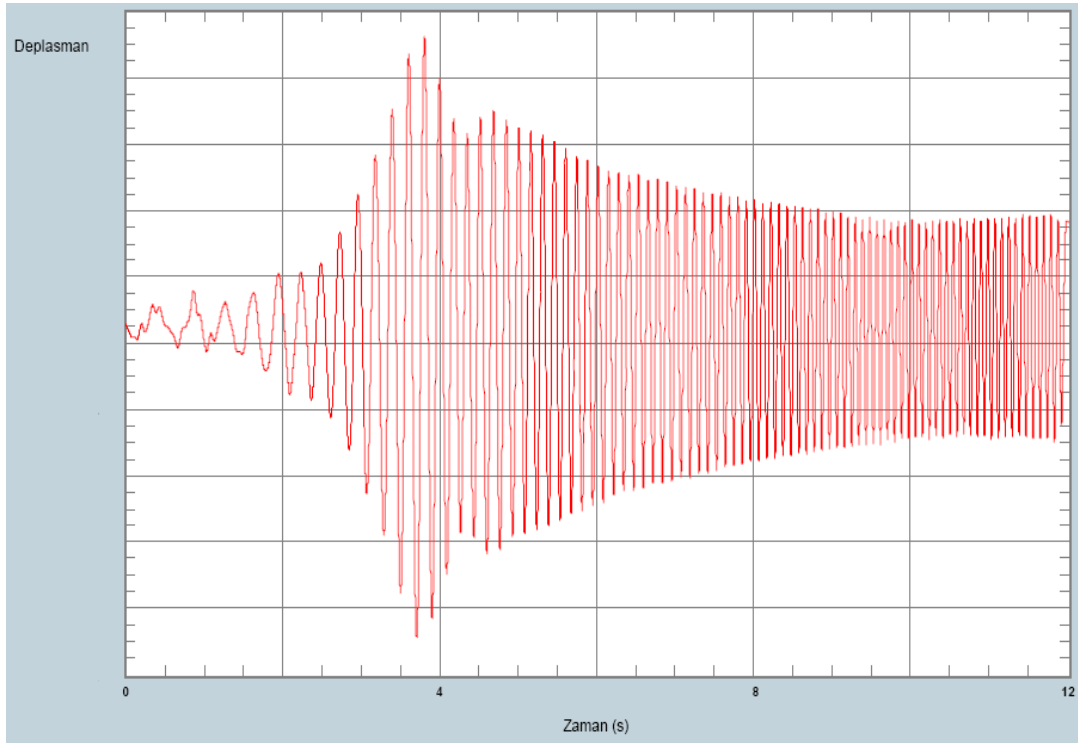
Şekil 2.8’de çamaşır makinesinin eksen takımı görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi çamaşır makinesinin y eksenini dikey yönde, x eksenini ise yatay yöndedir. Çamaşır makinesinin z eksenini ise önden bakıldığında kapaktan makinenin içine doğrudur.

Çamaşır makinesi çalışırken kazanın yaptığı deplasmanlar içinde bulunan dengesiz yüke göre önemli ölçüde değişiklik gösterir. Kazanın deplasmanlarını dengesiz yükün miktarı etkilediği gibi aynı zamanda bu dengesizliğin konumu da etkilemektedir. Kazanın çamaşır makinesi çalışırken yaptığı deplasmanlara bakıldığında yıkama durumunda, sıkmaya kalkarken ve sıkma sırasında değişiklik gösterdiği görülür.



Şekil 2.9 Kazanın Değişik Dengesiz Yüklerde Yaptığı Deplasman Miktarları

Şekil 2.9’da kazan deplasmanlarının dengesiz yükün konumuna ve miktarına göre değişimi görülmektedir. Burada görülen değerler, çamaşır makinesinin sıkmaya kalkarken tahrik grubunun doğal frekans bölgesinden geçişinde yaptığı x yönündeki deplasmanlardır.



Şekil 2.10 Sıkma Kalkışındaki Deplasman-Zaman Grafiği

Şekil 2.10'da ise tahrik grubunun yıkamadan sonra sıkmaya kalkışındaki çizdiği deplasman-zaman grafiği görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi tahrik grubunda yaklaşık 100 dev/dak'da yıkama sırasındaki en yüksek deplasmanlar oluşmaktadır. Devir 1200 dev/dak'ya ulaştığında deplasmanlarda düşüş gözlenmektedir. Burada tahrik grubunda yapılan deplasman ölçümleri sadece x yönündeki değerleri içerdiğini belirtmek gerekir.

Bu kısımda kazan körüğünün çamaşır makinesindeki çalıştığı koşullar belirlenmiş ve aynı zamanda karşılaşılan problemler anlatılmıştır. Körüğün çalışma koşullarında ölçülen deplasman değerlerini tasarlanacak olan test düzeneğinin de sağlaması gerekmektedir. Aynı zamanda test düzeneği değişik devirlerde çalışmayı sağlamalıdır. Bir sonraki bölümde burada yapılan ölçümler ve incelenen problemlere göre bir istekler listesi oluşturulacaktır. İstekler listesi tasarım kriterlerini ortaya koyacağı gibi uygun olan konsept tasarımının seçiminde değerlendirme yapılmasına yardımcı olacaktır.

2.3 Körük Dinamik Kuvvetler Ölçüm Düzeneği İstekler Listesi

Bu kısımda bir önceki bölümde anlatılan körükte karşılaşılan problemler ve ihtiyaçlara göre tasarlanacak olan körük dinamik kuvvetler ölçüm aparatının istekler listesi oluşturulacaktır. Bu istekler listesi test aparatının tasarım kriterleri olarak da nitelendirilebilir.

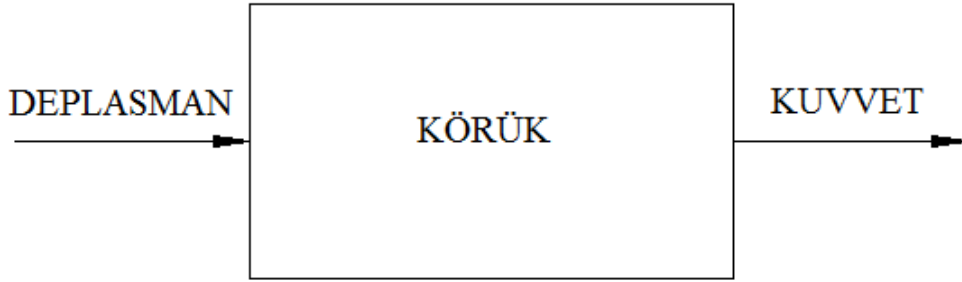
Körük test aparatı tasarımında mevcuttaki duruma göre beklenen ilk istek daha önce bahsedildiği gibi parçanın rijitliğinin belirlenmesidir. Körüğün rijitliğinin ölçülebilmesi için çalışma koşullarında üstünde oluşan kuvvetlerin ölçülebilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda bu kuvvetlerin hangi deplasmanlarda ve hangi yönde oluştuğu da ölçülebilmelidir.

Mevcuttaki çamaşır makinelerine bakıldığında iki tip körük kullanılmaktadır. Körük tipleri arasındaki farkı geometrileri oluşturmaktadır. Bu yüzden tasarlanacak olan aparatın bütün kullanılan körük geometrilerine ve aynı zamanda ileride tasarlanabilecek körüklerin geometrilerine de uyması gerekmektedir.

Çamaşır makinesinin tahrik grubunun devre göre değişik deplasmanlar yaptığından daha önceki konuda bahsedilmişti. Tahrik grubunun sıkma sırasındaki deplasmanlarıyla yıkama sırasında oluşan deplasmanlar farklılık göstermektedir. Bu

yüzden körükte yapılacak olan ölçümler değişik deplasmanlarda yapılabilmelidir. Bu deplasmanlar arasından körüğün kararlı çalıştığı değer belirlenmelidir. Aynı zamanda sistem körüğü değişik devirlerde test edebilmelidir.

Körük test düzeneğinin çalışma koşulları belirlendikten sonra düzeneğin temel fonksiyonu oluşturulabilir. Bu sayede test düzeneğinin tasarımındaki ilk adım atılmış olur. Tasarlanacak olan sistemin temel fonksiyonu şekil 2.11’de görülmektedir.



Şekil 2.11 Test Düzeneğinin Temel Fonksiyonu

Oluşturulan körük test düzeneğinin temel fonksiyonuna göre, düzeneğin belirli deplasmanlarda körük üstündeki kuvveti ölçmesi gerektiği görülmektedir. Bu oluşan kuvvetlere göre düzenek imalat hataları bulunan körükleri ayırt edebilmelidir. Ayrıca bu temel fonksiyonla birlikte test düzeneği yeni tasarlanacak olan körüklerin ölçümlerini yapabilecektir.

Körük test düzeneğinin temel fonksiyonu belirlendikten sonra tasarımın istekler listesine veya diğer adıyla tasarım kriterlerine geçilebilir. Aşağıda körük test düzeneği için oluşturulan istekler listesi bulunmaktadır.

- Hatalı körüklerle sorunsuz körükleri birbirinden ayırt edebilmeli
- Körük üstünde oluşan kuvvetleri ölçebilmeli
- Körük üstünde oluşan deplasmanları ölçebilmeli
- Değişik deplasmanlarda çalışmaya uygun olmalı
- Değişik devirlerde çalışmaya uygun olmalı
- Çamaşır makinesindeki çalışma koşullarını mümkün olan en benzer şekilde sağlamalı
- Birbirinden farklı körük geometrilerine uyum sağlamalı
- Operatörün ölçümü yapabilmesi için kolay kullanımlı olmalı

- Bir numune ölçümünü mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirmeli
- Körük test düzeneğinin maliyeti 10000 \$'ı aşmamalıdır.

Bu bölümde öncelikle körük parçasının malzeme özelliklerini belirleyen ve mevcutta yapılan testler anlatılmaktadır. Yapılan testlerin körükte yapılan imalat hatalarını belirlemekte önemli bir yeri olduğu söylenebilir. Ancak yapılan testlerle malzemenin ölçülen özellikleri proses hatalarını belirlemekte yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden de malzeme özelliklerini daha belirleyici bir şekilde ölçebilecek bir test düzeneğine ihtiyaç duyulmaktadır. Daha sonra çamaşır makinesi kazan körüğünde sahadan gelen arızalar anlatılmış ve devamında makinedeki çalışma koşullarını gösteren ölçümler anlatılmıştır. Son olarak da bahsedilen durumlar göz önünde bulundurularak körük test düzeneğinin tasarım kriterleri belirlenmiştir.

3.KÖRÜK TEST DÜZENEGİNİN KONSEPT TASARIMLARI

Ölçüm sistemleri tasarımının problemin anlaşılmasından başlayan ve sonuç dokümanlarının oluşturulmasıyla son bulan bir süreç olduğundan daha önce bahsedilmişti. Köruk test düzeneği için de bu süreçteki ilk adım olan ve bir önceki bölümde anlatılan istekler listesi oluşturulmuştur.

İstekler listesi tasarım sürecindeki her adımda ortaya çıkan seçeneklerin elenmesini sağlar. İstekler listesinin doğru bir şekilde oluşturulması konsept tasarım aşamasında sonuçların irdelenmesini kolaylaştırır. Bu bölümde köruk test düzeneği için konsept tasarımlar oluşturulacaktır.

Tasarımı yapılacak olan düzeneğin istekler listesi incelendiğinde yapılacak sistemin iki ana kısmı olacağı anlaşılmaktadır. Birinci kısımda körügü çamaşır makinesindeki çalışma koşullarına en yakın şekilde test edebilecek bir mekanizma oluşturulması gerekmektedir. İkinci kısımda ise test sırasında düzeneğin temel fonksiyonunda gösterilen kuvvet ve deplasman değerlerinin ölçümleri için gerekli sensörlerin seçimi yapılmalıdır.

Öncelikle çözülecek problemin daha belirgin hale gelebilmesi için ölçülecek deplasman ve kuvvet değerleri için gerekli sensörler belirlenmiştir. Bu aşamada elektronik sistemin oluşturulması yapılacak mekanizma tasarımında kolaylık sağlayacaktır. Bu yüzden konsept tasarımlar anlatılmadan önce test düzeneğinde kullanılacak elektronik sistem belirlenmiştir.

Sensörlerin seçim süreci anlatıldıktan sonra ilerleyen bölümlerde istekler listesine, diğer adıyla tasarım kriterlerine, göre yapılan üç adet konsept tasarım anlatılmaktadır. Konsept tasarımlar mevcutta görülen probleme göre yaratılacak çözümü sembolik olarak temsil etmektedir. Başka bir deyişle bu bölümde sadece konsept tasarımların çalışma esasları belirlenmiştir.

Bu bölümün sonunda ise yaratılan konsept tasarımlar arasından istekler listesine ve genel tasarım kriterlerine göre en uygun olanı seçilecek ve detaylı tasarım aşamasına geçilecektir.

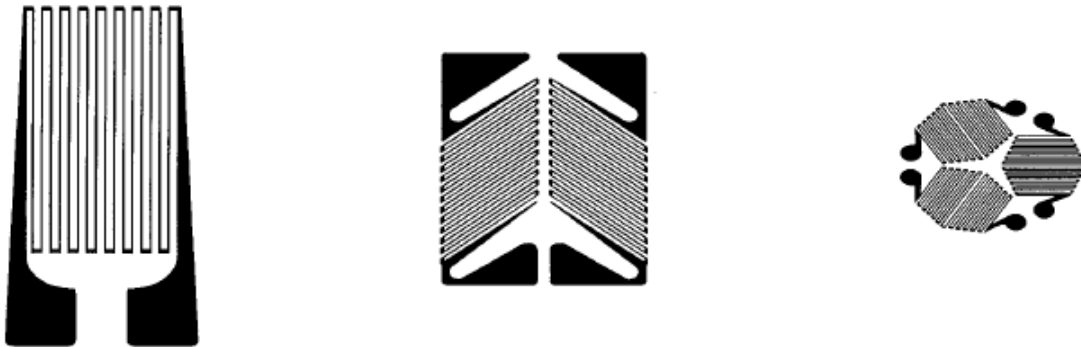
3.1 Körük Test Düzeneği Sensör Seçimi

Körük test düzeneğinde imalat hatalarını belirlemek için kuvvet ve deplasman ölçümü yapılacağından daha önceki konularda bahsedilmişti. Bu bölümde bu ölçümler için gerekli olan sensörlerin seçimi anlatılacaktır.

Kuvvet sensörleri genel olarak bir sistemin cevabını ölçmeye yarar. Bu cevap farklı kullanım yerlerde birbirinden değişik sensör seğimini gerektirir. Kuvvet  l  m  birçok sistemin kontrolünde oldukça faydalı bir yöntemdir.

Bazı kuvvet sensörü tipleri kuvvetin yarattığı  ekil değişimini  l me esasına dayanmaktadır. Bu tip kuvvet ölçümleri için göreceli olarak yüksek  ekil değişimi gerekmektedir. Ölçülen  ekil değişimi ile kuvvet arasındaki ilişki Hooke Kanunu ile açıklanabilir. Bu tip kuvvet sensörleri, ani darbe etkilerini ölçebildiği gibi aynı zamanda kuvvetin yavaş değişim gösterdiği yerlerde de kullanılabilir.

Kuvvet sensörlerinin genel bir alt grubu olarak y k hücreleri gösterilebilir. Yük hücreleri rijit bir dış yapı, kuvvetin ölçüldüğü kısım ve bir  l me gageinden oluşur. Şekil 3.1’de y k hücrelerinde kuvvet ölçümünü sağlayan gage tipleri görülmektedir. Yük hücreleri büyük genlikli, statik ve zamanla yavaş değişen kuvvetleri ölçmekte kullanılmaktadır. Yük hücrelerinin ölçümlerde yaptıkları hatalar genel olarak %0.1’i geçmemektedir. Ayrıca bu tip sensörlerin çalışma esası aynı olmasına rağmen içerindeki yapı değişkenlik gösterebilmektedir.



Şekil 3.1 Yük Hücrelerinde Kullanılan Gerilim  l erler

Kuvvet sensörlerinin başka bir çeşidi olarak piezoelektrik esasına göre çalışan sensörler gösterilebilir. İsminden de anlaşıldığı gibi bu tip sensörlerde, ölçülen kuvvet sensörün içindeki piezoelektrik özellikteki malzemede bir gerilim olu urmaktadır. Aynı zamanda bu özellik tersinir çalışmaktadır. Eğer bu malzemeye potansiyel fark uygulanırsa malzeme  ekil değişimine uğrayacaktır.

Kuvvet sensörlerinin yalıtkanlık esasına göre çalışan tipleri ise birbiri arasında çok sayıda temas yüzeyi ve mesafe bulunan yalıtkan parçaların, kuvvetin sensöre etkimesiyle birlikte, toplam direncinin değişmesiyle ölçüm yapmaktadır. Bu tip sensörler diğer tiplere göre oldukça az deformasyona uğrarlar. Yalıtkanlık esasına göre çalışan kuvvet sensörlerinin en büyük dezavantajı doğrusallıklarının düşük olmasıdır. Sensör içindeki yapıda düzeltmeler yapılsa da bu tipteki sensörlerin doğrusallığı ve hata yüzdeleri diğer tiplere göre yüksek çıkmaktadır. Ayrıca hata yüzdesi ölçülen kuvvetin artmasıyla birlikte yükselmektedir. Bu yüzden bu tip sensörler 0.1 ile 10 kg arasındaki kuvvetleri ölçebilmektedirler.

Kuvvet sensörlerinin yaygın olarak kullanılan başka bir tipi olarak kapasitif kuvvet sensörleri gösterilebilir. Bu tip sensörlerde kapasitansı üstündeki kuvvete göre değişen bir zar bulunmaktadır. Sensörün içindeki bir devre sayesinde bu kapasitans değişimi gerilime dönüştürülmektedir. Kullanılan zar sayesinde de kuvven değişimi oldukça hassas olarak ölçülebilmektedir. Bu tip sensörlerin diğer tiplere göre avantajı ise çok küçük kuvvet değişimlerini okuyabilmelerinin yanı sıra ortamdaki sıcaklık ve basınç değişiminden etkilenmemeleridir. Şekil 3.2’de kapasitif kuvvet sensörüne bir örnek görülmektedir [20].



Şekil 3.2 Kapasitif Kuvvet Sensörü

Körük test düzeneğinde kullanılacak olan kuvvet sensörünün seçiminde etkili parametreler olarak aşağıdaki maddeler gösterilebilir:

- Ölçülecek kuvvet değerinin aralığı
- Kuvvet sensörünün okuma hassasiyeti
- Kuvvet sensörünün maliyeti

Çizelge 3.1 Kuvvet Sensörü Seçim Tablosu

Sensör Tipi	Kuvvet Aralığı	Okuma Hassasiyeti	Maliyet
Yük Hücresi	●	●	●
Piezoelektrik	●	●	●
Yalıtkan Tip	○	●	●
Kapasitif	●	●	○

Tablo 3.1’de körük test düzeneğinde kullanılacak olan kuvvet sensörü için bir seçim tablosu bulunmaktadır. Burada sensör tipleri teker teker ele alındığında yük hücresinin test düzeneğindeki ölçümlerden beklenen kuvvet aralığını tam olarak sağladığı görülmektedir. Bu tipteki sensörlerin okuma hassasiyetleri kapasitif sensörlerden az olmakla birlikte test düzeneğinden beklenen okuma hassasiyeti için yeterlidir. Ayrıca yük hücrelerinin fiyatları kuvvet ölçümünde kullanılan diğer tipteki sensörlere göre daha aşağıda kalmaktadır. Piezoelektrik sensörlerde ise okunabilen kuvvet aralığı yük hücrelerine göre aşağıda kalsa da test düzeneği için yeterli aralığı sağlamaktadır. Bu tipteki sensörlerin okuma hassasiyetleri yük hücrelerinde olduğu gibi kapasitif sensörlerden daha azdır. Maliyet açısından karşılaştırıldığında piezoelektrik sensörler yük hücrelerine göre daha pahalıdır. Yalıtkan tipteki kuvvet sensörlerinin kuvvet okuma aralıkları oldukça sınırlıdır. Bu aralık körük test düzeneği için yetersizdir. Kapasitif kuvvet sensörleri okuma hassasiyeti ve kuvvet aralığında test düzeneği için yeterli değerleri sağlasa da bu tipteki sensörlerin maliyetleri çok yüksektir. Yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı körük test düzeneğinde yük hücresi kullanılmasına karar verilmiştir. Şekil 3.3’te körük test düzeneğinde kullanılacak olan kuvvet sensörünün resmi görülmektedir.

Kullanılacak olan kuvvet sensörü tipi belirlendikten sonra sensörün ölçüm yapacağı kuvvet aralığını belirlemek gerekmektedir. Bir önceki konuda anlatılan tahrik grubunun deplasman ölçümlerine göre körük test düzeneğinin bir ekseninde maksimum ± 35 mm deplasman yapması gerekmektedir. Bu deplasman değerine göre ölçüm yapacak olan kuvvet sensörünün çalışacağı aralık için tek yönde 50 kg yeterli görülmüştür. Buna göre Şekil 3.3’te görülen S tipi yük hücresinin kuvvet okuma aralığı ± 50 kg olmasına karar verilmiştir.



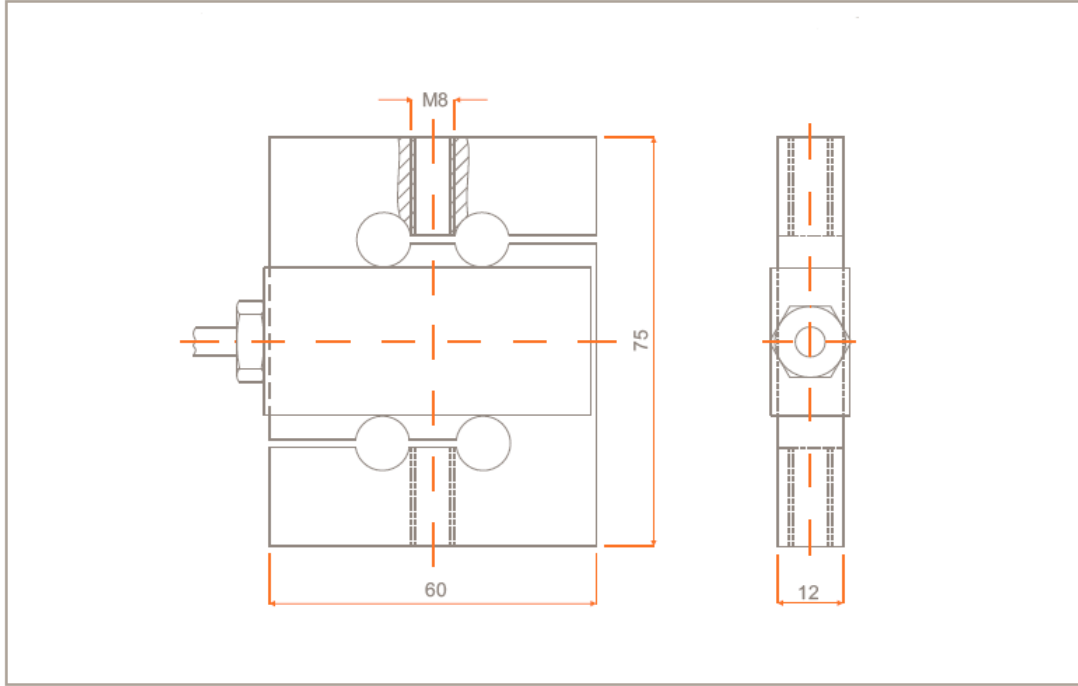
Şekil 3.3 S Tipi Yük Hücresi

Tablo 3.2’de ise körük test düzeneğinde kullanılan ESIT marka s tipi yük hücresinin teknik özellikleri bulunmaktadır. Tablodaki esneme olarak gözüken 0.4 mm’lik değer tasarım açısından kritik bir özelliktir. Bu değer yük hücresinin üstüne gelen maksimum kuvvet olan 50 kg’lık değerde yaptığı esnemedir. Başka bir deyişle yük hücresinin üstüne tek yönde 50 kg’lık kuvvet geldiğinde 0.4 mm esnemektedir. Bu sebepten dolayı tasarımda kuvvet ölçümü yapılacak olan noktanın bir yönde serbest olarak hareket etmesini sağlamak gerekmektedir.

Çizelge 3.2 Yük Hücresinin Teknik Özellikleri

Maksimum kapasite (E_{max})	kg	50, 100, 200, 500
Hassasiyet sınıfı (OIML R 60 standartlarına göre)		C1 C3
Maksimum bölüntü sayısı (n_{LC})		1000 3000
Minimum ölçüm aralığı (V_{min})		$E_{max}/5000$ $E_{max}/10000$
Toplam hata	%	$\leq \pm 0.05$ $\leq \pm 0.02$
Sıfıra dönüş hatası (DR)	$\%E_{max}$	0.007
Minimum yük	$\%E_{max}$	0
Aşırı yükleme kapasitesi	$\%E_{max}$	150
Aşırı yan yükleme kapasitesi	$\%E_{max}$	100
Kırılma kapasitesi	$\%E_{max}$	200
Esneme (E_{max} yükte)	mm	≤ 0.4
Maksimum uyarma gerilimi (U_{max})	V	15
Kazanç (C_n)	mV/V	$2 \pm 0.1\%$
Yüksüz çıkış	$\%C_n$	$\leq \pm 1.0$
Giriş direnci	Ω	385 ± 20
Çıkış direnci	Ω	350 ± 3
İzolasyon direnci	M Ω	≥ 500
Düzeltilmiş çalışma sıcaklığı aralığı	$^{\circ}\text{C}$	-10...+40
Çalışma sıcaklığı aralığı	$^{\circ}\text{C}$	-40...+80
Yük Hücresi malzemesi		Paslanmaz Çelik
Koruma sınıfı (EN60529 standartlarına göre)		IP66
Kablo boyu	m	5
Kablo dış çapı	mm	5
Ağırlık	kg	0.5
Paket ebatları / ağırlığı	cm / kg	10x27x6 / 0.6

Şekil 3.4'te ise seçilen ESIT marka yük hücresinin teknik çizimi bulunmaktadır. Bu çizim sayesinde yapılacak tasarımda sensörün bağlantı noktaları belirlenecektir.



Şekil 3.4 Yük Hücresi Teknik Çizimi

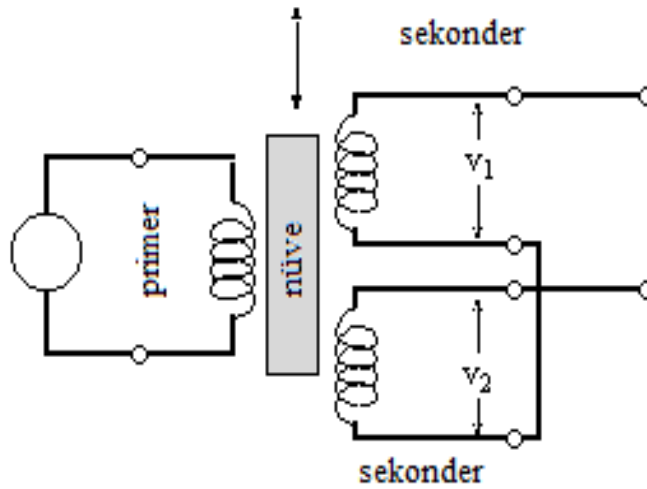
Körük test düzeneğinde kullanılacak olan kuvvet sensörünün seçiminin ardından deplasman sensörü seçiminin yapılması gereklidir. Burada da kuvvet sensöründe olduğu gibi öncelikle deplasman sensörü tipleri belirlenip aynı kriterlere göre seçim yapılacaktır.

Deplasman sensörleri ölçme şekillerine göre temaslı ve temassız olarak iki tipte bulunmaktadır. Temaslı tipler olarak potansiyometre esasıyla çalışan deplasman sensörleri ve LVDT'ler (Linear Variable-Differential Transformer) gösterilebilir. Temassız tipler olarak da Eddy Current olarak adlandırılan sensörler ve lazer deplasman sensörleri mevcuttur.

Potansiyometre esasıyla çalışan tipler en basit deplasman sensörleridir. Deplasmanı ölçülen parça sensörün içindeki rotu hareket ettirerek içerdeki direncin değişkenlik göstermesini sağlar. Direncin değişmesiyle birlikte sensörün çıkışındaki voltajda değişim olur. Bu voltaj değişimi kontrol ünitesine aktararak parçanın yaptığı deplasmanlar ölçülmüş olur. Bu tipteki sensörlerin en büyük dezavantajları harekete gösterdikleri tepkinin yavaş olmasıdır. Bu yüzden bu tipteki sensörler statik

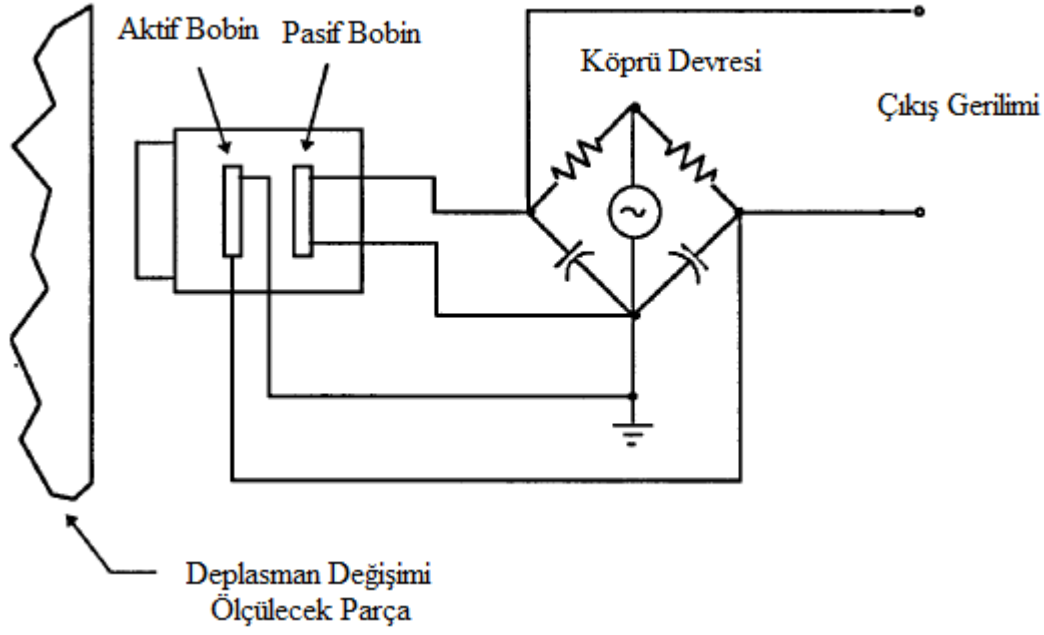
deplasman ölçümlerinde veya yavaş hareket eden cisimlerin deplasman ölçümlerinde kullanılmaktadır.

LVDT tipi deplasman sensörlerinin içinde primer ve sekonder olarak adlandırılan iki adet bobin ile mekanik olarak hareketlendirilmiş bir nüve bulunmaktadır. Nüve hareket ettirildiğinde bobinlerdeki indüktans değişmektedir. Bu sayede mekanik olarak hareket ettirilen nüve sayesinde deplasman ölçümü yapılabilmektedir. LVDT tipi sensörlerin en büyük avantajı neredeyse sürtünmesiz olarak çalışıp yüksek çözünürlükte sonuçlar sağlamalarıdır. Şekil 3.5'te LVDT tipi bir deplasman sensörün yapısı görülmektedir [21].



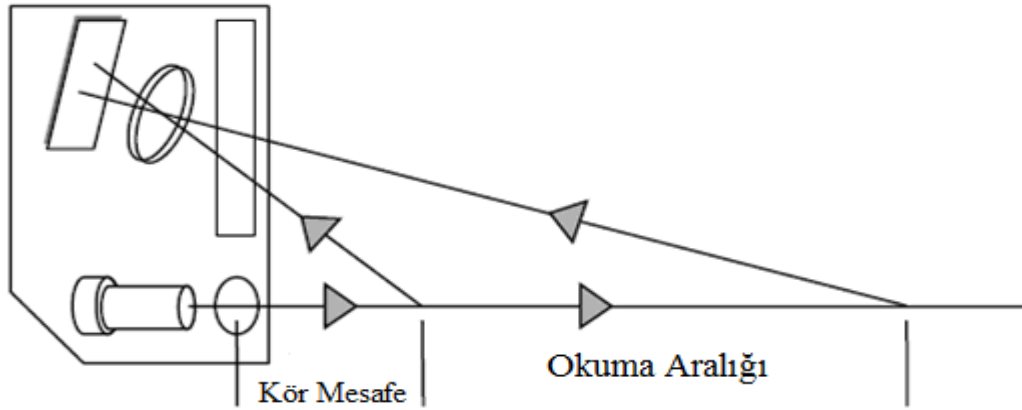
Şekil 3.5 LVDT Tipi Deplasman Sensörü

Temassız olarak çalışan Eddy Current tipi sensörlerin çalışması LVDT'lere benzemektedir. Sensörün içinde aktif ve pasif olarak adlandırılan iki adet bobin bulunmaktadır. Aktif olan bobinle karşısındaki deplasman miktarı ölçülecek parça arasında bir manyetik alan oluşmaktadır. Parçanın hareketlenmesiyle birlikte bu manyetik alanda değişim gözlenir. Pasif olan diğer bobin ise voltaj okunacak elektrik devresini tamamlar. Eddy Current tipindeki deplasman sensörlerinin okuma aralıkları 0.5 mm ile 70 mm arasında değişkenlik göstermektedir. Aynı zamanda bu tipteki deplasman sensörleri % 0.0005 gibi yüksek çözünürlük sağlarlar. Bu özellikleri sayesinde Eddy Current tipindeki deplasman sensörleri titreşim ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Okuma aralıklarının diğer tipteki sensörlere göre düşük kalması en büyük dezavantajları olarak görülebilmektedir. Şekil 3.6'da Eddy Current tipindeki deplasman sensörlerinin elektrik şeması görülmektedir.



Şekil 3.6 Eddy Current Elektrik Şeması

Lazer deplasman sensörleri, konumu ölçülecek parçanın üstüne bir lazer dalgası yollayıp, parçanın üstünden geri yansımalarını algılayarak ölçüm yapmaktadırlar. Sensörün içindeki lensler vasıtasıyla parçadan geri gelen lazer ışığı bir mikroişlemcide toplanır. Bu mikro işlemci üstüne gelen lazer ışığının konumuna göre bir analog sinyal oluşturur. Şekil 3.7’de lazer deplasman sensörlerinin çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 3.7 Lazer Deplasman Sensörü Çalışma Prensibi

Lazer deplasman sensörlerinin ölçüm yapmaya belirli bir kör mesafeden başlarlar. Bunun sebebi bu aralıktaki parçadan yansıyan lazer ışığı lensin odak noktasının dışında kalmaktadır. Başka bir deyişle bu aralıkta parçadan yansıyan lazer ışığı mikroişlemcinin dışında kalmaktadır [22].

Körük test düzeneğinde kullanılacak olan deplasman sensörünün seçim kriterleri kuvvet sensöründe olduğu gibi sensörün okuma aralığı ve okuma hassasiyeti ile sensörün maliyeti olarak belirtilebilir. Bu kriterler göz önünde bulundurularak yukarıda anlatılan temaslı ve temassız tipteki deplasman sensörlerinin karşılaştırılması Tablo 3.3’te görülmektedir.

Çizelge 3.3 Deplasman Sensörü Karşılaştırma Tablosu

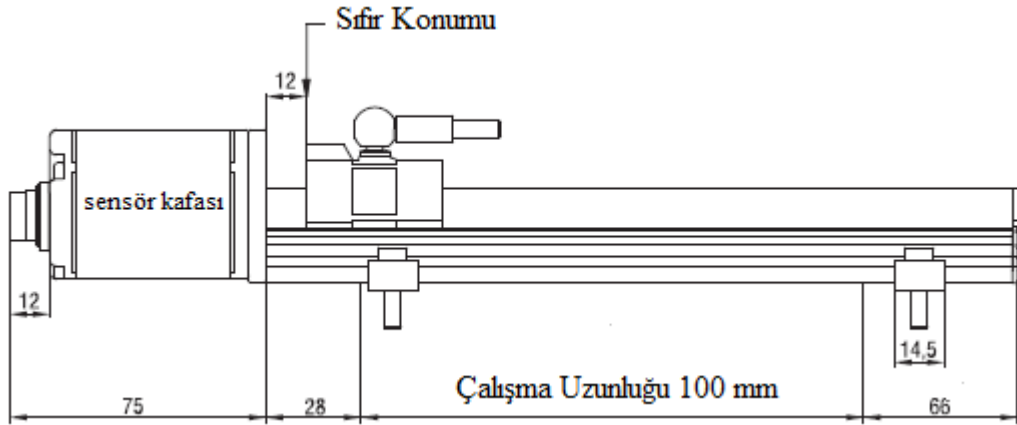
Sensör Tipi	Deplasman Aralığı	Okuma Hassasiyeti	Maliyet
Potansiyometre	●	○	●
LVDT	●	●	●
Eddy Current	○	●	●
Lazer	●	●	○

Tablo 3.3’te karşılaştırılan deplasman ölçüm sensörleri kuvvet sensörü seçiminde olduğu gibi teker teker ele alındığında potansiyometre tipi sensörlerin okuma aralıklarının LVDT’lere göre daha az olduğu görülmektedir. Okuma hassasiyeti açısından potansiyometreler körük test düzeneği için yetersiz kalmaktadırlar. Bu sebepten dolayı potansiyometre tipindeki deplasman sensörleri karşılatırılan sensörler arasında maliyeti en az olan sensörlerdir. LVDT tipindeki deplasman sensörleri hem okuma aralıkları hem de okuma hassasiyetleri açısından körük test düzeneği için yeterlidir. Maliyetleri potansiyometrelere göre yukarda kalsa da temassız tipteki sensörlerle karşılaştırıldığında daha uygun olduğu görülmektedir. Eddy current tipindeki temassız deplasman sensörleri yüksek çözünürlükte okuma sağlamaktadırlar. Fakat bu tipteki sensörlerin okuma aralıkları yapılan tahrik grubu deplasman ölçümlerine göre yetersiz kalmaktadır. Lazer deplasman sensörleri ise LVDT’lerde olduğu gibi hem okuma aralığı hem de çözünürlük açısından körük test düzeneği için yeterlidir. Bu tipteki sensörlerin maliyetleri karşılaştırılan tiplere göre çok yukarıda kalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı körük test düzeneğinde LVDT tipi bir deplasman sensörü kullanılmasına karar verilmiştir. Bu tipteki sensörlerin temaslı olarak okuma sağladığından bahsetmiştik. Bu yüzden körük test düzeneğinin tasarım aşamasında deplasman ölçümü için kullanılacak sensörün de dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 3.8’de kullanılacak LVDT tipi sensörün resmi görülmektedir.



Şekil 3.8 Körük Test Düzeneği Deplasman Sensörü

Şekil 3.8’de görülen MTS Temposonics marka LVDT tipi deplasman sensörünün okuma aralığı ± 100 mm’dir. Kullanılan deplasman sensörü 0-10 V analog çıkış vermekte ve çözünürlüğü %0.0015’tir. Aynı zamanda 10 m/s’ye kadar ölçüm alabilmektedir. Şekil 3.9’da deplasman sensörünün teknik çizimi bulunmaktadır.



Şekil 3.9 Deplasman Sensörü Teknik Çizimi

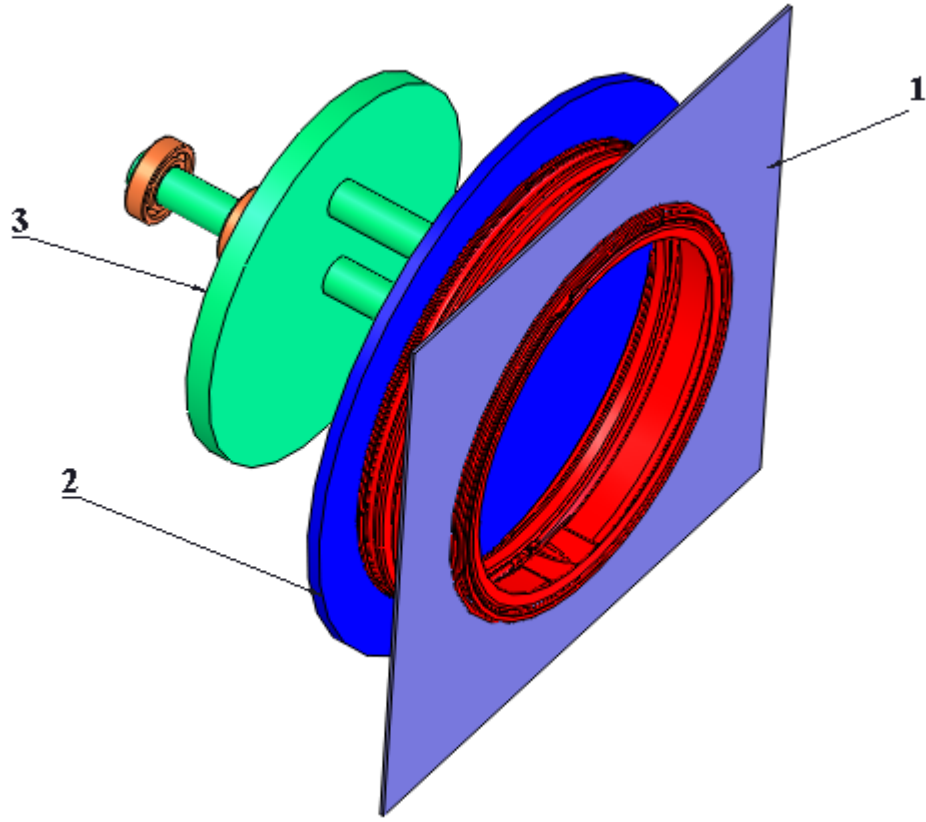
3.2 Körük Test Düzeneği Konsept Tasarımları

Bu bölümde bir önceki konuda anlatılan sensör seçimlerine ve oluşturulan istekler listesine göre konsept tasarımlar oluşturulacaktır. Bu aşamada körük test düzeneği için üç adet konsept tasarım oluşturulmuştur. Konsept tasarımlar istekler listesindeki kriterler açısından karşılaştırılıp, yeterli görülen seçenek için detaylı tasarım aşamasına geçilecektir.

Körük test düzeneğinin konsept tasarımlarının oluşturulması aşamasında ilk olarak çamaşır makinesinin çalışma esasları dikkate alınmıştır. Körük çamaşır

makinesindeki koşullarda çalıştırılırken üstünde oluşan kuvvetlerin ve deplasmanların ölçülmesiyle parçadaki imalat ve proses hatalarının belirlenmesi esas alınmıştır.

Körük çamaşır makinesinde olduğu gibi tek taraftan gövdenin yerine geçen bir parçayla sabitlenip tek taraftan ise kazanın yerine geçen hareketli bir parçaya bağlandıktan sonra belirlenmiş bir deplasman miktarı ile çalıştırılarak kuvvet deplasman ölçümü yapılabilir. Bu esasta çalışacak olan körük test düzeneği ile körük üstünde oluşan x ve y yönündeki kuvvetler belirlenebilir.



Şekil 3.10 Körük Test Düzeneği Konsept Tasarımı

Şekil 3.10'da çamaşır makinesinin çalışma koşulları göz önüne alınarak oluşturulan konsept tasarım görülmektedir. Şekilde 1 numarayla gösterilen parça çamaşır makinesinde olduğu gibi gövdeyi temsil etmektedir. 2 numarayla gösterilen parça ise kazanı temsil etmektedir. 3 numarada ise sisteme hareket verecek olan tahrik kasnağı bulunmaktadır. 3 numaralı parça körüğün bağlı olduğu 2 numaralı parçaya belirlenmiş bir eksen kaçıklığıyla bağlanmıştır. Eksen kaçıklığının ayarlanmasının sağlanmasıyla birlikte körük değişik deplasmanlarda çalışabilecektir. Aynı zamanda

Şekil 3.11’de ilk konsept tasarımın kesit görünüşü bulunmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi 3 numaralı parça körüğün bağlı olduğu 2 numaralı parçaya belirli bir eksen kaçıklığıyla bağlıdır. Sistem çamaşır makinesinde olduğu gibi dönme hareketi yapacağından körüğün üstünde oluşan kuvvetler iki yönlü oluşacaktır. Bu yüzden doğru bir ölçüm alınabilmesi için iki yönden kuvvet okunması gerekecektir. Ayrıca iki yönde kuvvet oluşacağı gibi aynı zamanda iki yönlü deplasman ölçümü gerekmektedir.

Şekil 3.11’de görülen 3 numaralı parçanın 2 numaralı parçaya eksen kaçıklığıyla bağlanması körük üstünde oluşan kuvvetle birlikte aynı zamanda atalet kuvvetlerinin de oluşmasını sağlar. Oluşacak olan atalet kuvveti (3.1)’deki gibi belirlenebilir.

$$F = mr\omega^2 \quad (3.1)$$

F_{at} : Atalet Kuvveti (N)

m_2 : 2 numaralı parçanın kütlesi (kg)

r : Eksen kaçıklığı miktarı (m)

ω : Açısal hız (rad/s)

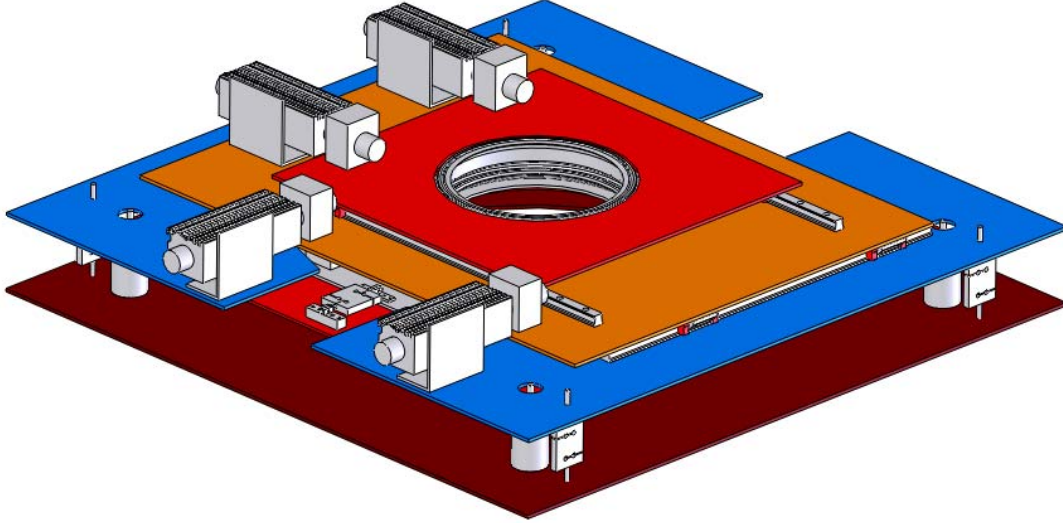
2 numaralı parçanın malzemesi alüminyum olduğunda kütlesi yaklaşık 2 kg olmaktadır. Kullanılan eksen kaçıklığı ise maksimum 35 mm olacaktır. Bu durumda devir 400 dev/dak olarak alınırsa oluşacak F kuvveti hesaplanabilir.

Oluşan atalet kuvvetinin değerine bakıldığında körüğün üstünde oluşan kuvvete etkisinin oldukça yüksek olacağı anlaşılmaktadır. Bu sebepten dolayı yapılacak olan ölçümlerde doğru kuvvet değerlerini belirleyebilmek için çalışma sırasında 2 numaralı parçanın ivme kontrolünün yapılması gerekmektedir. Bu durum tasarım maliyetinin beklenen miktarın üstüne çıkmasına yol açar.

Bir önceki bölümde belirlenen kuvvet ve deplasman sensörler tek yönde ölçüm yapmaktadırlar. Bu yüzden şekil 3.11’de gösterilen konsept tasarımdaki 2 numaralı parçada oluşan dönme hareketinin doğrusal harekete dönüştürülmesi gerekmektedir. Aynı zamanda bu dönüşüm sırasında kuvvet ve deplasman açısından minimum kayıp sağlanmalıdır. Dönüşüm sırasında sensörlerin üstünde oluşacak moment etkileri ölçümlerin yanlış yapılmasına yol açacağı gibi kalite kontrol amaçlı yapılan test düzeneğinde hataların yakalanmasını güçleştirecektir.

Konsept tasarımda görülen diğer bir dezavantaj ise sisteme hareket verecek olan 3 numaralı parçanın güvenli bir şekilde çalışabilmesi için oldukça ağır olması gereklidir. Bu sebepten dolayı sistemi hareketlendirecek olan motorun boyutları artmaktadır. Motorun boyutlarının artması düzeneğin taşınabilir olmasını engelleyecektir.

Yukarıda anlatılan problemlerden dolayı körük test düzeneğinin konsept tasarımı geliştirmekten vazgeçilmiştir. Yapılan konsept tasarım çamaşır makinesindeki koşulları tam olarak sağlasa da yapılacak ölçümleri doğrulamak güç olacaktır.

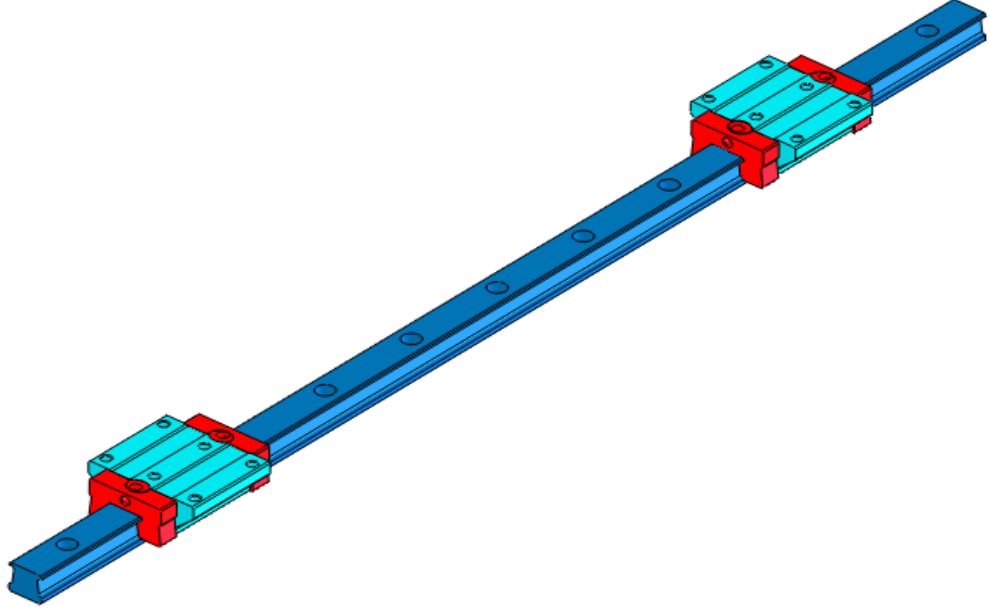


Şekil 3.12 Körük Test Düzeneginin İkinci Konsept Tasarımı

Şekil 3.12’de körük test düzeneğinin ikinci konsept tasarımı görülmektedir. Bir önceki tasarımdan farklı olarak burada körüğü test ederken dairesel hareket yerine doğrusal bir hareket kullanılması düşünülmüştür. Körük test düzeneğinin doğrusal bir hareketle çalışması sensörlerin çalışmasını kolaylaştıracak gibi oluşacak atalet kuvvetlerinin etkisini azaltacaktır.

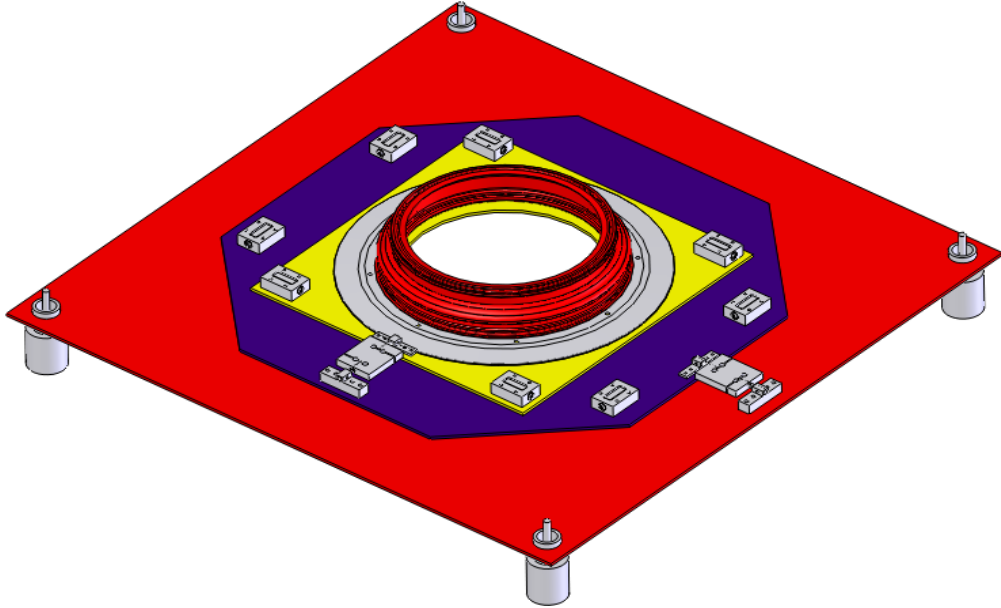
Şekil 3.12’deki sistemde doğrusal hareketler lineer motorlarla sağlanmıştır. Lineer motorlar elektrik enerjisini doğrusal harekete çevirmektedir. Sistemde kullanılacak olan dört adet lineer motor çamaşır makinesinde oluşan iki eksenli hareketi oluşturabilmektedir. Lineer motorların kontrolü sayesinde test düzeneği değişik deplasmanlarda ve devirlerde çalışabilecektir. Aynı zamanda bu kontrol sayesinde sistemin çamaşır makinesinde olduğu gibi test yapılırken değişik deplasmanlara maruz kalması sağlanabilmektedir. Başka bir deyişle bu sayede düzeneğin test sırasında sabit deplasmanlarda çalışması engellenmiş olur.

Şekil 3.12’de görüldüğü gibi ikinci konsept tasarım birbirinin üstünde çalışan altı adet plakadan oluşmaktadır. Lineer motorların iki tanesi en üstte gözüken kırmızı renkteki plakaya bağlanmıştır. Diğer iki adet lineer motor ise onun altındaki turuncu renkte gözüken plakaya bağlıdır. Bu iki plakanın altında ise mavi renkte gözüken üçüncü plaka bulunmaktadır. Bu üç plaka arasında hareketin doğrusal şekilde olmasını sağlayan lineer yataklar bulunmaktadır. Sistemde kullanılan lineer yataklar şekil 3.13’te görülmektedir.



Şekil 3.13 Lineer Yatak

Körük test düzeneğinin yapılan ikinci konsept tasarımında üç yönde kuvvet okumak amaçlanmıştır. Bunun için lineer yatakların bağlandığı şekil 3.12'deki üçüncü plaka sistemin kaidesini oluşturan bordo renkteki plakaya dört adet kuvvet sensörüyle bağlanmıştır. Bu sayede körüğün üstünde oluşan z eksenindeki kuvvetler de okunabilecektir. Şekil 3.14'te körüğün üstünde oluşan x ve y yönündeki kuvvetleri okumak için oluşturulan yapı gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Körük Test Düzeneğinin Kuvvet Ölçümü İçin Oluşturulan Yapı

Şekil 3.14'te körük altındaki sarı renkte görülen plakaya rijit olarak bağlanmıştır. Sarı renkli plaka ise altındaki mor renkte görülen plakaya sadece körüğün x ekseninde hareket edebilecek şekilde bağlanmıştır. Mor plaka ise altındaki kırmızı plakaya sadece körüğün y ekseninde hareket edebilecek şekilde bağlanmıştır. Bu tek serbestlik dereceli hareketler sayesinde yük hücreleri bağlı oldukları noktalarda ölçüm yapabilecektir. Şekilde görülen kırmızı plakanın bağlantı şekli ise körüğün z ekseninde hareket yapmasını sağlar. Bu sayede test düzeneği değişik geometrilerdeki körüklerin test edilmesine olanak sağlar.

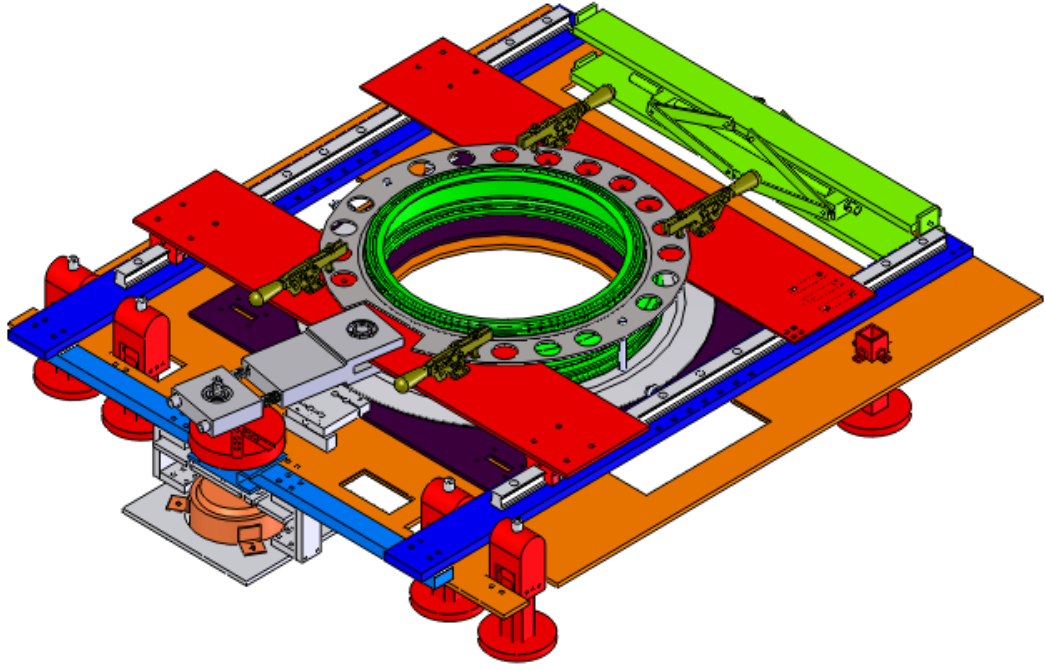
Körük test düzeneğinin ikinci konsept tasarımının en büyük sorunu sistemin ağırlığının yükselmesidir. Ağırlık artışı istekler listesinde bahsedilen sistemin taşınabilir olmasını engellemektedir. Bu sebepten dolayı test düzeneğinin basit yapısından uzaklaşmıştır.

Üç yönlü kuvvet ölçümü amacıyla kuvvet sensörlerinin ve hareketi sağlayan lineer motorların sayısının artması, sistemin maliyetinin beklenenden yukarıda kalmasına yol açmıştır.

Yukarıda bahsedilen test düzeneğinin ikinci konsept tasarımı körük üstündeki imalat ve proses hatalarını yakalamakta yeterli olduğu görülmüş fakat istekler listesindeki kriterleri sağlamakta yetersiz kalmıştır. Sistemin taşınabilirliğinin ortadan kalkmasının yanı sıra maliyet beklenin çok üstünde kalmıştır. Bu sebepten dolayı körük test düzeneğinin bir sonraki konsept tasarımında imalat ve proses hatalarını belirlemek için tek yönlü kuvvet ve deplasman ölçümü yapılmasına karar verilmiştir. Bu sayede sistemin çalışma prensibi basitleşeceği gibi aynı zamanda maliyetler de azalacaktır.

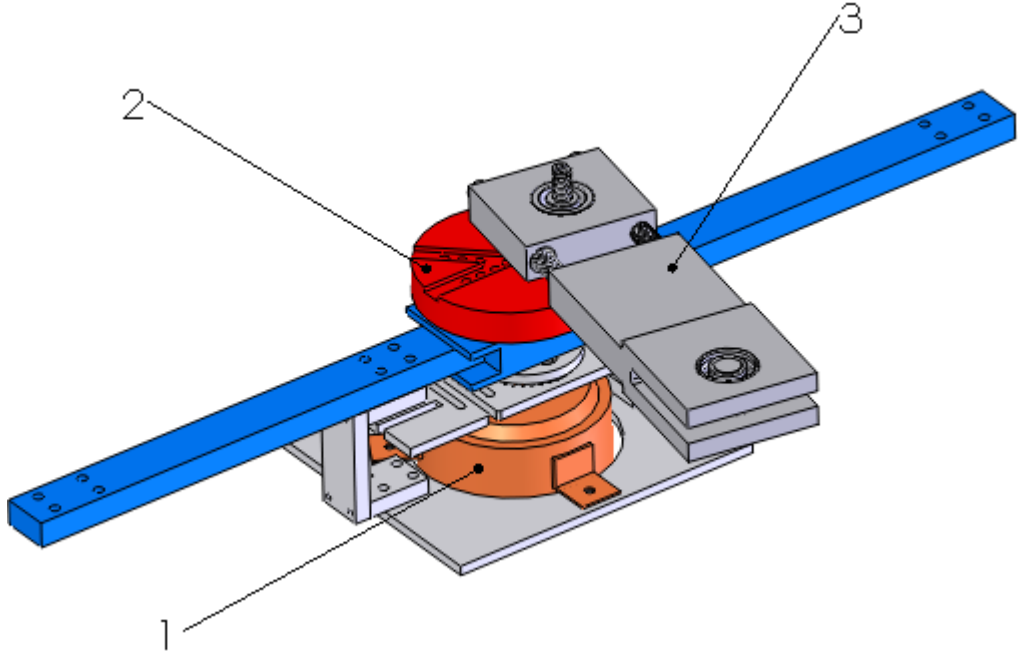
Körük test düzeneğinin üçüncü konsept tasarımında parçaya tek yönlü hareket verilerek ölçüm yapılması düşünülmüştür. Bu amaçla tek yönlü hareket için tahrik olarak krank biyel mekanizmasına benzer bir yapı oluşturulmuştur. Bu sayede körük üzerinde oluşan tek yönlü kuvvetlerin okunması sağlanmış olacaktır. Aynı zamanda hareket yönündeki deplasmanların okunmasıyla birlikte körüğün imalat ve proses hatalarının ortaya çıkması sağlanmış olacaktır.

Şekil 3.15'te körük test düzeneğinin üçüncü konsept tasarımı görülmektedir. Tasarımda test düzeneğini hareketlendirecek olan motorun dönme hareketi lineer yataklar kullanılarak doğrusal harekete dönüştürülmüştür.



Şekil 3.15 Körük Test Düzeneği Üçüncü Konsept Tasarımı

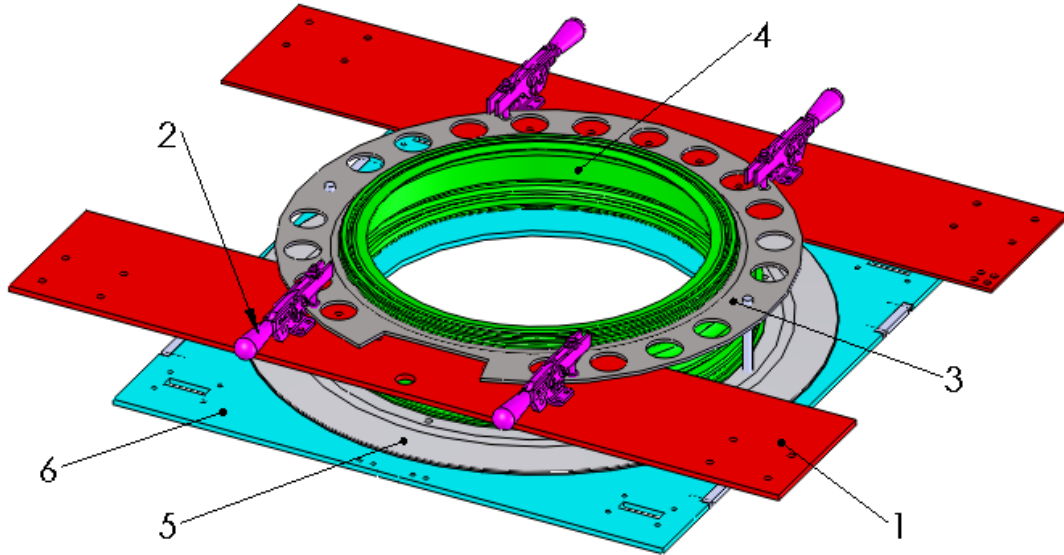
Şekil 3.15'te görülen körük test düzeneği konsept tasarımının çalışma prensibi krank-biyel mekanizmasına benzetilmektedir. Krankın yerine geçen ve motorun bağlı olduğu çark, biyelin yerine geçen kol ile körüğün bağlı olduğu plakaya bağlanmıştır. Bu plakanın da lineer yataklar kullanılarak doğrusal hareket yapması sağlanmıştır.



Şekil 3.16 Körük Test Düzeneği Tahrik Mekanizması

Şekil 3.16’da körük test düzeneği üçüncü konsept tasarımın tahrik mekanizması görülmektedir. Burada 1 numarayla gösterilen motor bir planet dişli mekanizmasına bağlıdır. Planet dişli mekanizmasından çıkan mil ise 2 numarayla gösterilen çarkı tahrik etmektedir. 3 numarayla gösterilen kol ise çarka değişik merkezden belirli değişik mesafelerde bağlanabilmektedir. Bu sayede körük, çamaşır makinesinde olduğu gibi birbirinden farklı deplasmanlarda test edilebilecektir.

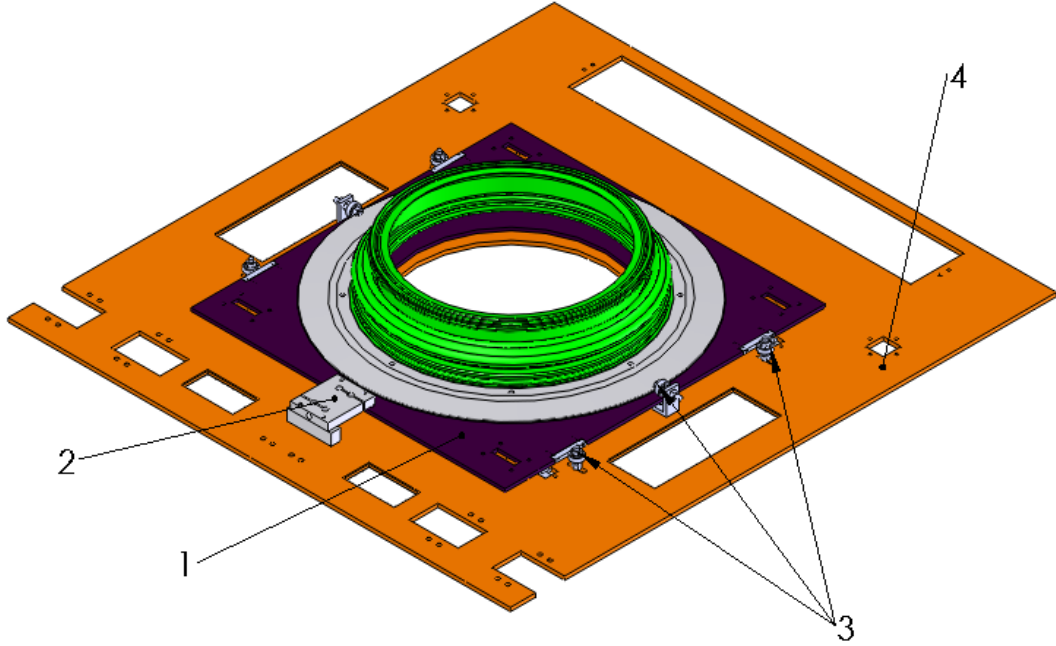
Körük test düzeneğinde 2 Nm torka sahip 3000 dev/dak’da çalışabilen Mako marka DC motor seçilmiştir. Bu motorun gerek torku gerekse çalışma devirleri körük test düzeneği için yeterli görülmüştür. Aynı zamanda seçilen motorun çalışma gerilimi ile devir arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bu sayede körük test düzeneğinin istekler listesindeki değişik devirlerde çalışma koşulu sağlanmış olacaktır.



Şekil 3.17 Körüğün Test Düzeneğine Bağlantı Şekli

Şekil 3.17’de körüğün test düzeneğine bağlantı şekli görülmektedir. Burada 1 numarayla gösterilen plaka tahrik mekanizmasına bağlanmaktadır. 3 numaralı parça ise çamaşır makinesindeki gövdeyi temsil eden ve 4 numarayla gösterilen körüğün bağlandığı parçadır. 2 numarayla gösterilen parçalar ise 3 numaralı körüğün takıldığı parçayı hareketli plakaya bağlayan mengenelerdir. Bu mengenelerin kullanılmasındaki amaç birbiri ardına yapılan testlerde körük değişim süresini azaltmaktır. Körük 5 numarayla gösterilen çamaşır makinesi kazan kapağı kullanılarak altındaki 6 numarayla gösterilen plakaya rijit bir şekilde bağlanmıştır. Körüğün bağlandığı plakaya bağlanacak olan yük hücresi sayesinde kuvvet ölçümü

yapılacak, aynı zamanda hareketli olan parçaya bağlanacak olan LVDT ile de deplasman ölçümleri gerçekleştirilecektir. Kuvvet ölçümü için kritik olan nokta 6 numarayla gösterilen plakanın tek yönde serbest hareketinin sağlanmasıdır. Deplasman ölçümünde ise kritik nokta 1 numarayla gösterilen hareketli plakanın sensörle birlikte hareket etmesini sağlamaktır.

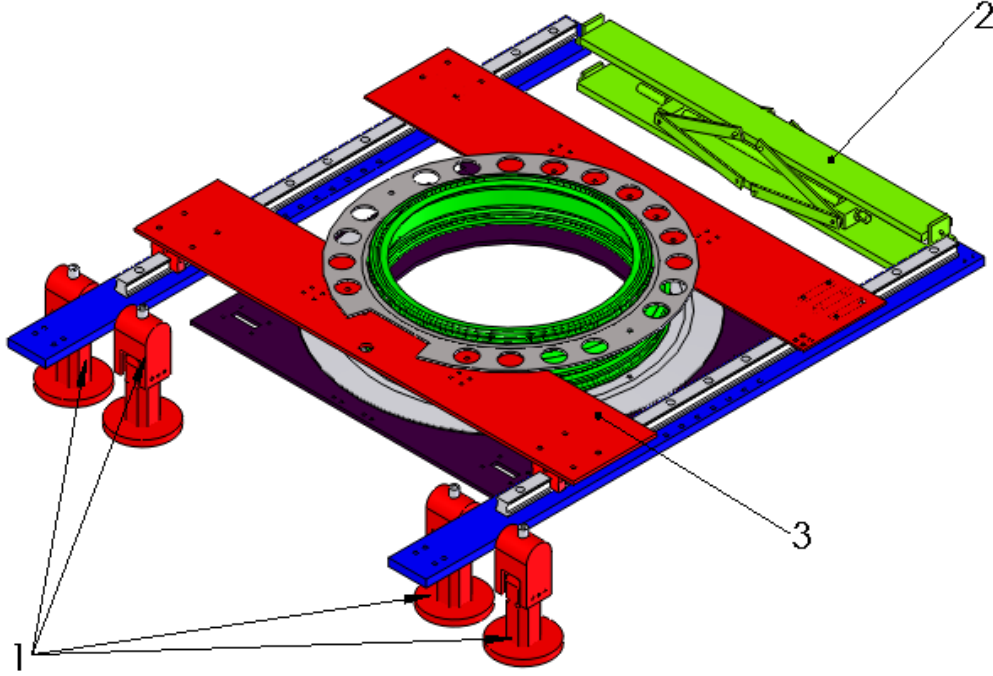


Şekil 3.18 Kuvvet Sensörünün Bağlantı Şekli

Şekil 3.18’de körüğün üstündeki kuvveti belirleyecek olan yük hücresinin bağlantı şekli görülmektedir. 1 numarayla gösterilen körüğün rijit olarak bağlandığı plaka 2 numarayla gösterilen yük hücresine körük üstünde oluşan kuvvetleri iletmektedir. Burada kritik nokta sensörün üstünde test sırasında körüğün hareketlerinden dolayı oluşabilecek momentlerin ölçüme etki etmesidir. Bu amaçla şekilde körüğün bağlandığı plakanın hareketleri, üst taraftan ve yan taraftan 4 numaralı sabit plakaya bağlanan ve 3 numara ile gösterilen rulmanlar sayesinde sınırlandırılmıştır. Bu sayede körüğün bağlandığı plakanın yük hücresine sadece hareket yönündeki kuvvetleri iletmesi sağlanmış olur.

Şekil 3.19’da körüğün bağlandığı hareketli plakanın yere bağlantısını sağlayan ayak mekanizması görülmektedir. Burada 1 numarayla gösterilen ayaklar hareketli plakanın bağlı olduğu lineer yatakların yere sabitlenmesini sağlamaktadır. Buradaki ayak yapıları yukarı aşağı yönde ayarlanarak değişik geometrilerdeki körüklerin test düzeneğine bağlantısını sağlayacaktır. Ayrıca bu konsept tasarımda körüğün açılı

olarak hareket ettirilmesini sağlamak için şekilde 2 numarayla gösterilen kriko mekanizması kullanılmıştır. Burada kriko mekanizmasının kullanımındaki amaç ileride karşılaşılabilecek eğik yapıya sahip körüklerin test edilebilmesini sağlamaktır.



Şekil 3.19 Lineer Yatakların Yere Bağlantı Şekli

Bu bölümde istekler listesine göre yaratılan konsept tasarımlar anlatılmıştır. Yapılan ilk konsept tasarımda körük üstündeki ölçümlerin çamaşır makinesi çalışma koşullarına göre yapılması düşünülmüştür. Ortaya çıkan tasarımda atalet kuvvetlerinin ölçüme etki etmesinden ve aynı zamanda seçilen sensörlere göre kuvvet ve deplasman ölçümlerinin yapılmasının zorlaşmasından dolayı bu tasarım ilerletilmemiştir. Yapılan ikinci konsept tasarımda ise dönme hareketinden doğrusal hareketlere geçilmiş ve üç yönlü kuvvet ve deplasman ölçümü yapılması amaçlanmıştır. Bu seçenekte ise ölçümlerin üç yönlü yapılmasının maliyeti arttırması ve aynı zamanda test düzeneğinin taşınabilirliğini yitirmesi ikinci konsept tasarımın dezavantajları arasında gösterilebilir. Üçüncü konsept tasarımda ise ikinci konsept tasarımdaki sistemin basitleştirilmesiyle birlikte tek yönde kuvvet ve deplasman ölçümü yapılması amaçlanmıştır. Bu tasarımdaki dezavantaj ise körüğün çamaşır makinesinde olduğu gibi üç yönlü hareket ettirilmemesi gösterilebilir.

Bu aşamada yapılan ikinci ve üçüncü konsept tasarımlar için maliyetler belirlenmiştir. İkinci konsept tasarımda kullanılan sensör sayısının artması ve aynı zamanda hareket için lineer motorların kullanılmasından dolayı, bu tasarımın maliyetleri üçüncü konsept tasarıma göre 4 kat fazla olmuştur. Körük test düzeneğinin üçüncü konsept tasarımında yapılacak olan tek yönlü kuvvet ve deplasman ölçümlerinin körüğün imalat ve proses hatalarını ortaya çıkarmada yeterli olacağına karar verildikten sonra detaylı tasarım aşamasına geçilmiştir.

Bundan sonraki bölümde ise seçilen üçüncü konsept tasarımın geliştirilmesi anlatılacaktır. Bu tasarımda kullanılan mekanizmaların detaylı tasarım aşaması ve aynı zamanda tasarımda kritik görülen parçaların sonlu elemanlar yöntemiyle analizleri gösterilecektir.

4.KÖRÜK TEST DÜZENEGİNİN DETAYLI TASARIM AŞAMASI

Ölçüm sistemlerinin ve test düzeneklerinin tasarım sürecinde sonuçların oluşturulduğu adım detaylı tasarım aşamasıdır. Burada tasarlanacak olan parça veya sistem son şeklini alır ve üretime hazır hale getirilir. Körük test düzeneğinde de bu durum geçerlidir. İstekler listesi veya diğer adıyla tasarım kriterleri oluşturularak başlayan tasarım sürecinde konsept tasarımı yapılan test düzeneğinin bu aşamada detaylı tasarımı yapılacaktır.

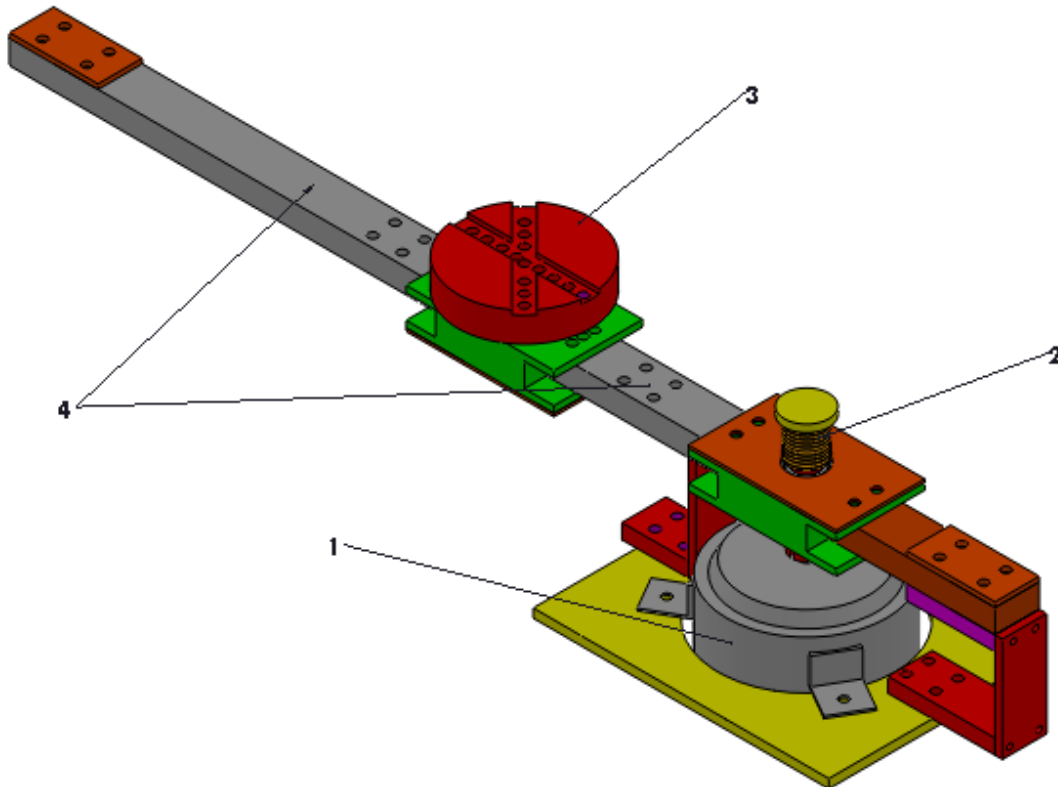
Detaylı tasarım aşaması temel olarak yapılan konsept tasarımın geliştirilmesi ve sonuç belgelerinin oluşturulduğu aşamadır. Burada konsept tasarımda ortaya konan sistemin parçaları teker teker ele alınır ve hatalı görülen noktalar değiştirilir. Detaylı tasarım aşamasının sonunda yapılacak olan sistemde kullanılan parçaların özellikleri tam olarak belirlenmiş olur.

Körük test düzeneğinin detaylı tasarım aşaması üç ana kısım olarak ele alınacaktır. İlk kısım olarak köprüge hareket sağlayacak olan tahrik mekanizmasının oluşturulması gösterilebilir. İkinci kısımda, köprügün test düzeneğine bağlantısında kullanılan yapı ve köprügün üstünde oluşan kuvvetleri okuyacak olan yük hücresinin test düzeneğine bağlantı şekli gösterilecektir. Son olarak üçüncü kısımda ise değişik geometrilerdeki körüklerin sisteme bağlantısını sağlayan ve aynı zamanda test düzeneğinin yerle bağlantısını da sağlayan yapı anlatılacaktır. Detaylı tasarım aşaması tamamlandıktan sonra ölçüm sisteminden gelen sinyallerin okunmasını sağlayacak olan ekipmanlar tanıtılacaktır.

4.1 Körük Test Düzeneği Tahrik Mekanizmasının Detaylı Tasarımı

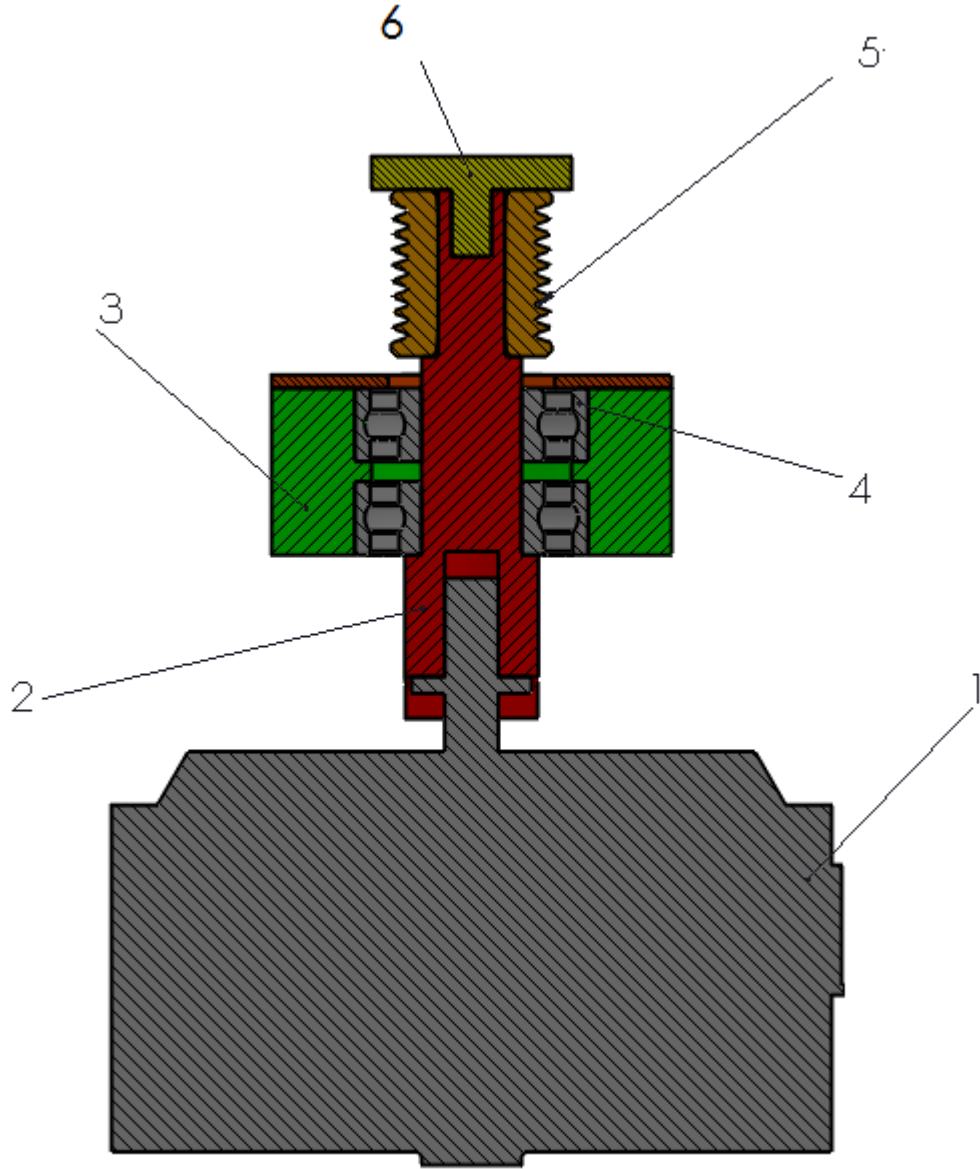
Körük test düzeneği konsept tasarımında kullanılan tahrik mekanizması şekil 3.15’te görülmektedir. Burada motordan gelen dönme hareketleri krank biyel mekanizmasına benzer bir yapıyla doğrusal hareketlere dönüştürülmüştür. Konsept tasarımda motorun çıkış mili bir planet dişli mekanizmasında geçtikten sonra krank olarak çalışan çarka bağlanmıştır.

Planet dişli mekanizmasının kullanılması sistemde ihtiyaç duyulan tork ihtiyacını karşılamasının yanında titreşimli çalışmaya da sebep olacaktır. Bu sebepten dolayı tahrik mekanizmasının detaylı tasarım aşamasında planet dişli mekanizmasından vazgeçilip bir kayış kasnak mekanizması oluşturulmasına karar verilmiştir. Bu sayede düşük devirler ve yüksek deplasmanlarda ihtiyaç duyulan tork değeri sağlanacağı gibi titreşim ve ses oluşumu engellenmiş olacaktır.



Şekil 4.1’de tahrik mekanizmasında kullanılan kayış kasnak mekanizması görülmektedir. Şekilde 1 numarayla gösterilen motor 2 numarayla gösterilen küçük kasnağa bir mil vasıtasıyla bağlanmıştır. Burada 2 numaralı küçük kasnak ise 3 numaralı büyük kasnağa kayışla bağlanacaktır. 4 numarayla gösterilen kollar ise tahrik mekanizmasının sisteme bağlantısını sağlamaktadır.

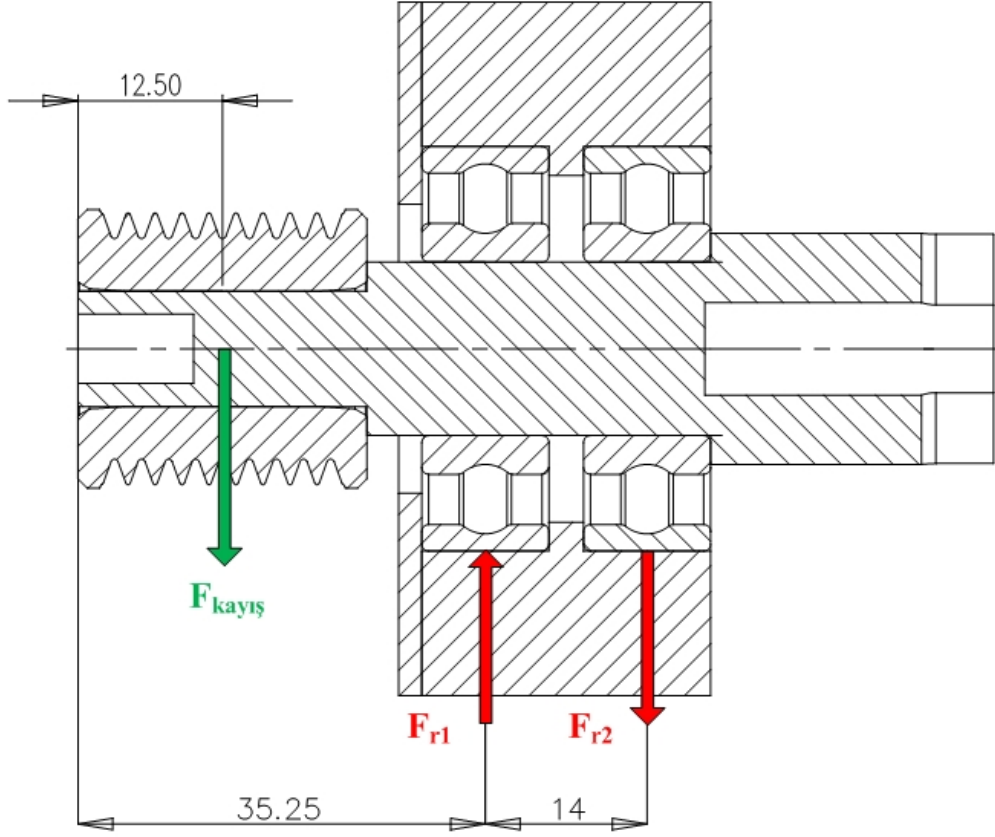
Tahrik mekanizmasında kullanılan kayış kasnak mekanizmasında seçilen motorun gücüne ve belirlenen çevrim oranına göre katalogdan Hutchinson marka 7 PJ 559 poly-v kayış seçilmiştir [23]. Seçilen kayışın genişliği 16.38 mm'dir. Buna göre kullanılan büyük kasnağın genişliği 20 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu seçim sırasında kasnaklar arası mesafe de 191 mm olarak hesaplanmıştır. Bu sayede tahrikte kullanılacak olan kayış kasnak mekanizmasının ölçüleri belirlenmiş olur.



Şekil 4.2 Küçük Kasnak Milinin Yatak Yapısı

Şekil 4.2’de tahrik mekanizmasındaki küçük kasnakta kullanılan milin rulmanları görülmektedir. Şekilde 1 numarayla gösterilen motor 2 numarayla gösterilen mile bağlanmaktadır. 3 numarada ise yataklamada kullanılan ve 4 numarayla gösterilen iki adet 6202 rulmanın yuvası görülmektedir. Şekilde 2 numarayla gösterilen mil 5

numaralı küçük kasnağa sıkı geçme olarak bağlanmış ve üst taraftan 6 numarayla gösterilen parça sayesinde sabitlenmiştir. Bu yapı sayesinde motorun çıkış milindeki dönme hareketi küçük kasnağa aktarılmıştır.



Şekil 4.3 Motor Milinde Rulmanların Üstünde Oluşan Kuvvetler

Şekil 4.3'te motora bağlanan milin üstünde oluşan kuvvetler görülmektedir. Burada kayışın küçük kasnakta oluşturduğu kuvvet $F_{kayış}$ olarak gösterilmiştir. Rulmanların üstüne gelen kuvvetler ise F_{r1} ve F_{r2} ile belirtilmiştir. Kayışın mil üstünde oluşturduğu $F_{kayış}$ kuvveti 300 N değerindedir. Buna göre rulmanlar üstünde oluşan kuvvetler hesaplanabilir.

$$F_{kayış}(35.25+14-12.50) - F_{r1}14 = 0 \quad (4.1)$$

$$F_{kayış}(35.25 - 12.50) - F_{r2}14 = 0 \quad (4.2)$$

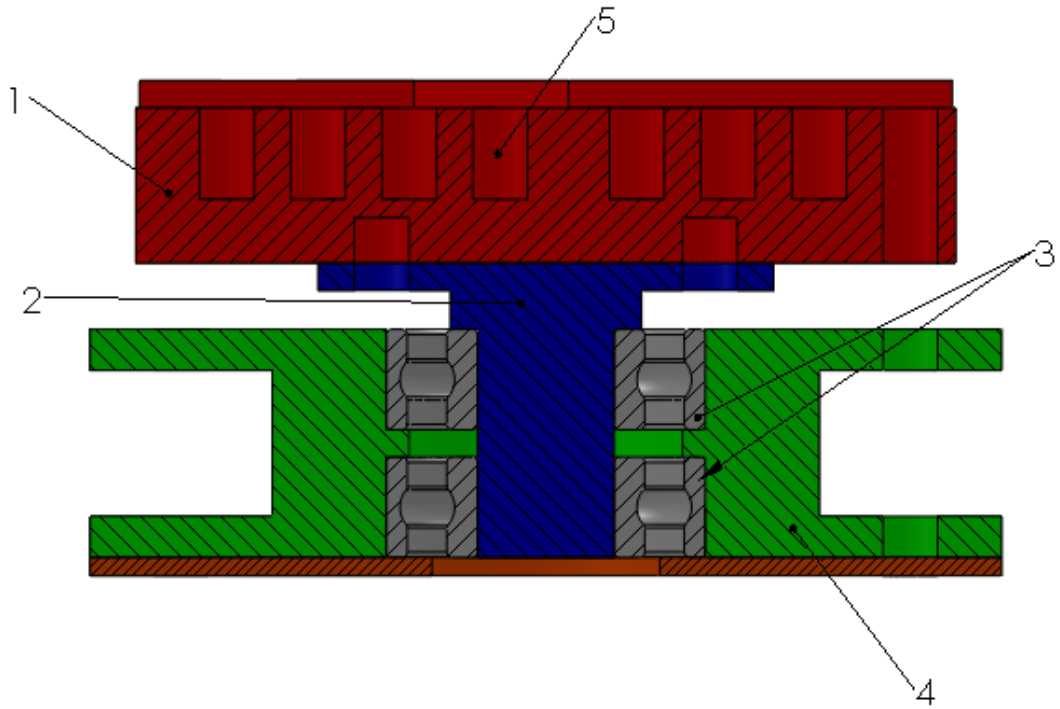
4.1 numaralı denklemden F_{r1} kuvveti 787.5 N bulunur. 4.2 numaralı denklemden de F_{r2} kuvveti 487.5 N hesaplanır. Burada seçilen rulmanın kontrolünü yapmak gerekmektedir. Bunun için öncelikle rulmanların çalışma ömürleri belirlenmelidir. 5000 saatlik bir çalışma ömrü uygun görülmüştür.

$$L_h = \frac{10^6}{60n(C_h / F)^p} \quad (4.3)$$

Burada L_h rulmanın çalışma ömrü, n çalışma devri, C_h dinamik yük sayısı ve F rulman üstüne gelen kuvvettir. Buradan C_h çekilirse, denklem aşağıdaki şekli alır.

$$C_h = F^p \sqrt[p]{\frac{L_h 60n}{10^6}} \quad (4.4)$$

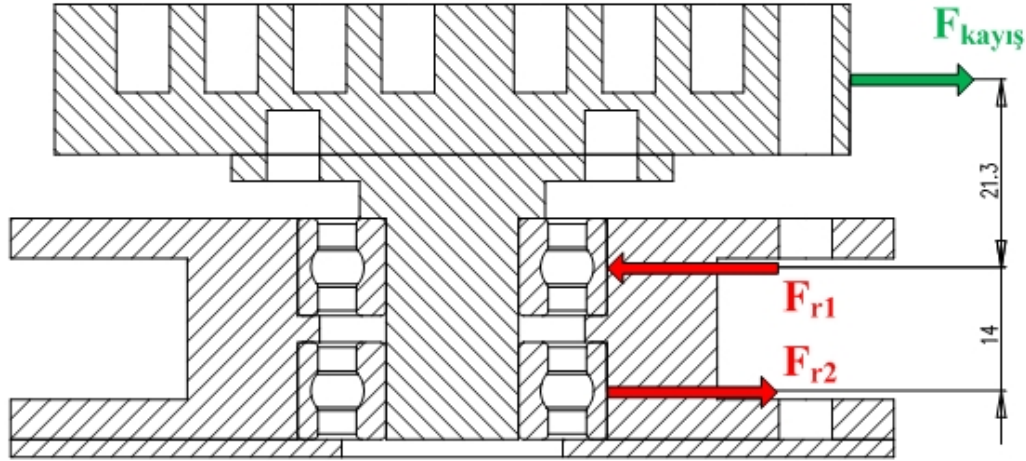
(4.4) numaralı denklemde çalışma ömrü L_h 5000 saat, çalışma devri n 3000 d/d ve F kuvveti de 300 N alındığında C_h değeri yaklaşık 7600 N bulunmaktadır. 6202 rulman için dinamik yük katsayısının maksimum değeri katalogta 7800 N'dur. Böylece rulmanların küçük kasnak mili için güvenli bölgede olduğu söylenebilir. Aynı zamanda seçilen çalışma saati körük test düzeneği için oldukça yüksek seçilmiştir. Gerçekteki çalışma süreleri dikkate alındığında seçilen rulmanlar daha güvenli bölgede çalışacaktır.



Şekil 4.4 Büyük Kasnak Milinin Yatak Yapısı

Şekil 4.4'te tahrik mekanizmasında kullanılan büyük kasnağın yatak yapısı görülmektedir. şekilde 1 numarayla gösterilen parça büyük kasnak olarak adlandırılan çarktır. 2 numarayla gösterilen parça ise kasnağın bağlı olduğu mildir. 3 numarada ise kullanılan rulmanlar görülmektedir. 4 numarayla belirtilen parça ise

rulman yuvası büyük kasnak milinin rulman yuvasıdır. 5 numarayla gösterilen kısım ise test sırasında körüğün belirli deplasmanlarda çalışmasını sağlayacak olan deliklerdir. Bu delikler merkezden 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 mm uzakta açılmıştır. Bu sayede körük istenilen bir deplasmanda test edilebilecektir.



Şekil 4.5 Çark Milinde Rulmanlar Üstünde Oluşan Kuvvetler

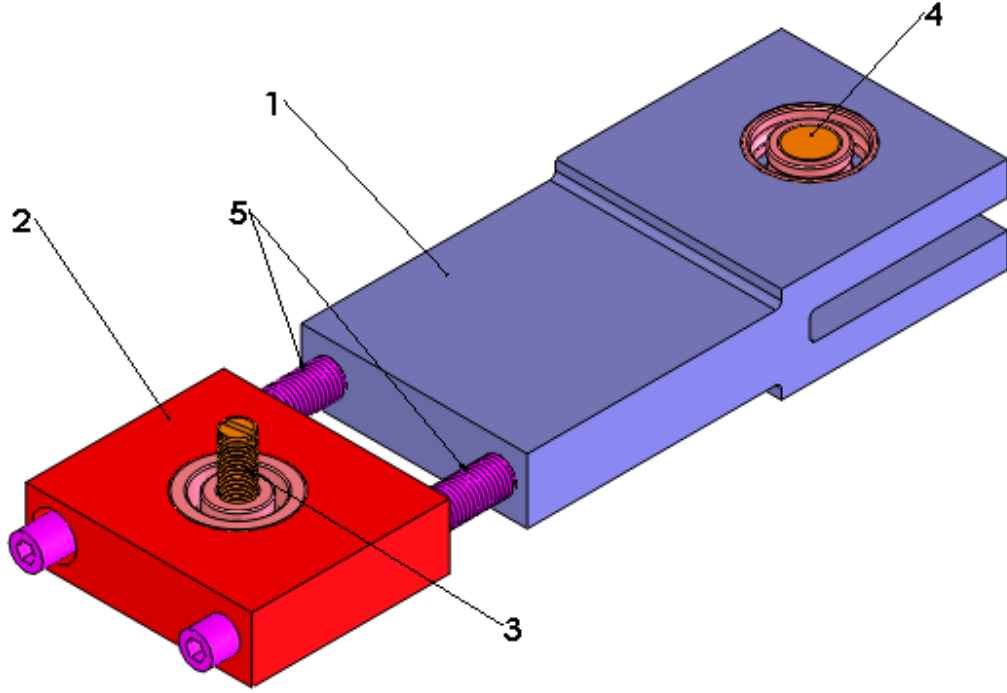
Küçük kasnak milinde olduğu gibi çark milinde de 6202 rulmanlar kullanılmıştır. Kullanılan rulmanların üstünde oluşan kuvvetler şekil 4.5'te görülmektedir. Burada kayıştan gelen kuvvet $F_{kayış}$ ile rulmanların üzerlerinde oluşan kuvvetler de F_{r1} ve F_{r2} ile gösterilmiştir. Kayış kuvveti yine 300 N olarak aşındığında rulmanlardaki kuvvetler aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$F_{kayış}(21.3+14) - F_{r1}14 = 0 \quad (4.5)$$

$$F_{kayış}21.3 - F_{r2}14 = 0 \quad (4.6)$$

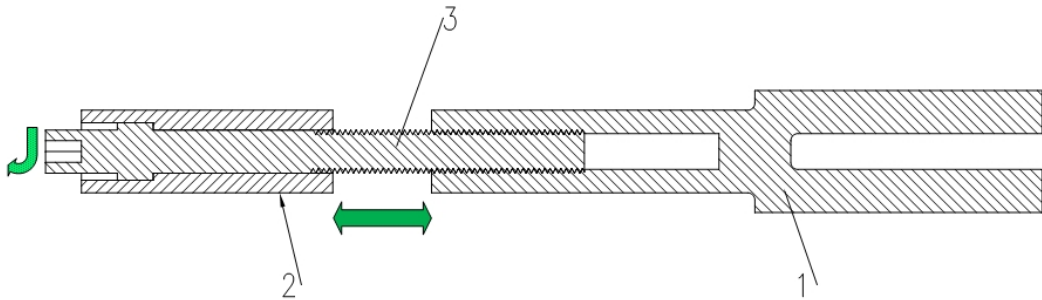
4.5 ve 4.6 numaralı denklemlerden F_{r1} 756 N ve F_{r2} 456 N olarak hesaplanmıştır. Rulmanların ömrü çark milinde 5000 saat olarak alınmıştır. Buradaki hesabın motor milindeki hesaptan tek farkı çalışma devri olarak maksimum 1000 devir alınmış olmasıdır. Rulmanların üstünde oluşan kuvvetler denklem 4.4'te yerine koyulursa çark milindeki rulman için dinamik yük katsayısı C_h 5060 N olarak bulunur. Bu değer de 6202 rulmanın katalogdaki maksimum yük katsayısı olan 7800 N değerinin altında kalmaktadır.

Böylece kayış kasnak mekanizmasında kullanılan rulmanların güvenli bölgede çalıştığı belirlenmiştir. Bundan sonraki bölümde dairesel hareketi doğrusal harekete çeviren kolun tasarımı anlatılacaktır.



Şekil 4.6 Tahrik Mekanizması Kolu

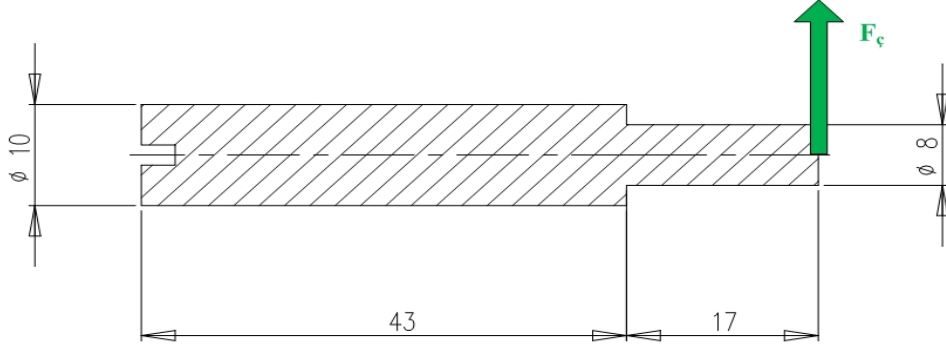
Şekil 4.6’da tahrik mekanizmasının körüğün takıldığı plakaya bağlantısını sağlayan kol görülmektedir. Şekilde 1 numarayla gösterilen parça 4 numarayla gösterilen pim ile plaka tarafına hareket verir. 2 numarayla gösterilen parça ise 3 numarayla gösterilen mil vasıtasıyla büyük kasnaktan hareketi almaktadır. Şekilde 5 numarayla gösterilen vida kolun ana parçalarını birbirine bağlamaktadır. Körüğün değişik deplasmanlarda test edildiği durumlarda kol boyunun ayarlanması gerekmektedir. Bu sayede körük yerine takılırken oluşabilecek eksen kaçıklıkları önlenmiş olacaktır.



Şekil 4.7 Kol Boyunun Değiştirilmesi

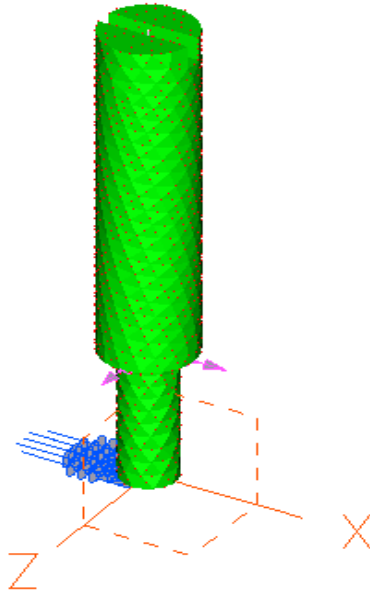
Körüğün birbirinden farklı deplasmanlarda test edilebilmesi için kol boyunun ayarlanması gereklidir. Bu ayar sayesinde körük teste başlarken üst taraftan bağlandığı plaka ile alt taraftan bağlandığı kazan ön kapağının merkezleri arasında bir fark oluşmayacaktır. Bunun için şekil 4.7’de görülen yapı oluşturulmuştur.

Burada kolun 1 ve 2 numarayla gösterilen ana parçaları arasındaki mesafe 3 numarayla gösterilen vida ile ayarlanmaktadır. 3 numarayla gösterilen vidanın sıkılmasıyla birlikte 2 numaralı parça 1 numaralı parçaya yaklaşır. Mesafenin arttırılmak istendiği durumlarda ise diğer taraftaki vida boşaltılır. Bu sayede kol boyun istenilen boyuta ayarlanmış olur.



Şekil 4.8 Hareketi İleten Kol Mili

Körük test düzeneğinin tahrik mekanizmasını sisteme bağlayan kolda yüke maruz kalan parça olan ve çarktan gelen hareketi aktaran milin resmi şekil 4.8’de görülmektedir. Şekilde F_c ile gösterilen çarkın mile aktardığı kuvvettir. Körüğe uygulanan kuvvet bu parça üstünden sisteme uygulanmaktadır. Bu sebepten dolayı mile sonlu elemanlarla gerilme analizi yapılmıştır. Şekil 4.9’da ise kol milinin sonlu elemanlar modeli görülmektedir.



Şekil 4.9 Kol Milinin Sonlu Elemanlar Modeli

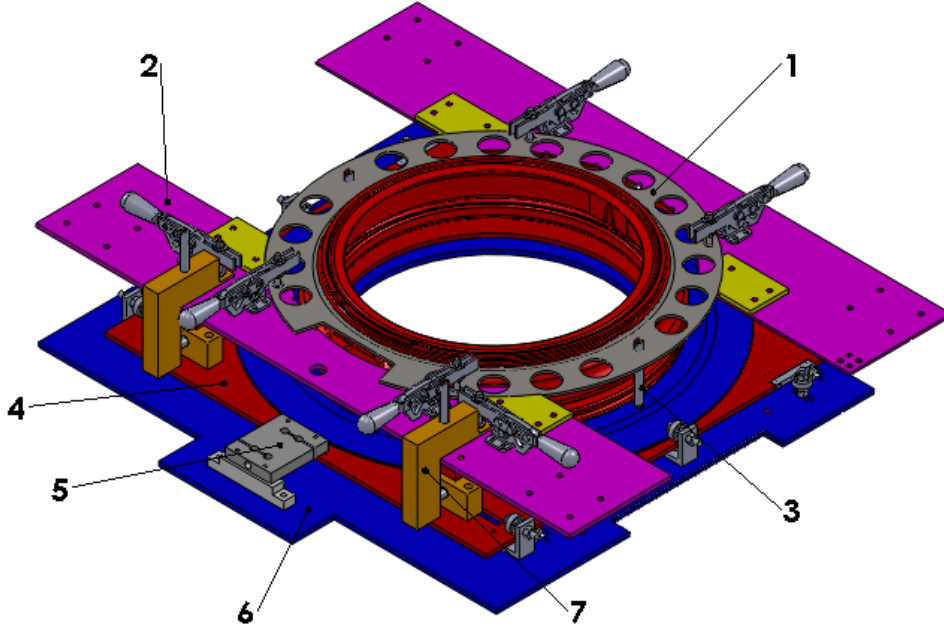
Yapılan analizde milin üstüne gelen F_c kuvveti 200 N alındığında oluşan maksimum gerilme σ_{max} 'ın 150 N/mm^2 olduğu görülmüştür. Modelde milin malzemesi St 70 olarak belirlenmiştir. Buna göre malzemenin akma gerilmesi σ_{AK} 360 N/mm^2 'dir. Güvenlik katsayısı S, 2 olarak alındığında emniyet gerilmesi σ_{em} 180 N/mm^2 olur. Buna göre oluşan maksimum gerilmenin güvenli bölgede kaldığı görülmektedir.

Bu bölümde körük test düzeneği tahrik mekanizmasının boyutları belirlenmiş, kullanılacak rulmanların hesapları ve kolun çarka bağlantısını sağlayan milin analizi yapılmıştır. Bundan sonraki bölümde ise körüğün test düzeneğine bağlantı şekli ve kuvvet ölçümü için oluşturulan yapı anlatılacaktır.

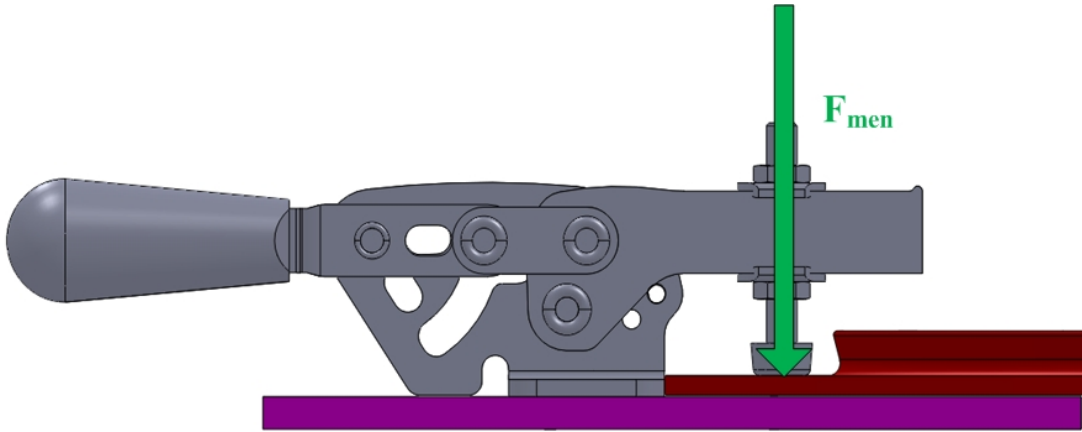
4.2 Körüğün Test Düzeneğine Bağlantısının Detaylı Tasarımı

Körük test düzeneğinin konsept tasarımında kuvvet ölçümü ve körüğün sisteme bağlantısı için oluşturulan yapı şekil 3.16 ve şekil 3.17'de görülmektedir. Burada oluşturulan yapıda ardı ardına yapılacak olan körük testlerinde geçen süreyi azaltmak amaçlanmıştır. Bu amaçla körüğün test düzeneğine bağlantısında de-sta-co marka mengeneler kullanılmıştır. Aynı zamanda körüğün üstündeki kuvvetlerin ölçümünde sensörün üstünde moment oluşmasının yapılacak ölçümlerde hataya yol açacağından daha önceki konularda bahsedilmişti. Bu yüzden dolayı kuvvet sensörünün bağlı olduğu plaka tek yönlü harekete izin verecek şekilde yataklanmıştır. Bahsedilen sınırlamalar göz önünde bulundurularak oluşturulan yapı şekil 4.10'da görülmektedir.

Körüğün test düzeneğine bağlantısını sağlayan yapıdaki kritik nokta test numunesinin üst ve alt taraflarında merkez kaçıklıklarının oluşmasını önlemektir. Aynı zamanda birbiri ardına yapılan testlerde körüğün düzeneğe bağlantısını kolay sökölür takılır şekilde yapmak gereklidir. Bu kriterler göz önünde bulundurularak oluşturulan şekil 4.10'daki yapıda 1 numarayla gösterilen körüğün bağlandığı plaka 2 numaralı hareketli plakaya daha önce bahsedilen mengenelerle bağlanmıştır. Burada 3 numarayla gösterilen parça körüğün üst tarafıyla alt tarafını merkezleyen pimdir. 4 numaralı parça ise körüğün rijit olarak bağlandığı ve kuvvet ölçümünde kullanılan plakadır. 5 numarada gösterilen yük hücresi ise 6 numarayla gösterilen sabit plakaya bağlanmıştır. 7 numarayla gösterilen yapı ise körüğün test başlamadan kalibrasyonunu yapacak olan yapıdır.

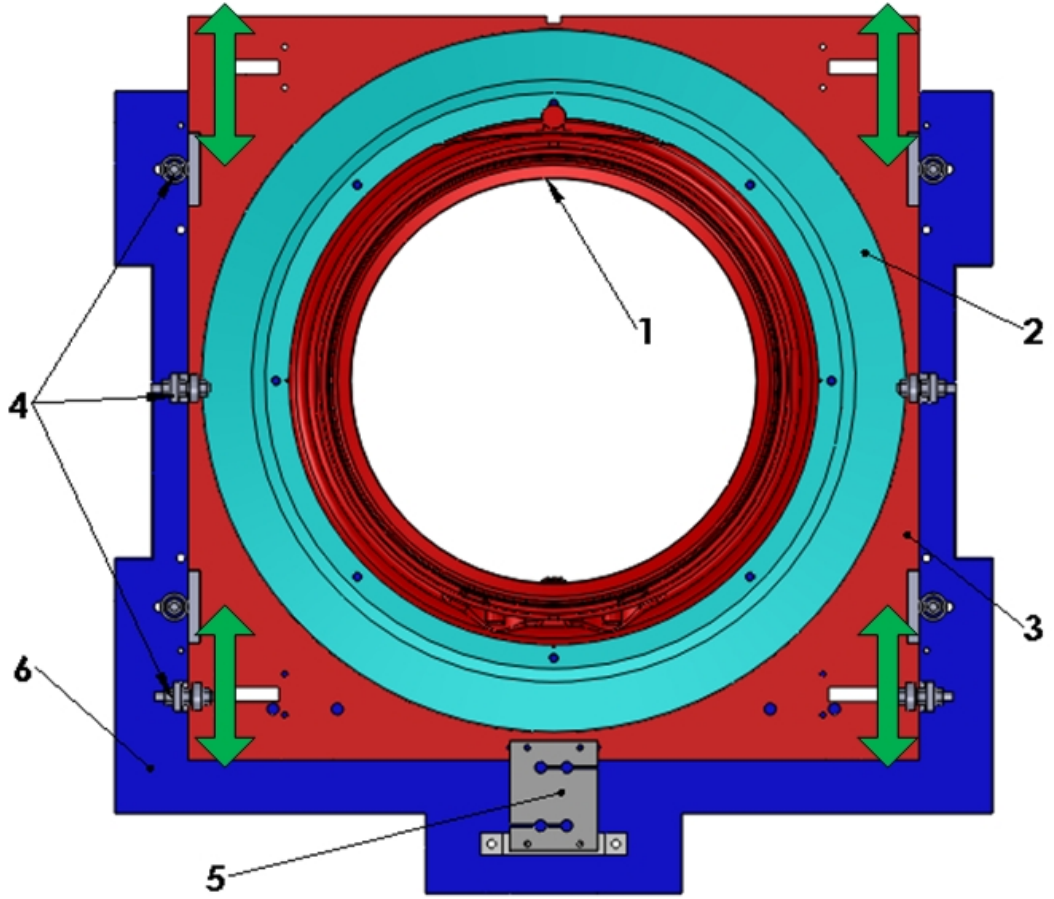


Şekil 4.10 Körüğün Test Düzenegine Bağlantısını Sağlayan Yapı



Şekil 4.11 Körüğün Bağlı Olduğu Plakanın Hareketli Plakaya Bağlantı Şekli

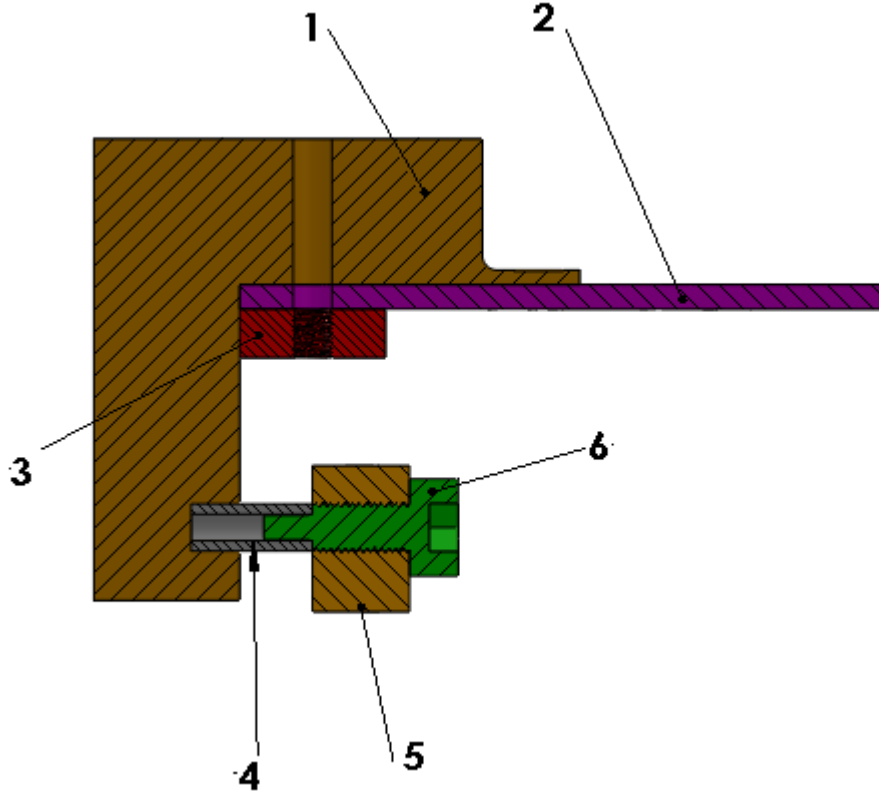
Şekil 4.11’de körüğün üst tarafının takıldığı parçanın hareketli plakaya bağlantısını sağlayan yapı görülmektedir. Buradaki bağlantı de-sta-co marka 2013u mengeneyle sağlanmıştır. Şekilde görülen iki parçayı birbirine bağlayan ve F_{men} ile gösterilen kuvvet katalogda 1310 N olarak belirtilmiştir. Bu değer köruk üstüne iletilecek kuvvetin maksimum olduğu durumda, körüğün takıldığı parça ile hareketli plakanın birbirlerine göre hareket etmesini engelleyecektir. Bu sayede körüğün hareketli plakayla bağlantısı sağlanmış olur.



Şekil 4.12 Körük Test Düzenğinde Kuvvet Ölçümünü Sağlayan Yapı

Şekil 4.12’de körük test düzeninde yapılan testlerde kuvvet ölçümünü sağlayan yapı görülmektedir. Burada 1 numarayla gösterilen körük 2 numarayla gösterilen kazan kapağına bağlanmıştır. Kazan kapağı ise 3 numarayla gösterilen bir plakaya cıvatalarla tutturulmuştur. Bu plakanın hareketleri 4 numarayla gösterilen rulmanlar sayesinde yandan ve üstten sınırlandırılıp, sadece şekildeki ok yönünde hareketleri yapması sağlanmıştır. Ayrıca bu plaka bir taraftan da 5 numarayla gösterilen yük hücresine bağlanmıştır. Yük hücresinin diğer tarafı ise 6 numarayla gösterilen sabit plakaya cıvatalarla bağlanmıştır. Bu sayede körüğün üstünde oluşan kuvvetler, bağlı olduğu plakanın tek yönlü hareketiyle yük hücresine iletilecektir.

Körüğün kazan tarafındaki bağlantısının tek yönlü hareket yapması sayesinde körük üstünde oluşan kuvvetlerin istenilen eksendeki değeri okunabilecektir. Bu sayede çamaşır makinesine göre körük üstünde oluşan x ve y eksenindeki kuvvetler körüğün test düzenine bağlantı şekline göre ölçülebilecektir. Yapılan bu iki yönlü ölçümler test numunesindeki imalat hatalarını belirleyeceği gibi aynı zamanda körüğün farklı eksenlerdeki verdiği tepkilerin ölçülmesini sağlayacaktır.



Şekil 4.13 Körük Test Düzenneği Kalibrasyon Yapısı

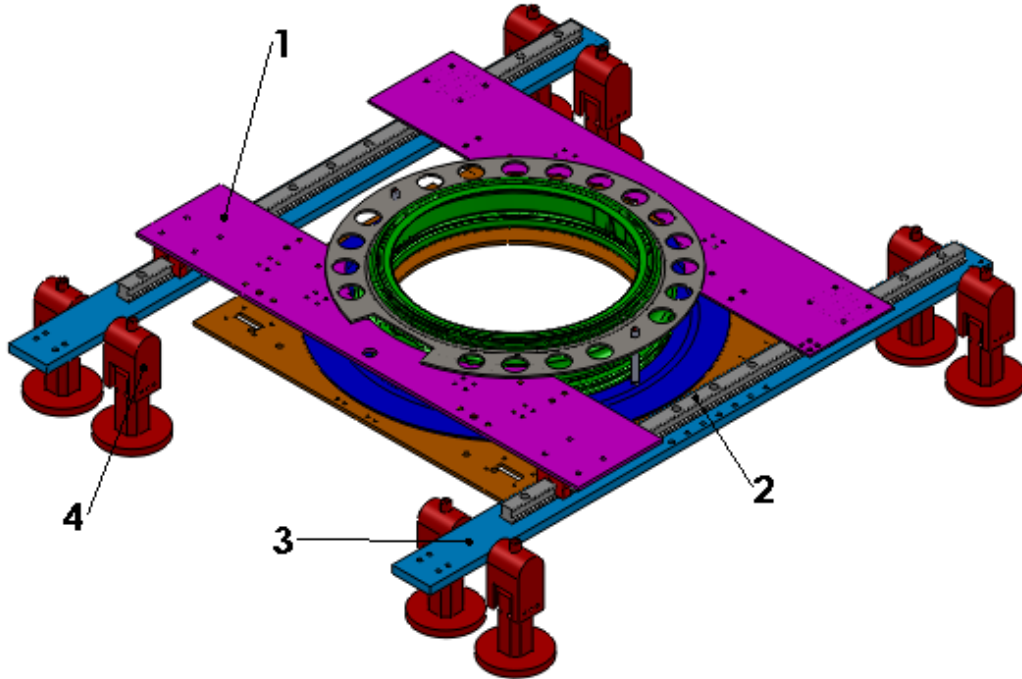
Test düzeneklerinden güvenli ölçüm alınabilmesi için sistemin kalibrasyonu gereklidir. Bu sayede hem yapılan ölçümlerin tutarlılığı sağlanmış olur hem de sonuçlar için referans bir nokta oluşturulur. Körük test düzenğinde kalibrasyon için oluşturulan yapı şekil 4.13'te görülmektedir. Şekilde 1 numarayla gösterilen parça 2 numarayla belirtilen hareketli plakaya bir vida ve mengene yardımıyla bağlanmıştır. Vida bağlantısı için şekildeki 3 numaralı parça kullanılmaktadır. 4 numarayla gösterilen standart bası yayı 5 ve 6 numarada gösterilen sabit parçalara bağlanmaktadır. Yayın diğer tarafı ise hareketli olan 3 numaralı parçaya bağlanmıştır. Bu sayede test düzenneğine körük bağlanmadan önce kullanılan yapı sayesinde ölçülen kuvvet ve deplasman değerlerinden yay katsayısının bulunması amaçlanmıştır.

Yapılan kalibrasyon sayesinde, kontrol edilen yay katsayısının değerinin beklenenden farklı çıkması ile yapılacak hata oranının da belirlenmiş olacaktır. Ayrıca kalibrasyon yapısında kullanılacak değişik katsayılı yaylar sayesinde ölçüm sisteminin doğrusalılığı da belirlenecektir. Bu sayede körük için yapılacak ölçümlerin referans noktası oluşturulup, aynı zamanda sonuçların güvenilirliği sağlanmış olur.

Bu bölümde körüğün test düzeneğine bağlantısı ve kuvvet ölçümleri için oluşturulan tasarım anlatılmıştır. Aynı zamanda kuvvet ölçümlerinde güvenilirliğini sağlamak için yapılan kalibrasyon parçalarının tasarımından da bahsedilmiştir. Bundan sonraki bölümde ise körüğün bağlandığı hareketli parçaların yataklanmasını sağlayan kısmın yere bağlantısı anlatılacaktır.

4.3 Körük Test Düzeneğinde Kullanılan Hareketli Parçaların Yer Bağlantısı

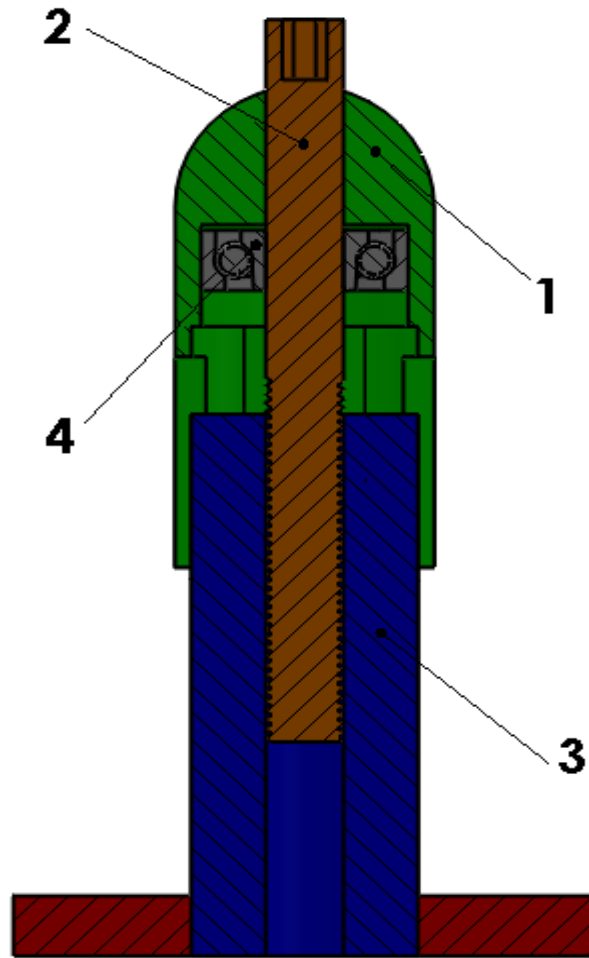
Körük test düzeneğinin konsept tasarımında kullanılan yatakların yere bağlantısı şekil 3.18’de gösterilmişti. Burada oluşturulan tasarımdaki temel amaç hareketli parçalardan gelen titreşimlerin sensörün bağlandığı plakaya geçmesini engellemektir. Aynı zamanda yapılan tasarımda körük test düzeneğine bağlanacak değişik geometrilerdeki körüklerin çamaşır makinesindeki koşullarının sağlanması amaçlanmıştır. Bu sebeplerden dolayı hareketli parçaların yer bağlantısını sağlayan yapının körüğün z ekseninde istenilen şekilde hareket ettirilebilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.14 Hareketli Parça Yataklarının Yere Bağlantısı

Şekil 4.14’te körük test düzeneğinde hareketli parçaların yere bağlantısı görülmektedir. Burada 1 numarayla gösterilen hareketli plaka 2 numarayla gösterilen lineer yataklara bağlanmıştır. Kullanılan lineer yataklar 3 numarayla gösterilen başka bir plakaya bağlanmıştır. Bu plaka da sistemin hareketli kısmının körüğe göre z

ekseninde hareket etmesini sağlayacak olan 4 numaradaki ayağa bağlanmıştır. Konsept tasarımında yapılan ve eğik yapıya sahip körüklerin düzeneğe bağlanabilmesi için tasarlanmış olan krikodan vazgeçilmiştir. Bunun sebebi krikoda kolaylık sağlamasına karşı kuvvet ölçümü alınan plakaya titreşimlerin geçmesini sağlayacaktır. Burada oluşabilecek fazladan titreşimlerden dolayı yanlış ölçüm yapılmasını engellemek amacıyla düzeneğin motor tarafındaki ayak bağlantılarının aynısı diğer tarafta da kullanılmıştır. Bu sayede körüğün istenilen yükseklik ve eğiklikte test edilmesi sağlanmış olacaktır.



Şekil 4.15 Körük Test Düzeneği Ayaklarının Tasarımı

Şekil 4.15'te lineer yatakların yere bağlantısını sağlayan ayakların tasarımı görülmektedir. Burada tasarımdaki birinci amaç körüğün z eksenindeki hareketi sağlamakla birlikte hareketli parçaların titreşimini sabit parçalara iletmemektir. Körüğe göre z eksenindeki hareketi sağlamak için şekilde görülen 1 numaralı parça 3 numaralı parçaya bir vidayla bağlanmıştır. Şekilde 2 numarayla gösterilen bu vida ile

1 numaralı parça arasındaki bağlantı ise rulman sayesinde olacaktır. Burada kullanılan rulman hem ayaklar tarafından yere bağlanan plakaların ağırlıklarını taşıyacak hem de sıkı geçme olduğundan dolayı vida döndüğünde ayaklar arasındaki mesafenin değişmesini sağlar. Bu tasarım sayesinde körük test düzeneğinin hareketli parçalarının yere bağlantısı yapılmış olur.

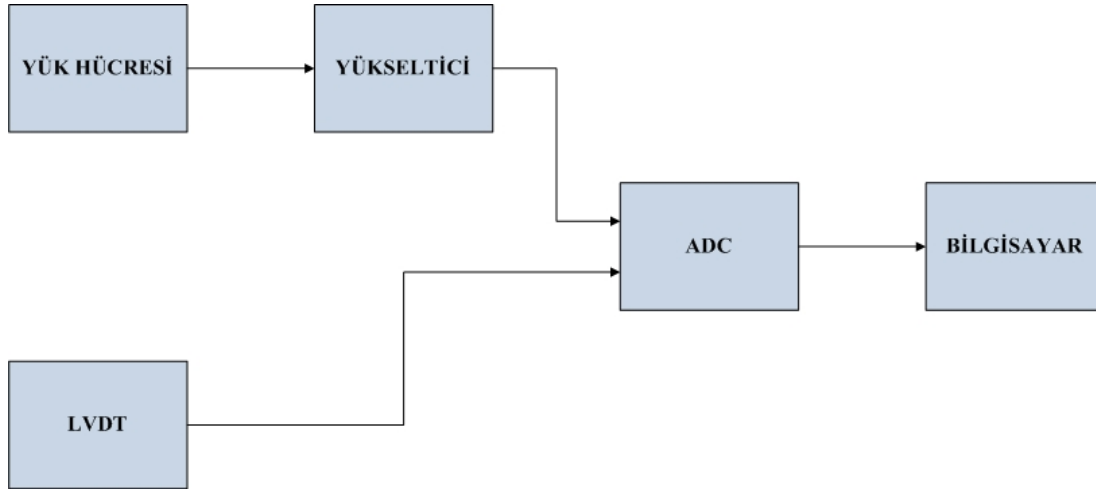
Bu bölümde körük test düzeneğinin yatak bağlantılarının detaylı tasarımı anlatılmıştır. Bu son tasarım kısmıyla birlikte körük test düzeneğinin mekanik kısmının detaylı tasarımı tamamlanmıştır. Bundan sonraki bölümde ise sistemde kullanılan sensörlerden gelen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması için oluşturulan sistem anlatılacaktır. Bu sistem sayesinde test düzeneğinde ölçülen kuvvet ve deplasman değerleriyle körüğün imalat veya proses hataları kolaylıkla anlaşılabilir.

4.4 Körük Test Düzeneği Ölçüm Zincirinin Oluşturulması

Körük test düzeneğinde kuvvet ve deplasman ölçümlerinin operatör tarafından anlaşılabilmesi için sensörlerden gelen sinyallerin bilgisayar ortamına aktarılması gerekmektedir. Burada kullanılan sensörler analog çıkış vermektedir ve bu sinyallerin bilgisayar ortamında okunabilmesi için dijital hale dönüştürülmeleri gereklidir. Bu bölümde analog sinyalleri dijital hale dönüştürecek olan ölçüm zinciri oluşturulacaktır.

Kullanılan yük hücresinin çıkış sinyali 2 mV/V gibi düşük bir gerilime sahiptir. Bu sinyalin dijital hale dönüştürülebilmesi için yükseltici kullanmak gerekmektedir. Bunun için yük hücresinin çıkışı bir yükselticiye bağlanmıştır. Kullanılan yükselticideki kritik nokta gelen sinyalin gerilimini yükseltirken üstünde herhangi bir faz farkı oluşmasını engellemektir. Aynı zamanda bu işlem sırasında sinyalin çözünürlüğüne de etki etmemelidir. Başka bir deyişle gerilim yükseltmeyi dijital yollardan yapmamalıdır. Bu sayede test sırasında bilgisayardan istenilen ölçme hızında veri okunabilecektir.

Deplasman ölçümü için kullanılan LVDT tipi sensör çıkış olarak 0 – 10 V analog sinyal üretmektedir. Bu sensör yükseltme işlemini kendi üstünde yaptığından dolayı çıkış sinyali direkt olarak dijital dönüştürücüye bağlanabilmektedir.



Şekil 4.16 Körük Test Düzeneği Ölçüm Zinciri

Şekil 4.16’da körük test düzeneği için oluşturulan ölçüm zinciri görülmektedir. Burada yük hücresinden gelen sinyaller yükselticiden geçirildikten sonra şekilde ADC olarak gösterilen dönüştürücüye bağlanmıştır. Burada ADC (analog to digital converter) olarak gösterilen kısım analog sinyalleri dijital hale getiren çeviricidir. Aynı zamanda deplasman sinyallerini ölçen LVDT’den gelen sinyaller direk olarak dönüştürücüye bağlanmıştır.



Şekil 4.17 Agilent U2353A Veri Toplama Sistemi

Ölçüm zincirinde gösterilen ADC olarak Agilent marka U2353A USB çıkışlı veri toplama sistemi seçilmiştir. Şekil 4.17’de görülen veri toplama sistemine 16 kanaldan analog sinyal bağlanabilmektedir. Ayrıca toplamda 500 kHz örnekleme zamanı ve 16 bit çözünürlükle analog sinyalleri dijital hale dönüştürebilmektedir. Bu özellikleriyle kullanılan veri toplama sistemi körük test düzeneği için fazlasıyla yeterli görülmüştür. Veri toplama sisteminin 16 kanallı seçilmesindeki amaç, ileride yapılabilecek farklı test düzenekleriyle aynı sistem kullanılarak haberleşmeyi sağlamaktır.

Kullanılan veri toplama sistemi USB çıkışından bilgisayara bağlanmaktadır. Burada bilgisayarla sistem arasındaki haberleşmeyi sağlamak için Agilent VEE (Visual Engineering Environment) programı kullanılmıştır. Agilent VEE blok diyagramlarla ölçüm sistemleriyle haberleşmeyi sağlamaktadır. Aynı zamanda kaydedilen verileri işleyerek görsel olarak sonuçları ortaya koymaktadır [24].

Bu bölümde körük test düzeneğinde kullanılan kısımların detaylı tasarımı anlatılmıştır. Aynı zamanda düzenekte kullanılacak olan ölçüm zinciri açıklanmıştır. Böylece körük test düzeneğinin ve düzenekte kullanılan ölçüm sisteminin tasarım süreci tamamlanmıştır. Bundan sonraki bölümde ise test düzeneğinin sonuçları ve düzenekte ileride yapılabilecek çalışmalar anlatılacaktır.

5.YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde tasarımı yapılan körük test düzeneğinden elde edilen sonuçlar ortaya konulacaktır. Birbirinden farklı özelliklerdeki körüklerin ortaya çıkardığı sonuçlar irdelenecektir. Sonuçların ortaya konmasından sonra körük test düzeneğinde ileride yapılabilecek çalışmalar anlatılacaktır.

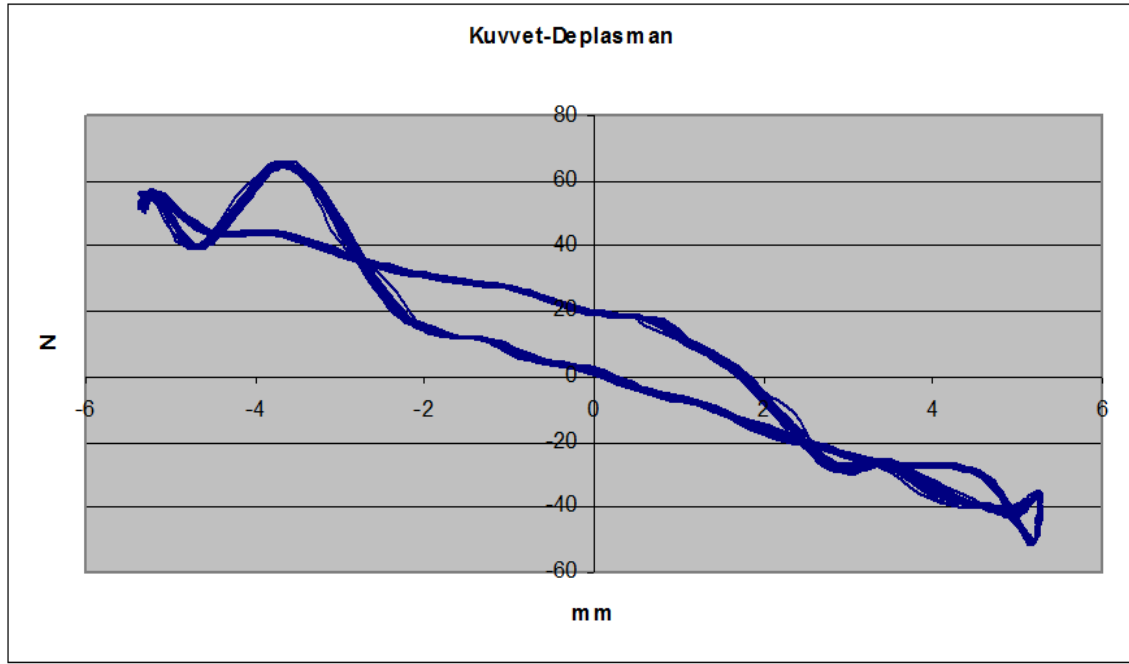
Körük test düzeneğinin yapılışındaki birinci amacın parçada yapılan imalat ve proses hatalarını belirlemek olduğu daha önceden açıklanmıştı. Bu sebepten dolayı yapılan ölçümlerde kullanılan numunelerin özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir. Öncelikle sonuçlar anlatılırken oluşturulan test grubunun özelliklerini açıklamakta fayda vardır.

Ölçümler için oluşturulan test grubunda bir adet sertliği kontrol edilmiş çamaşır makinesine takılmamış yeni körük, bir adet 1000 çevrim çalışmış körük, bir adet sertliği düşük olan körük ve bir adet de malzeme özellikleri değiştirilmiş körük kullanılmıştır. Oluşturulan ölçüm grubu sayesinde körük test düzeneğinin ölçüm hassasiyeti belirlenebilecektir. Şekil 5.1’de ölçüm grubunda kullanılan körüklerin CAD görünüşü görülmektedir.



Şekil 5.1 Kazan Körüğü

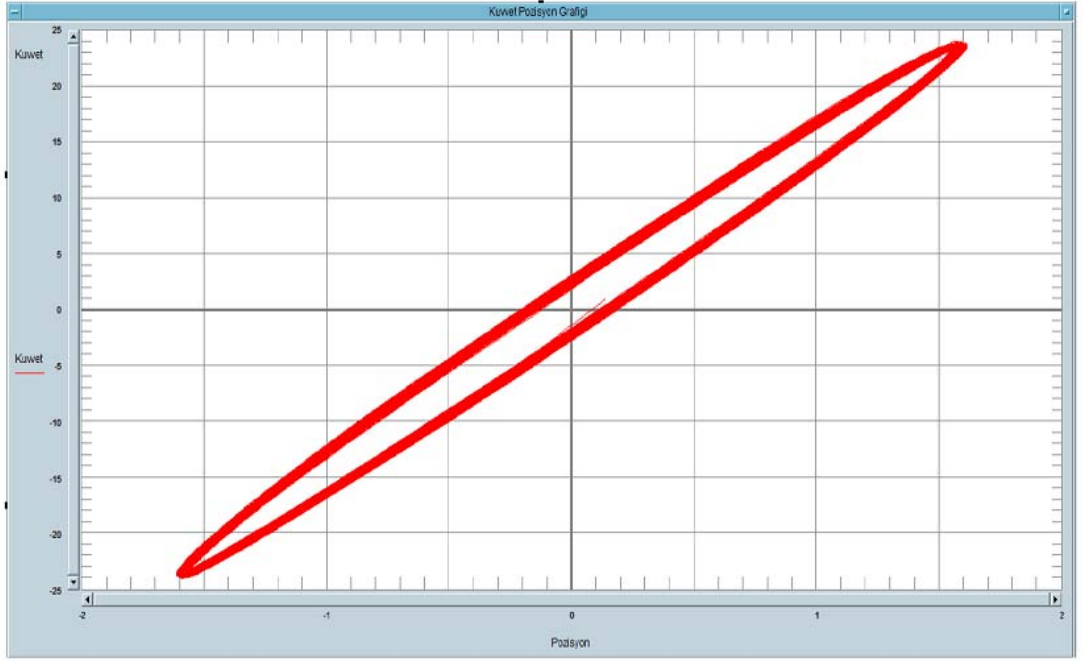
Ölçüm grubu oluşturulduktan sonra körüğün özelliklerini belirlemek için yapılacak testin koşullarını ve süresini belirlemek gerekmektedir. Test düzeneğinde kullanılacak olan deplasman sensörünün seçimi için yapılan çamaşır makinesi tahrik grubunun yaptığı hareketlerin ölçümünde 100 – 200 dev/dak arasında maksimum deplasmanların olduğu görülmüştür. Bu yüzden kazan körüğünün bu bölgedeki davranışları önem kazanmaktadır. Böylece testlerin 200 dev/dak seviyesinde yapılmasına karar verilmiştir. Şekil 5.2’de körük test aparatından alınan ilk ölçümlerden ortaya çıkan kuvvet deplasman grafiği görülmektedir.



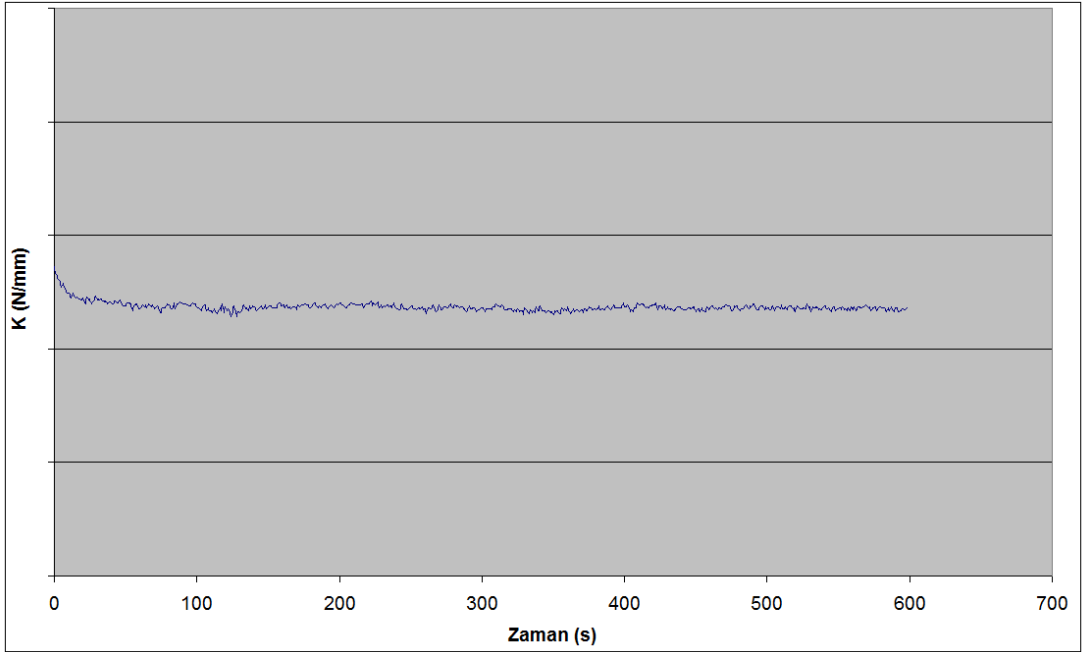
Şekil 5.2 Kuvvet – Deplasman Grafiği

Şekil 5.2’de görülen grafikten ölçümde gürültü olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden bilgisayar yazılımında bir filtrelemeye gidilmiş ve gürültü giderilmiştir. Filtrelenmiş sinyallerin oluşturduğu kuvvet deplasman grafiği şekil 5.3’te görülmektedir.

Yapılan deneme ölçümlerinde körüğün davranışlarının test sırasında ilk saniyelerde belirsiz olduğu ve rejime oturması için yaklaşık olarak 2 dakikalık bir süre geçmesi gerektiği anlaşılmıştır. Deneme ölçümünde körük 10 dakika boyunca test edilmiş ve direngenliği gözlenmiştir. Oluşan sonuç grafiği şekil 5.3’te gösterilmiştir. Burada x eksenini zamanı, y eksenini ise körüğün direngenliğini ifade etmektedir. Yapılan testlerden sonra ölçümlerin süresi 5 dakika olarak belirlenmiştir. Bu sürenin körüğün rejime oturması için yeterli bir süre olacağına karar verilmiştir.

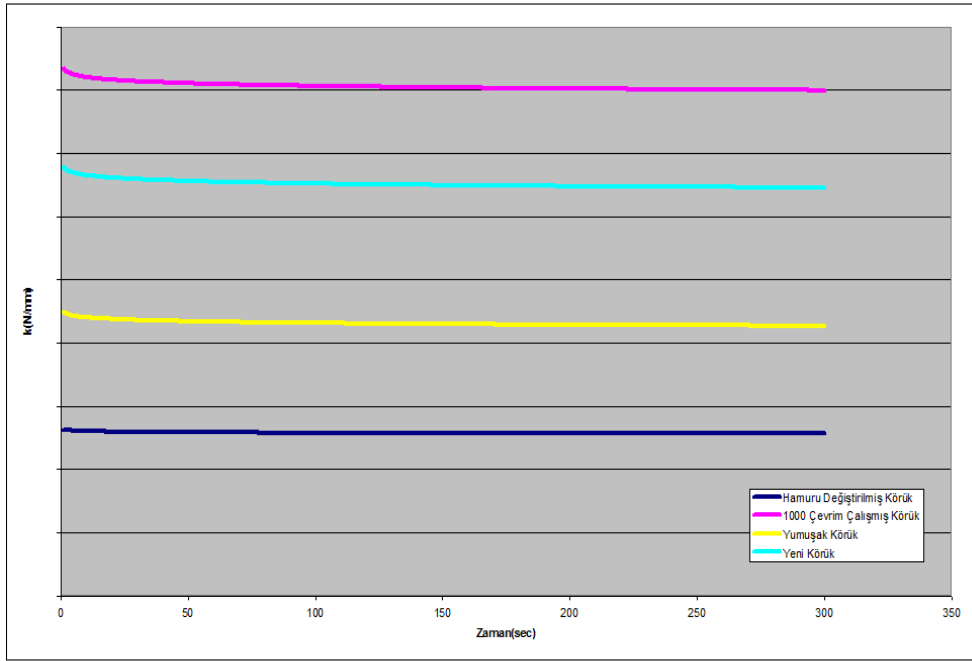


Şekil 5.3 Kuvvet – Deplasman Grafiği



Şekil 5.4 Deneme Ölçümü Sonuç Grafiği

Körük test düzeneği için çalışma devri ve süresi belirlendikten sonra belirlenen numunelerle ölçümler yapılmıştır. Öncelikle her bir numunenin direngenlik zaman değişimlerine bakılmıştır. Bu sayede test düzeneğinin farklı özelliklerdeki körükleri birbirinden ayırta edebilmesi test edilmiştir. Şekil 5.4’te belirlenen ölçüm grubundaki körüklerin direngenlik zaman değişimlerinin grafiği görülmektedir.



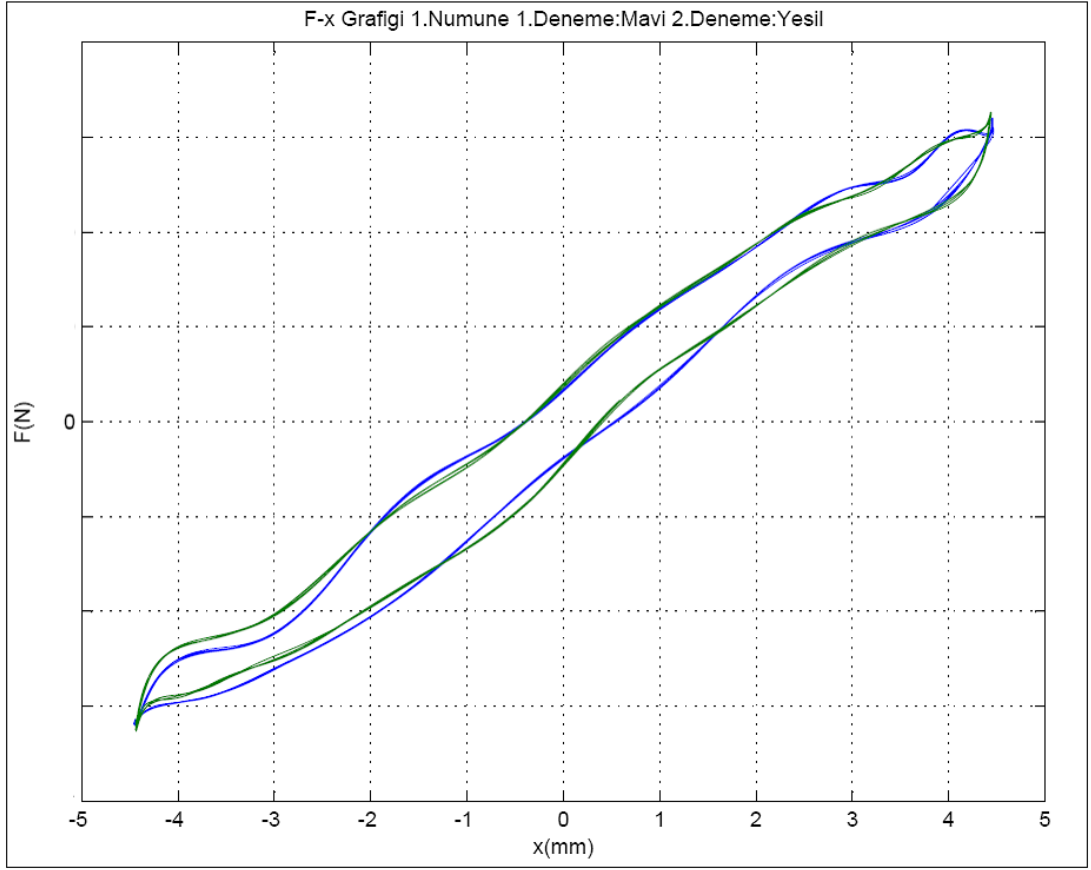
Şekil 5.5 Ölçüm Grubunun Direngenlik Zaman Grafiği

Şekil 5.5'deki grafik incelendiğinde köruk test düzeneğinin birbirinden farklı özellikteki körukleri ayırmakta başarılı olduğu görülmektedir. Burada test düzeneğinin birbirinden farklı körukleri ayırt etmesinin yanında aynı zamanda ölçümler arka arkaya yapıldığında kendini tekrarlayabilmesi gereklidir.

Şekil 5.6'da arka arkaya yapılan testlerin sonuç grafikleri görülmektedir. Grafiklerden mavi olan 1.denemeyi, yeşil olan ise 2. denemeyi ifade etmektedir. Sonuçlar incelendiğinde ölçümün kendini tekrarlayabildiği görülmektedir. Bu yapılan deneme ölçümleri sayesinde köruk test düzeneğinin güvenilir bir ölçüm yaptığı belirlenmiş olur.

Köruk test düzeneğinden elde edilen kuvvet deplasman grafiklerinde oluşan elipsin içinde kalan alan körüğün dışarıya attığı enerjiyi ifade etmektedir. Aynı zamanda elipsin uç noktasındaki, yani maksimum kuvvet ve maksimum deplasmanın oluşturduğu üçgenin içinde kalan alan ise maksimum şekil değişim enerjisini belirtmektedir. Bu veriler kullanılarak körüğün kayıp faktörünü hesaplamak mümkündür. Denklem 5.1 kullanılarak körüğün kayıp faktörü hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta E}{V} \quad (5.1)$$



Şekil 5.6 Körük Üstünde Arka Arkaya Yapılan Ölçüm Sonuçları

Denklem 5.1’de verilen değerlerden ΔE körüğün dışarıya attığı enerjiyi, V ise şekil değişimi enerjisini ifade etmektedir. Bu sayede körüklerin karşılaştırılmasında kullanılan direngenlik katsayısının yanında aynı zamanda kayıp faktörü de kullanılabilir.

6.SONUÇLAR

Tez kapsamında yapılan çalışmada kalite kontrol amaçlı yapılan körük test düzeneğinin tasarım süreci anlatılmıştır. Çalışmaya konu olan körük parçası çamaşır makinesinde kullanılan viskoelastik malzemeye sahip bir parçadır. Çamaşır makinesinde kullanım noktası ve aynı zamanda malzemesinin özellikleriyle körük, imalatında oluşabilecek hatalar sayesinde büyük sorunlara yol açabilmektedir. Körükte oluşan hataların montaj yapılmadan belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Yapılan çalışmada öncelikle körük parçasına mevcutta uygulanan testler tanıtılmıştır. Bu testlerin bir çoğu elastik malzemeler için standartlarda belirtilmiş yöntemlerdir. Fakat körüğün malzemesindeki karmaşık yapıdan dolayı uygulanan yöntemlerin hataları belirlemekte yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır.

Çalışmanın devamında körük test düzeneği için oluşturulan tasarım süreci anlatılmıştır. Öncelikle tasarım için istekler listesi oluşturulmuş ve parçanın ölçülmesi gereken özellikleri belirlenmiştir. Körüğün ölçülmesi gereken özelliklerine göre sensör seçimi yapıp konsept tasarım aşamasına geçilmiştir.

Konsept tasarım aşamasında her bir adımda değişik öncelikler benimsenmiştir. Öncelikli olarak ilk tasarımda çamaşır makinesindeki çalışma koşulları sağlanmak istenmiştir. Burada oluşan atalet kuvvetlerinin yanlış ölçümlere yol açacağına karar verilip ikinci konsept tasarıma geçilmiştir. İkinci konsept tasarımda öncelikli olarak körük üstünde oluşan kuvvetleri ve deplasmanları üç yönlü olarak ölçmek amaçlanmıştır. Üç yönlü kuvvet ve deplasman ölçümü yüzünden sistemin toplam maliyeti istekler listesindeki değerden yukarıda kalmıştır. Aynı zamanda bu tasarımda sistemin taşınabilirliği ilkesi terk edilmiştir. Üçüncü konsept tasarımda ise sistemde tek yönlü ölçüm yapılması amaçlanmıştır. Böylece körük test düzeneği üçüncü konsept tasarımı istekler listesindeki kısıtlamaları tam anlamıyla sağlamıştır.

Çalışmada anlatılan sürecin son adımında ise körük test düzeneğinin detaylı tasarımından bahsedilmiştir. Burada yapılan tasarım ana kısımlara ayrılmış ve her bir kısmın ayrı ayrı tasarım süreçleri anlatılmıştır. Bu aşamadan sonra ise kullanılan sensörlerin operatörle haberleşmesini sağlayacak olan ölçüm zinciri oluşturulmuştur.

Son olarak körük test düzeneğinden elde edilen grafikler gösterilmiş ve sistemin ölçüm güvenilirliği için yapılan testler anlatılmıştır. Böylece test düzeneğinin birbirinden farklı özelliklere sahip körükleri ayırt etmekte başarılı olduğu görülmüştür.

6.1 İleride Yapılabilecek Çalışmalar

Körük test düzeneği mevcuttaki durumda, kuvvet ve deplasman ölçümlerini tek yönlü yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. İleride yapılabilecek düzeltmelerle birlikte körük üstünden iki ve üç yönlü ölçüm alınması mümkündür.

Aynı zamanda körük test düzeneği mevcutta kullanılan körüklerin ölçümlerini yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Farklı körüklerin direngenlik katsayılarının ölçülebilmesi için, körüğün test düzeneğine bağlantısında kullanılan plakanın yeniden tasarlanması gerekmektedir. Burada tasarımı yapılan test düzeneği mevcuttaki körük geometrilerine uygun olarak tasarlanmıştır. Farklı noktalarda karşılaşılabilecek olan eğik ağızlı körükler için tasarımda yenilikler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Shah, Vishu**, 2007. Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis, John Wiley & Sons Inc. Publication, California
- [2] **EN ISO 10846-1**, 1998. Acoustic and Vibration – Laboratory Measurement of Vibro – Acoustic Transfer Properties of Resilient Elements – Part 1: Principles and Guidelines, ISO Standard, İngiltere
- [3] **EN ISO 10846-2**, 1998. Acoustic and Vibration – Laboratory Measurement of Vibro – Acoustic Transfer Properties of Resilient Elements – Part 2: Dynamic Stiffness of Elastic Supports for Translatory motion- Direct Method, ISO Standard, İngiltere
- [4] **EN ISO 10846-3**, 1998. Acoustic and Vibration – Laboratory Measurement of Vibro – Acoustic Transfer Properties of Resilient Elements – Part 3: Dynamic Stiffness of Elastic Supports for Translatory motion – Indirect Method, ISO Standard, İngiltere
- [5] **EN ISO 10846-4**, 2003. Acoustic and Vibration – Laboratory Measurement of Vibro – Acoustic Transfer Properties of Resilient Elements – Part 4: Dynamic stiffness of elements other than resilient supports for translatory motion, ISO Standard, İngiltere
- [6] **EN ISO 10846-5**, 2003. Acoustics and vibration -- Laboratory measurement of Vibro – Acoustic Transfer Properties of Resilient Elements -- Part 5: Driving point method for determination of the low-frequency transfer stiffness of resilient supports for translatory motion, ISO Standard, İngiltere
- [7] **EN ISO 18517**, 2005. Rubber, Vulcanized or Thermoplastic Hardness Testing – Introduction and Guide, ISO Standard, İngiltere
- [8] **Roger, Brown**, 2006. Physical Testing of Rubber, Springer Science + Bussiness Media, New York
- [9] **EN ISO 48**, 1994. Rubber, Vulcanized or Thermoplastic – Deterimination of Hardness (Hardness between 10 IRHD and 100 IRHD), ISO Standard, İngiltere
- [10] **DIN 53504**, 1994. Determination of Tensile Strength at Break, Tensile Stres at Yield, Elongation at Break and Stress Values of Rubber in a Tensile Test, DIN Standard, Almanya
- [11] **Varol, İsak**, 2008. Viskoelastik Elemanların Dinamik Özelliklerinin Titreşim Testleriyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [12] **Pahl, Gerhard, Beitz, Wolfgang**, 2007. Engineering Design: A Systematic Approach, Springer – Verlag London Limited, Londra

- [13] **Roth, Karlheinz**, 1982. Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Springer, Berlin
- [14] **Koller, Rudolf**, 1985. Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen, Arbeitsschritte, Prinziplösungen, Springer, Berlin
- [15] **Finkelstein, Ludwik**, 1983. Review of Design Methodology, IEE Proceedings, Vol. 130, Pt. A, No. 4, İngiltere
- [16] **Sydenham, Peter H, Thorn, Richard**, 2005. Handbook of Measuring System Design, Wiley, Londra
- [17] **Shigley, Joseph Edward, Mischke, Charles R**, 1986. Machine Design Fundamentals, McGraw-Hill Publishing Company, New York
- [18] **Doebelin, Ernest O**, 1995. Engineering Experimentation Planning, Execution, Reporting, McGraw-Hill Publishing Company, New York
- [19] **Dym, Clive L, Little, Patrick**, 2000. Engineering Design: A Project- Based Introduction, John Wiley, New York
- [20] **Webster, John G**, 1999. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, Boca Raton, Fla.
- [21] **Sinclair, Ian R**, 2001. Sensors and Transducers, Oxford, İngiltere
- [22] <http://www.micro-epsilon.com>
- [23] <http://www.hutchinsontransmission.com>
- [24] <http://www.agilent.com>



ÖZGEÇMİŞ

Ekrem Kural 1985'te İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini tamamladıktan sonra orta ve lise öğrenimini Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2007 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mezun olmasıyla birlikte, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon bölümüne girmeye hak kazandı. 2008 yılından beri Arçelik A.Ş. Çamaşır Makinesi İşletmesi, Yapısal Tasarım Takım Liderliği'nde Yüksek Lisans öğrencisi olarak çalışmaktadır.

Ad Soyad : Ekrem KURAL

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul /1985

Lisans Üniversite : Yıldız Teknik Üniversitesi