

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMAS AÇISI ÖLÇÜM CİHAZI TASARIMI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Osman CENGİZ**

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Konstrüksiyon

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMAS AÇISI ÖLÇÜM CİHAZI TASARIMI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Osman CENGİZ
(503071216)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet PALABIYIK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Hayri ACAR (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Vedat TEMİZ (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet PALABIYIK, Arçelik A.Ş. firmasından Dr. Cemil İNAN, Mehmet DURMAZ, Fatih ÖZKADI, Levent HASANREİSOĞLU, proje arkadaşlarım Önder BALIOĞLU, Duygu AŞURECİLER, İTÜ Makine Fakültesi'nin değerli mensupları hocalarıma ve eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2010

Mak. Müh. Osman CENGİZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
TEMAS AÇISI ÖLÇÜM CİHAZI TASARIMI	xv
ÖZET.....	xv
DESIGN OF CONTACT ANGLE METER.....	xvii
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. TEMAS AÇISI ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE YÜZEY GERİLİMİ	3
2.1 Giriş.....	3
2.2 YüzeY Gerilimi Ölçüm Metodları	3
2.3 Temas Açısı.....	3
2.4 Damla Ağırlığı Metodu	4
2.5 YüzeY Gerilimi Hesabı İçin Temas Açısının Kullanımı	5
2.6 Temas Açısı Ölçümünde Kullanılan Programlar	8
2.7 YüzeY Gerilimi Hesabı İçin Kullanılan Program.....	11
3. CİHAZ KURULUMUNDA TEKNİK SÜREÇ	13
3.1 Cihaz Tasarımı Öncesi Piyasa Araştırması ve Karşılaştırmalar.....	13
3.2 Öncül Çalışmalar.....	16
4. CİHAZIN SİSTEM TASARIMI.....	19
4.1 Kamera Seçimi	19
4.2 Işık Seçimi.....	22
4.3 Kameranın Bilgisayar ile Kontrolü	23
4.4 Damlatma Sistemi	24
4.4.1 Şırınga Pompası	24
4.4.2 Şırınga	25
4.4.3 Tüp	26
4.4.4 İğne.....	26
4.5 Damlatma Sisteminin Bilgisayar ile Kontrolü	26
4.6 Kalibrasyon ve Ölçümler	27
4.6.1 Giriş.....	27
4.6.2 Öncül Ölçümler.....	29
5. CİHAZIN MEKANİK TASARIMI.....	31
5.1 Giriş.....	31
5.1.1 Genel Cihazı Tasarımı ve Karkas Yapı.....	32
5.2 Numune Tablası	38
5.2.1 Numune tablası motor tork hesabı	41
5.2.2 Motor özellikleri	46

5.2.3 Numune tablası dişli kayış gerdirm tertibatı	51
5.3 Şıringa Hareket Mekanizması	51
5.4 Kamera ve Işık Hareket Mekanizması	57
5.5 Derece Eğim Tahrik Grubu	60
5.5.1 Redüktör hesabı ve motor seçimi	61
5.6 Kritik Kesitlerin Mukavemet Hesabı.....	63
5.7 Sonlu Elemanlar Yöntemi	69
5.7.1 Sonlu elemanlar metodunun kısa tarihi.....	69
5.7.2 Uygulama alanları	70
5.7.3 Problemlerde uygulanması	70
5.7.4 Sonlu elemanlar yöntemi eleman tipleri.....	71
5.7.5 ANSYS sonlu Elemanlar paket programı	72
5.8 Kritik Kesitlerin Sonlu Elemanlar Metoduyla Analizi	72
5.8.1 Yükleme Koşulları ve Modelleme	73
5.8.2 Parçanın meshlenmesi ve malzeme özellikleri.....	74
5.9 Mekanik Sistemlerin Kontrolü ve Elektriksel Kısımlar	76
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	83

KISALTMALAR

DIN	: Deutsches Institut für Normung
EN	: European Standard
FEM	: Federation Europeenne De La Manutention
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
TS	: Türk Standartları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Piyasada var olan cihazların karşılaştırması-1.	13
Çizelge 3.2 : Piyasada var olan cihazların karşılaştırması-2.	14
Çizelge 3.3 : Kalibrasyon ölçümleri.	28
Çizelge 5.1 : Numune Tablası Vida Başı Rulmanı [4].	41
Çizelge 5.2 : Sonsuz Vida Kayıp Hesabı.....	45
Çizelge 5.3 : Numune Tablası Motor Özellikleri [12].....	46
Çizelge 5.4 : Dişli Kayış Çalışma Faktörü [2].....	47
Çizelge 5.5 : Dişli kayış kasnağı çizelgesi [5].....	49
Çizelge 5.6 : Kayış genişliği hesabı.....	50
Çizelge 5.7 : Dişli kayış özellikleri [14].....	50
Çizelge 5.8 : Ray ve araba seçimi[4].....	53
Çizelge 5.9 : Vidalı mil seçimi[4].	54
Çizelge 5.10 : Mil ucu rulman seçimi.....	55
Çizelge 5.11 : Şırınga hareket mekanizması elektrik motoru özellikleri[12].....	56
Çizelge 5.12 : Kamera ve ışık hareket mekanizması tahrik motoru özellikleri[12]..	59
Çizelge 5.13 : Redüktör Motor Özellikleri [12].	62
Çizelge 5.14 : Redüktör seçimi.....	63
Çizelge 5.15 : Malzeme ve mukavemet özellikleri	74
Çizelge 6.1 : Kalibrasyon plakası ölçüm sonuçları.	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Genel Cihaz Görünüşü.	2
Şekil 2.1 : (a) Saf su damlasının, (b) ıslatma maddesi eklenmiş su damlasının.	4
Şekil 2.2 : Traube Stalagmometresi.	4
Şekil 2.3 : Sıvının gaz ve katı yüzey ile yaptığı kuvvet bileşenlerinin gösterimi.	5
Şekil 2.4 : Kohezyon ve adezyon kuvvetleri.	6
Şekil 2.5 : Owens/Wendt yöntemi ile hesaplanan yüzey gerilim karakterleri.	7
Şekil 2.6 : Image-J programı.	8
Şekil 2.7 : Temas açısının ölçümü-1.	9
Şekil 2.8 : Temas açısının ölçümü-2.	9
Şekil 2.9 : Temas açısının ölçümü-3.	10
Şekil 2.10 : MB-Ruler programı ölçümü.	10
Şekil 2.11 : EES' de yüzey gerilimi hesabı.	11
Şekil 3.1 : Krüss marka cihazı (sol) ve eğim aparatı (sağ) [7].	14
Şekil 3.2 : Orijinal uygulamada sıvı damlası ile kameranın pozisyonlanması [7]. ...	15
Şekil 3.3 : Krüss tarafından patentlenen dikey eksenli kamera uygulaması [7].	15
Şekil 3.4 : ACRC'de Tasarlanan Temas Açısı Ölçüm Cihazı.	15
Şekil 4.1 : Alan Derinliği (Öndeki kırmızı araç odaklanmış).	20
Şekil 4.2 : (a) Seçilen objektifin ve (b) geniş açılı lensin bozulma oranı [16].	21
Şekil 4.3 : Objenin cihaz üzerinde objektif ve fotoğraf makinesine göre yerleşimi..	21
Şekil 4.4 : Difüzör seçiminin önemi.	22
Şekil 4.5 : Kamera programı.	23
Şekil 4.6 : Fotoğraf çekimi ekranı.	23
Şekil 4.7 : Damlatma sistemi.	24
Şekil 4.8 : Manüel kontrollü Goldman şırınga pompası [15].	25
Şekil 4.9 : Şırınga, iğne ve tüp.	25
Şekil 4.10 : Damla hacmi ayarı [15].	26
Şekil 4.11 : Program modu ve damlatma [15].	27
Şekil 4.12 : Kalibrasyon plakası [6].	27
Şekil 4.13 : 30° ile elde edilen sonuçlar.	28
Şekil 4.14 : 60° ile elde edilen sonuçlar.	28
Şekil 4.15 : 90° ile elde edilen sonuçlar.	29
Şekil 4.16 : 120° ile elde edilen sonuçlar.	29
Şekil 4.17 : Temas açısı deneme ölçümü.	30
Şekil 5.1 : Alüminyum Profil 30x30 [5].	32
Şekil 5.2 : Alüminyum Profil 35x35 [5].	32
Şekil 5.3 : Alüminyum Profil 45x45 [5].	33
Şekil 5.4 : Alüminyum Profil 45x90 [5].	33
Şekil 5.5 : Alüminyum Profil 30X60 [5].	33
Şekil 5.6 : Hareketli karkas.	34
Şekil 5.7 : Sabit karkas.	34
Şekil 5.8 : Genel cihaz görünümü.	35

Şekil 5.9 : Şırınga hareket mekanizması genel görünüm.....	36
Şekil 5.10 : Numune tablası.....	36
Şekil 5.11 : Kamera hareket mekanizması.....	37
Şekil 5.12 : 45 derece eğim ve açı ölçer.....	37
Şekil 5.13 : Numune Tablası Genel Görünüm.....	38
Şekil 5.14 : Numune tablası yerleşimi.....	38
Şekil 5.15 : Numune tablası.....	39
Şekil 5.16 : 1/4 Asansör grubu.....	40
Şekil 5.17 : Numune tablası mekanizma görünümü.....	40
Şekil 5.18 : Vida Hesaplamaları [2].....	44
Şekil 5.19 : Verim Hatve İlişkisi.....	46
Şekil 5.20 : Dişli Kayışlarda Yüzey Emniyet Basıncı [2].....	48
Şekil 5.21 : Dişli kayış kasnak ölçüleri [4].....	49
Şekil 5.22 : Numune tablası kayış gerdirme tertibatı.....	51
Şekil 5.23 : Numune tutucu.....	51
Şekil 5.24 : Şırınga hareket mekanizması.....	52
Şekil 5.25 : Şırınga hareket mekanizması.....	53
Şekil 5.26 : Ray ve araba seçimi[4].....	54
Şekil 5.27 : Şırınga X ve Y mekanizması.....	55
Şekil 5.28 : Şırınga Z mekanizması.....	56
Şekil 5.29 : Kamera ve ışık mekanizması.....	57
Şekil 5.30 : Kamera ve ışık hareket grubu.....	58
Şekil 5.31 : Kamera ve ışık mekanizması tahrik grubu.....	59
Şekil 5.32 : Açı ölçer.....	60
Şekil 5.33 : Tahrik grubu 45 derece.....	60
Şekil 5.34 : Sonlandırıcı elektrikselsel butonlar.....	61
Şekil 5.35 : Taşıyıcı şaft.....	63
Şekil 5.36 : Taşıyıcı şaftın hareketli karkas üzerinde yerleşimi.....	64
Şekil 5.37 : Kuvvetin etkisi X-Z düzlemi.....	65
Şekil 5.38 : Kuvvetin etkisi Y-Z düzlemi.....	65
Şekil 5.39 : Kuvvetin etkisinin model olarak gösterimi.....	66
Şekil 5.40 : Etkiyen kuvvetler ve tepkilerinin gösterimi.....	67
Şekil 5.41 : Bir boyutlu bir sonlu eleman.....	71
Şekil 5.42 : Üçgen tipi sonlu eleman örneği.....	71
Şekil 5.43 : İki boyutlu değişik dörtgen geometri biçimli sonlu elemanlar.....	71
Şekil 5.44 : Taşıyıcı şaft.....	72
Şekil 5.45 : Taşıma şaftı yükleme durumu-1.....	73
Şekil 5.46 : Taşıma şaftı yükleme durumu-2.....	73
Şekil 5.47 : Alüminyum profilin meshlenmesi.....	74
Şekil 5.48 : Alüminyum profil ve paslanmaz şaftın meshlenmesi.....	74
Şekil 5.49 : Paslanmaz şaftın küp eleman ile meshlenmesi.....	75
Şekil 5.50 : Taşıyıcı şaft üzerindeki stres dağılımı.....	75
Şekil 5.51 : Maksimum gerilme dağılımı.....	75
Şekil 5.52 : Maksimum deformasyon.....	76
Şekil 5.53 : Mekanizma hareket kontrol ünitesi.....	77
Şekil 5.54 : Elektrik sistemleri kontrol panosu.....	77
Şekil 6.1 : Temas açısı ölçüm cihazı.....	80

SEMBOL LİSTESİ

DIN	: Deutsches Institut für Normung
EN	: European Standard
FEM	: Federation Europeenne De La Manutention
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
TS	: Türk Standartları
g	: Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
σ_m	: Eğilme gerilmesi [N/mm^2]
M_m	: Eğilme momenti [Nmm]
W	: Kesitin mukavemet momenti [mm^3]
σ_{ζ} (Rm)	: Çekme gerilmesi [N/mm^2]
ϵ	: Kopma uzaması
σ_x	: X eksenini boyunca eğilme gerilmesi [N/mm^2]
σ_y	: Y eksenini boyunca eğilme gerilmesi [N/mm^2]
E	: Elastiklik modülü [N/mm^2]
I_x	: X-eksenindeki atalet momenti [mm^4]
I_y	: Y-eksenindeki atalet momenti [mm^4]
σ_E	: Elastiklik limiti [N/mm^2]
σ_a	: Maksimum gerilme değerleri [N/mm^2]
ϵ	: Kopma uzaması
σ_x	: X eksenini boyunca eğilme gerilmesi [N/mm^2]
σ_y	: Y eksenini boyunca eğilme gerilmesi [N/mm^2]
v	: Emniyet katsayısı
E	: Elastiklik modülü [N/mm^2]
I_x	: X-eksenindeki atalet momenti [mm^4]
I_y	: Y-eksenindeki atalet momenti [mm^4]
d_2	: Cıvata ortalama çapı [mm]
d_0	: Vida başı sürtünme yüzeyi ortama çapı [Nmm]
M_{s1}	: Vida dişlerinde olan sürtünme momenti [Nmm]
M_{s2}	: Vida başı sürtünme momenti [Nmm]
M_{s3}	: Yataklardan kaynaklanan sürtünme momenti [mm]
$F_{\text{ön}}$: Dişli kayış gerdirme kuvveti [N]
F_t	: Parçayı eğik düzlem üzerinde itmek için gereken kuvvet [N]
F_n	: Parçalar arasındaki normal kuvvet [N]
μ	: Çalışan yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı
β	: Vida helis açısı [Derece]
d_2	: Vida dişi ortalama çapı [mm]
K_0	: Çalışma Faktörü
F_t	: Teğetsel Kuvvet (Kg)
P_{em}	: Yüzey Emniyet Basıncı [Kg/cm^2]
z_k	: Temas Halindeki Dişli Sayısı

h_z	: Dişli Kayış Diş Yüksekliği [cm]
b	: Kayış Genişliği [cm]
F_H	: Hareketli kısım ağırlığı [N]
L	: Taşıyıcı şaft uzunluğu [mm]
l_1	: AC uzunluğu, bu tasarımda $L/2$ ye eşittir [mm]
l_2	: CB uzunluğu, bu tasarımda $L/2$ ye eşittir [mm]
a	: Y-Z ekseninde 45° eğimde ağırlık merkezinin eksen kaçıklığı [mm]
M_e	: X-Z düzleminde şaft üzerinde olan maksimum eğilme moment [mm]
τ_b	: Şaftta oluşan maksimum kesme gerilmesi [N/mm^2]
M_b	: Şaft üzerindeki burulma momenti [Nmm]
M_A	: A yatağındaki burulma momenti [Nmm]
M_B	: B yatağındaki burulma momenti [Nmm]
d	: Şaft çapı [mm]
σ_v	: Eşdeğer gerilme [N/mm^2]
σ_e	: Eğilme gerilmesi [N/mm^2]
G	: Kayma Modülü [N/mm^2]
I_{p1}	: AC kısmı kesiti polar atalet momenti [mm^4]
I_{p2}	: CB kısmı kesiti polar atalet momenti [mm^4]
θ	: Suyun veya diğer sıvının temas açısı [Derece]
γ	: Serbest yüzey enerjisi [mN/m]
γ^d	: Suyun serbest yüzey enerjisinin dispersive terimi [mN/m]
γ^p	: Suyun serbest yüzey enerjisinin polar terimi [mN/m]
γ^s	: Katı yüzeyin serbest yüzey enerjisi [mN/m]
$M_{bsistem}$: Sistem momenti [Nm]
i	: Redüktör çevrim oranı
M_{motor}	: Motor miline gelen moment [Nm]
η	: Redüktör verimi

TEMAS AÇISI ÖLÇÜM CİHAZI TASARIMI

ÖZET

Son yıllarda malzemelerde kaplamaların kullanımı yaygınlaşmaktadır ve bu malzemeleri kullanıldığı yere göre yüzey kaplaması ile şekillendirmek veya özelliklerini belirlemek mümkün olmaktadır. Malzemelerin yüzey özelliklerinden biriside suya karşı dirençlerinin kullanımınıdır. Malzemelerin veya kaplamaların suya karşı nasıl davrandıkları, yüzey karakterleri, malzemelerin yüzey enerjisine bağlıdır. Yüzey enerjisi, yüzey üzerine damlatılan bir damlanın yüzey ile yaptığı temas açısının bulunması ile hesaplanabilmektedir. Bu tezde Arçelik A.Ş. Araştırma Geliştirme bölümü için büyük numuneleri ölçebilmek ve daha farklı karakterde ölçüm yapabilmek için yapılan temas açısı ölçüm cihazı tasarımını anlatmaktadır. Temas açısı ölçüm cihazı tasarımı, cihazın mekanik kısmı, sistem kısmı, temas açısı ölçümü ve yüzey gerilimi hesabı için gerekli olan programlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada aşağıdaki konular anlatılmaktadır. Bu konular:

- Cihaz speklerini belirleyebilmek ve doğru ölçüm yapabilmek için yapılmış öncül çalışmalar,
- Cihazın mekanik olarak hareket ettirecek mekanizma tasarımı ve hesaplamaları,
- Cihazın mekanik kısımlarının mukavemet hesapları,
- Cihazın sistem tarafı olarak gördüğümüz ışık, damlatma sistemi ve fotoğraf makinesinin gibi komponentlerinin belirlenmesi,
- Temas açısı ölçümü için görüntü işleme programlarının belirlenmesi,
- Elde edilen temas açısı ile yüzey geriliminin belirlenmesi,

Bütün cihazın sistem kısmının bilgisayar yardımıyla ve mekanizma kısımlarının bir kontrol ünitesi yardımıyla kontrolünü sağlamaktır.

DESIGN OF CONTACT ANGLE METER

SUMMARY

Recent years, using coatings on materials have been grown up and the materials surface characteristics where the materials using can be varied by coatings. Coatings and materials surface characteristics can be determined by surface energy of the materials or coatings. Materials or coatings' reactions or characteristics against to water or a liquid depend on the materials or coatings surface energy. It is the interaction between the forces of cohesion and the forces of adhesion, which determines whether wetting, the spreading of a liquid over a surface, occurs. If complete wetting does not occur, then a bead of liquid will form, with a contact angle, which is a function of the surface energies of the system. Other words, using contact angle between a drop and a surface, we can calculate the surface energy. This thesis involves designing a contact angle meter for Arçelik A.Ş. Research and Development center. Contact angle meter have been designed for big samples and different types of measuring the contact angle. The thesis comprises the subject at the below:

- Previous workings because of determining specifications of the contact angle meter and measuring accurate contact angle,
- Mechanism designs and calculations,
- Strength of the materials calculation using for mechanisms,
- Choosing Dropping system, light and photo cameras,
- Choosing image processing programs.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, malzemeler üzerine çeşitli fonksiyonları yerine getirmek amacıyla farklı özellik ve bileşenlerde birçok kaplama uygulaması gerçekleştirilmektedir. Bu kaplamaların birçoğu farklı karakterde olup, kullanıldıkları uygulamaya göre farklı ihtiyaçlara cevap verebilmektedir. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılan kaplamalar suya karşı farklı şekillerde davranış gösteren kaplamalardır. Temel olarak bu tip kaplamalar 2 ana gruba ayrılmaktadır:

- Hidrofobik
- Hidrofilik

Hidrofobik kaplamalı olan yüzeyler, yüzeye gelen su damlasını iterek su damlasının küre formuna yaklaşmasına neden olurken, hidrofilik kaplamalar suyun yüzey üzerinde tutunması ve yayılmasını sağlamaktadır. Bu tip kaplamalar özellikle nem alma proseslerinde kullanılan ısı değiştiricilerin kanatları üzerine kaplanmaktadır. Isı değiştirici eşanjör kanatlarının üzeri bu şekilde kaplanarak, eşanjör üzerinde su kalmasından dolayı, kireçlenme, korozyon, toz ve diğer maddelerin eşanjör üzerine yapışıp kalması engellenmiş olmaktadır. Böylelikle eşanjör uzun bir süre verimli bir şekilde kullanılmış olmaktadır. Suyu seven yüzeyler ise kaplama ve boyama yapılması için uygun görülmektedir. Boya veya kaplama yapılması durumunda, yüzey üzerine yayılarak daha kaliteli kaplama veya boya yapılabilir. Bu kaplamalar ile birlikte farklı kullanım alanlarında farklı ihtiyaçlara cevap verilebilmektedir.

Bir yüzeyin su ile yaptığı temas açısı;

- 0-90 derece arasında hidrofilik, 90-180 derece arasında hidrofobik

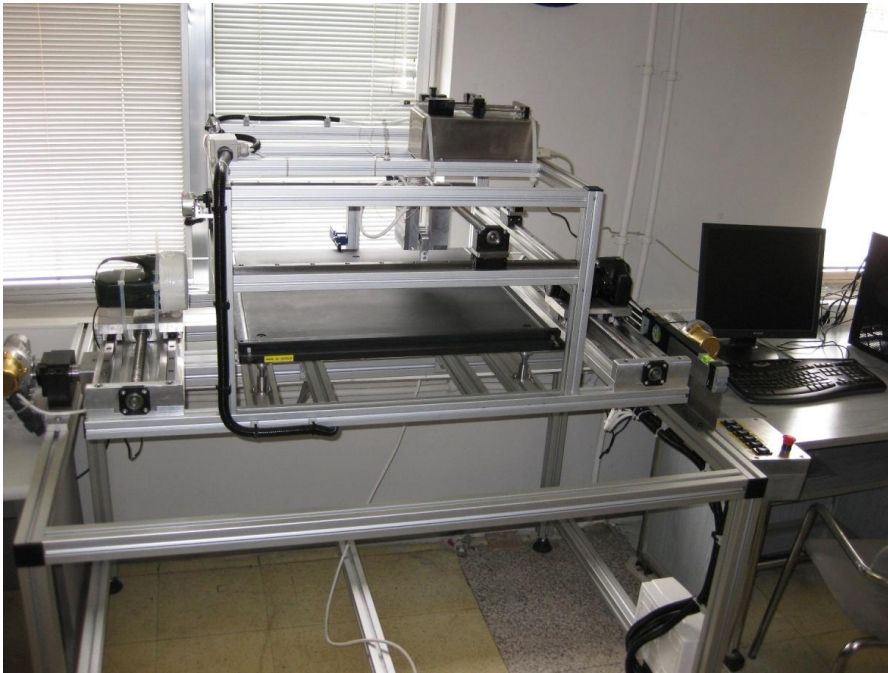
Söz konusu kaplamaların özelliklerini tespit etmek amacıyla en sık kullanılan yöntem, yüzeylerin farklı sıvılar ile (su dâhil) yaptıkları temas açılarını ölçme yöntemidir. Bu yöntem yardımı ile yüzeylerin ne tip kaplamaya veya karaktere sahip olduğu tespit edilebilirken, aynı zamanda yüzey kaplama kalitesi de değerlendirilebilmektedir. Bunların yanı sıra, farklı tipte yüzey kaplamaları ile birlikte nem tutmayan, iz bırakmayan/göstermeyen kaplamalar da yapılabilir;

bunların kullanım alanları da son yıllarda yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada katı bir yüzeyin yüzey enerjisini belirleyebilmek için tasarlanan temas açısı ölçüm cihazı tasarım kistasları paylaşılmıştır. Temas açısı ölçüm cihazı Arçelik Araştırma Geliştirme bölümünde kullanılmak için tasarlanmıştır. Bu çalışma, hali hazırda kullanılan eski temas açısı ölçüm cihazının daha büyük numuneleri ölçme, eğimli yüzeyde ölçüm ve görüntü netliği gibi yeteneklerinin iyileştirilmiş bir çalışmasıdır. Tasarlanan cihaz ile numunenin yüzey gerilimi hesaplanabilmektedir. Aşağıdaki işlem sırası takip edilmektedir.

- 1.Damla numune üzerine damlatılmaktadır. Cihaz üzerinde mekanik kısım ve fotoğraf makinesi ile damlanın netliği ayarlanmaktadır.
- 2.Damlanın fotoğrafı çekilmektedir. Çekilen fotoğraf Image-J programı ile açılarak temas açısı ölçülmektedir.
- 3.Yüzey gerilimi için (Owens-Wendt) yöntemini kullanan EES (Engineering Equation Solver) de yazılmış bir program ile temas açısı girilerek yüzey gerilimi hesaplanmaktadır.

Temas açısı cihazı, sistem kısmı; Kamera ışık, şırınga, bilgisayar ve yazılımlar Mekanik kısım; Cihaz karkas yapısı, hareket mekanizmaları, mekanizma tahrik motorları, elektrik motorlarını tahrik eden elektriksel kısım ve hareket kontrol ünitesinden oluşmaktadır.

Yukarıda sayılan kısımlardan oluşan cihaz aşağıdaki şekil 1.1 de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 : Genel Cihaz Görünüşü.

2. TEMAS AÇISI ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE YÜZEY GERİLİMİ

2.1 Giriş

Bir katı yüzeyi ile temastaki bir sıvı yüzeyi bir açı oluşturur. Temas açısı adı verilen bu açının büyüklüğü, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri (kohezyon kuvvetleri) ile sıvı katı arası çekim kuvvetlerinin (adezyon kuvvetleri) göreceli büyüklüğüne bağlıdır. [10]

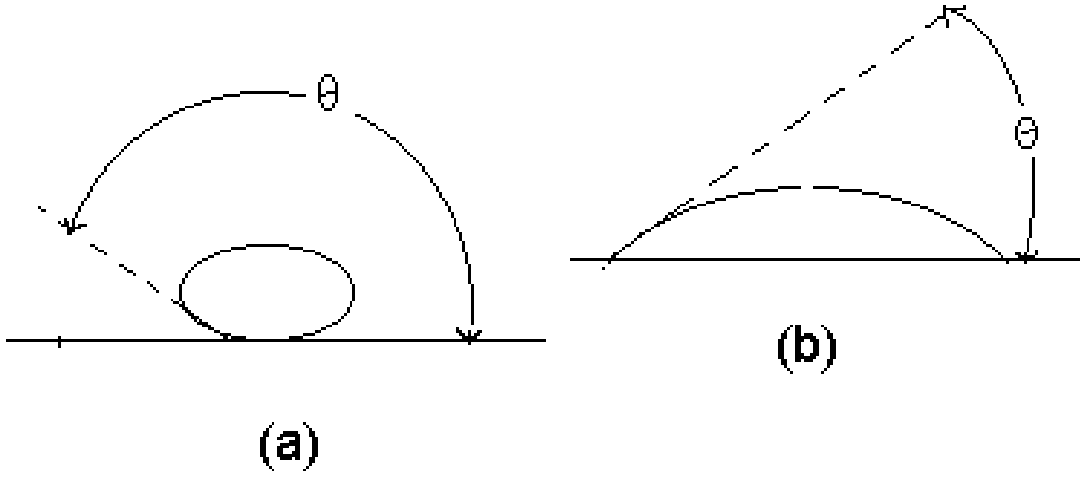
2.2 Yüzey Gerilimi Ölçüm Metodları

Bir sıvının yüzey gerilimi çeşitli metodlarla ölçülebilir. Bu metodlardan en yaygın olarak kullanılanları; kapiler yükselme ve damla ağırlığı yöntemleridir. [10]

2.3 Temas Açısı

Bir katı yüzeyi ile temastaki bir sıvı yüzeyi bir açı oluşturur. Temas açısı adı verilen bu açının büyüklüğü, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri (kohezyon kuvvetleri) ile sıvı katı arası çekim kuvvetlerinin (adezyon kuvvetleri) göreceli büyüklüğüne bağlıdır. Kohezyon kuvvetlerinin büyüklüğü, adezyon kuvvetlerinin büyüklüğünden ne kadar fazla ise, sıvı katı arasındaki temas açısı da o denli büyük olur. Diğer bir ifade ile büyük bir temas açısı sıvı katı çekim kuvvetlerinin azlığının, küçük bir temas açısı ise, bu kuvvetlerin büyük olmasının bir göstergesidir. Ayrıca, temas açısının büyüklüğü, katı yüzeyin düzlüğü ve temizliğinden başka sıvının saflık derecesine de bağlıdır. Saf ve ıslatma maddesi içeren (yüzey aktif madde) su damlalarının bir parafin yüzeyindeki durumları şekil 2.1'de gösterilmiştir. [10]

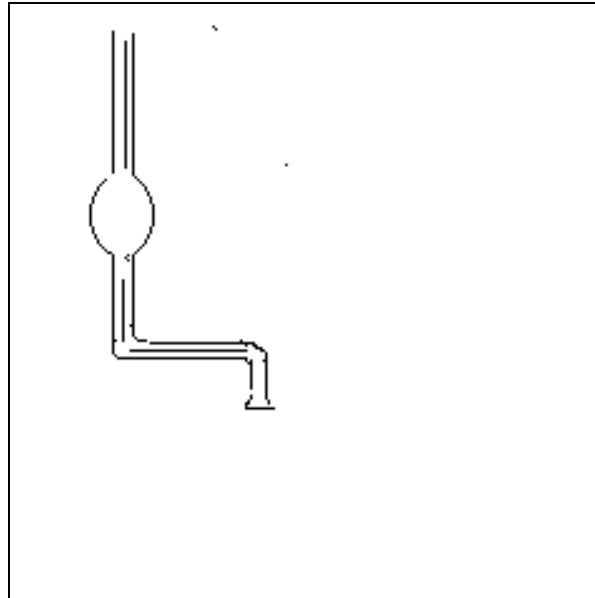
Temas açısı 90 °C'den küçük ise sıvı kabı ıslatır, büyük ise ıslatmaz. Bir kapiler içerisindeki sıvının kapiler duvarları ile yaptığı açı 90 °C den küçük ise sıvı kapiler yüzeyini ıslatır ve sıvının yüzeyinde iç bükey bir menisküs oluşur. Temas açısı 90 °C den büyük olması halinde sıvı kapileri ıslatmaz ve dış bükey bir menisküs oluşur.[10] Aşağıdaki şekil 2.1'de damlanın yüzey ile yaptığı temas açısını gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : (a) Saf su damlasının, (b) ıslatma maddesi eklenmiş su damlasının.

2.4 Damla Ağırlığı Metodu

Bu yöntemde yüzey gerilimini belirlemek için aşağıdaki şekilde gösterilen Traube Stalagmometresi kullanılır. [10]



Şekil 2.2 : Traube Stalagmometresi.

Bu metoda göre kılcal bir borudan düşen damlanın ağırlığı mg , tam düşme anında borunun çevresindeki sıvının yüzey gerilim kuvvetine eşit olacaktır. [10]

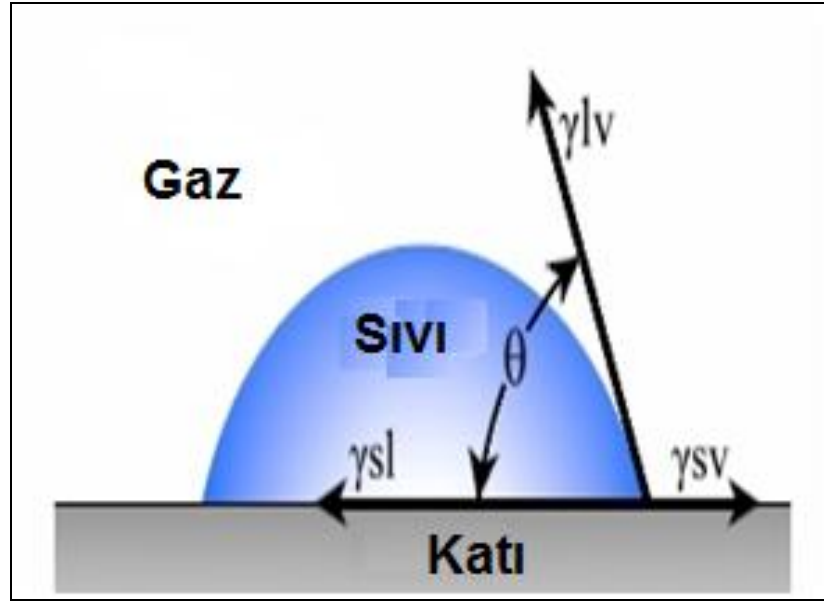
2.5 Yüzey Gerilimi Hesabı İçin Temas Açısının Kullanımı

Islatma açısı veya diğer adıyla temas açısı kavramı sıvı ile gaz ara yüzeyinin bir katı yüzey ile yaptığı açıyı açıklamak üzere kullanılmaktadır. Bu kavram, katı yüzeylerin ıslatılabilirliğini açıklamak üzere kullanılmaktadır. [6]

Yüzey gerilim hesabında kullanılan başlıca yöntemler: [7]

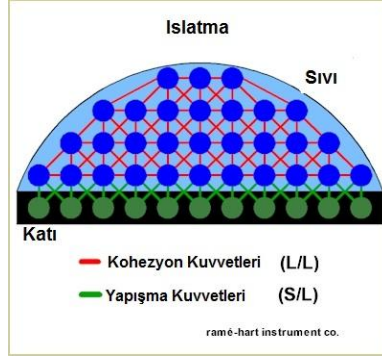
- Kritik Yüzey Gerilimi (Zisman)
 - Rutin ölçümler için tavsiye edilmemektedir.
- Geometrik Ortalama (Fowkes- Owens and Wendt)
 - Tek formül üzerinden hesaplama yapıyor kullanımı kolaydır.
- Harmonik Ortalama (Wu)
 - Hesaplama uzun ve yüksek yüzey enerjili sistemler için önerilmektedir.
- Asit-Baz (Van-Oss)
 - Hesaplama için veri ihtiyacı çok fazladır.

Tasarlanan cihazda yüzey gerilimi hesabı için Owens-Wendt metodu kullanılacaktır.



Şekil 2.3 : Sıvının gaz ve katı yüzey ile yaptığı kuvvet bileşenlerinin gösterimi.

Şekil 2.3’de sunulan resim üzerinde θ ile ifade edilen açı, sıvının katı yüzey ile gerçekleştirdiği temas açısını ifade etmektedir. θ açısı, sıvının katı ve gaz medyalar ile meydana getirdiği yüzey gerilmelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Aşağıdaki şekilde bu kuvvetler gösterilmektedir. Su atomları arasında kohezyon kuvvetleri oluşurken, katı yüzey ve su damlası arasında yapışma kuvvetleri oluşmaktadır. [6]



Şekil 2.4 : Kohezyon ve adezyon kuvvetleri.

Dolayısıyla, sıvının katı yüzey ile pozisyonu yüzey gerilmelerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kuvvetlerin bulunmasında ise aşağıdaki Young Denklemi kullanılmaktadır. [6]

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (2.1)$$

Young Denklemi'nden yola çıkılarak sıvıların katı yüzeyler ile yaptıkları temas sonucunda ortaya çıkan yüzey enerjileri hesaplanabilmektedir. Temel olarak yüzey gerilmesi, yüzeye damlatılan sıvının dispersive ve polar bileşenlerinin toplamı olarak ifade edilmektedir. [6]

γ : Serbest yüzey enerjisi

γ^d : Serbest yüzey enerjisinin dispersive terimi

γ^p : Serbest yüzey enerjisinin polar terimi

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^p \quad (2.2)$$

Yüzeyin meydana getirdiği gerilme, birden fazla sıvının yüzey ile yaptığı gerilmelerin lineer karakteristiğinin değerlendirilmesi sonucu hesaplanabilmektedir. Söz konusu sıvılar diiyometan, su vb gibi akışkanlar olabilmektedir.

θ : Suyun veya diğer sıvının temas açısı,

γ : Serbest yüzey enerjisi,

γ^d : Suyun serbest yüzey enerjisinin dispersive terimi,

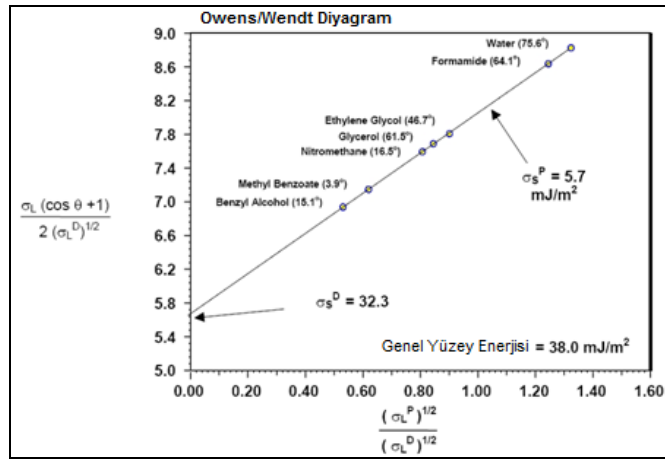
γ^p : Suyun serbest yüzey enerjisinin polar terimi,

γ_s : Katı yüzeyin serbest yüzey enerjisi, genellikle ikinci sıvı olarak diiyodometan kullanılmaktadır.

$$(1 + \cos \theta_1) \gamma_1 = 2(\gamma_s^d \gamma_1^d)^{1/2} + 2(\gamma_s^p \gamma_1^p)^{1/2} \quad (2.3)$$

$$(1 + \cos \theta_2) \gamma_2 = 2(\gamma_s^d \gamma_2^d)^{1/2} + 2(\gamma_s^p \gamma_2^p)^{1/2} \quad (2.4)$$

Yukarıda ifade edilen eşitliklerde “1” alt indisi ile ifade edilen terimler 1. sıvı için; “2” alt indisi ile ifade edilen terimler ise diğer sıvı ile meydana gelen yüzey gerilmesine karşılık gelmektedir. Her iki eşitlikte de “s” alt indisi ile gösterilen terimler, dispersive ve polar bileşenleri bilinen sıvıların gerilim bileşenleridir. θ terimi ise bu farklı sıvılar ile meydana gelen temas açısını göstermektedir. Bu bilgiler ışığında, katı yüzeyin farklı sıvılar ile meydana getirdiği yüzey gerilimi hesabında 2 eşitlik ve 2 bilinmeyen olduğundan yüzeyin çeşitli sıvılar ile oluşturduğu gerilim değeri hesaplanabilmektedir. Konunun daha net anlaşılabilmesi için aşağıdaki şekil 2.5’te sunulmuştur.



Şekil 2.5 : Owens/Wendt yöntemi ile hesaplanan yüzey gerilim karakterleri.

(2.3) veya (2.4) içerisinde bilinen terimler yazılıp eşitlik yeniden derlendiğinde (2.5) elde edilebilir.

$$\gamma_{lv} [1 + \cos(\theta)] / 2 (\gamma_{lv}^p)^{1/2} = (\gamma_s^d)^{1/2} (\gamma_{lv}^d / \gamma_{lv}^p)^{1/2} + (\gamma_s^p)^{1/2} \quad (2.5)$$

(2.5) dikkatli incelendiğinde, denklem formunun $Y=MX+N$ formuna sahip olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, birden fazla sıvı ile elde edilen noktaların birleştirilmesi ile bir doğru denklemi elde edilmektedir. Bu doğru denkleminin M ve N terimleri sıvının dispersive ve polar terimlerini ifade etmekte; bunların toplamı ise toplam yüzey enerjisini vermektedir. Elde edilen noktalara uydurulan denkleminin doğruluğu, nokta sayısının artışı ile birlikte artacağından birden fazla sıvı ile ölçüm yapmak sonuçların doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır. [6] Genellikle iki farklı sıvı ile ölçümler yapılmaktadır.

Temas açısı ve yüzey gerilimi ile ilgili olarak;

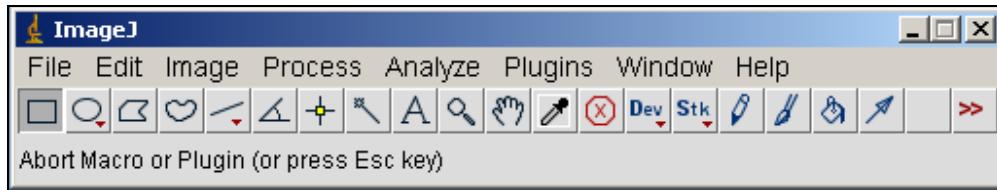
1. Temas açısı, katı-sıvı yüzey birleşimi yüzey enerjisi ve sadece sıvının yüzey geriliminin bir fonksiyonudur. [6]

- 2.Eğer su gibi yüzey gerilimi bilenen bir sıvı ile deneyler yapılır ise kolaylıkla bir katının yüzey enerjisi, damlatılan sıvının temas açısı ölçülerek öğrenilebilir. [6]
- 3.Düşük temas açısı demek, iyi yapışma, iyi ıslanabilirlik ve yüksek yüzey enerjisi demektir. [6]
- 4.Katı yüzeylerin kirletilmesi temas açısını arttırmaktadır. Düşük yüzey enerjisine sahip yüzeylerde, ıslanabilirlik azalmaktadır. Eğer yüzeyi kirletilmiş bir katıda boya vb. yapışma işleri yapılacak ise temizlenmelidir.
- 5.Yapışmayı artırabilmek için birçok yüzey temizleme işlemleri vardır. [6]
- 6.Su, oda şartlarında, 72,8 mN/m yüzey gerilimine sahiptir. Birçok sıvı 20-50 mN/m arasında düşük yüzey gerilimlerine sahiptir. Birçok katı 100 mN/m nin altında yüzey enerjisine sahiptir, bazen 10 mN/m. altında olanlarda mevcuttur. Genellikle kullanılan polimerler 20 ile 50 mN/m arasında yüzey gerilimine sahiptir. [6]
- 7.Sıcaklık ve nem gibi çevre koşulları yüzey gerilimini etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzeyin homojen olması da temas açısını etkilemektedir. Temas açısı kolaylıkla ölçülebilmektedir. [6]

2.6 Temas Açısı Ölçümünde Kullanılan Programlar

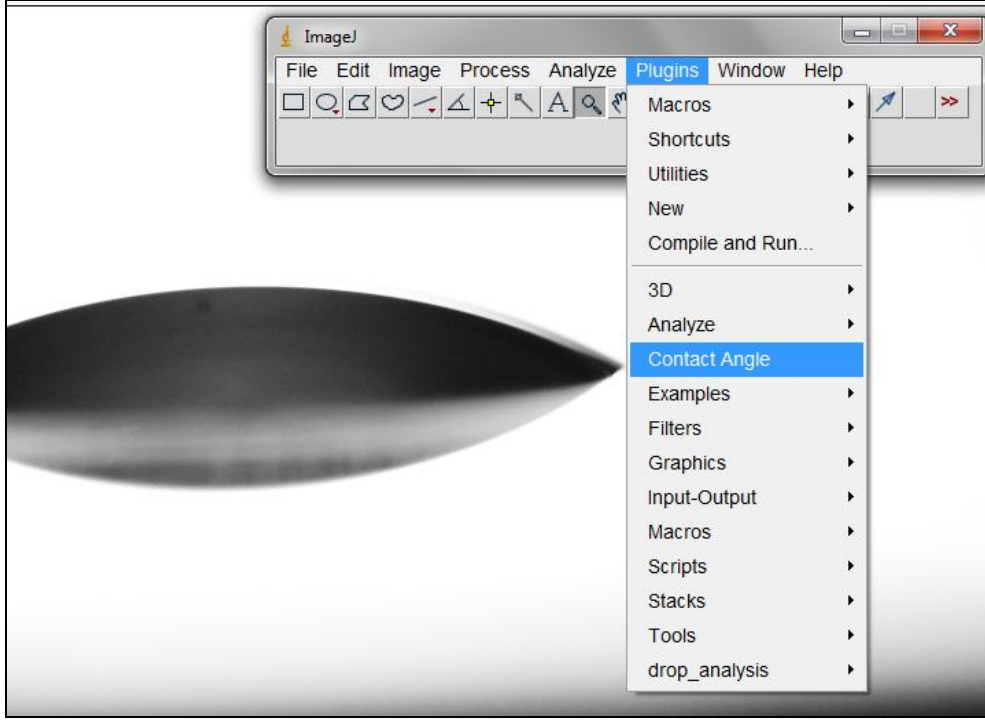
Temas açısının fotoğrafı çekildikten sonra temas açısını ölçmek için bir çok program kullanılmaktadır. Bunlardan en bilinenleri “Image-J” ve “MB-Ruler” programları kullanılmaktadır. Yeni tasarlanan bu cihaz için Image-J programı kullanılmıştır.

Image-J programı aşağıdaki şekilde ana detayları gösterilmiştir. Üstte program ara yüzü bulunmaktadır. Bu ara yüz içerisinde “file-open” ile temas açısı ölçülecek şekil açılmaktadır.



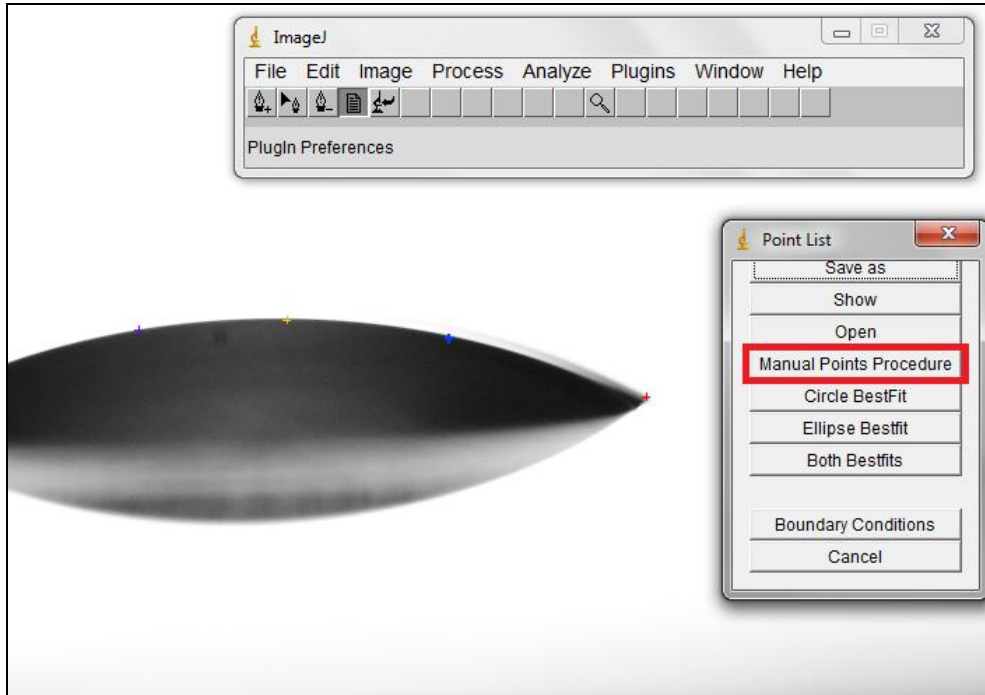
Şekil 2.6 : Image-J programı.

Damla resmi açıldıktan sonra program içerisinde “plugins-contact angle” seçilerek damla üzerinde aşağıdaki şekil 2.8 üzerinde gösterildiği gibi 5 adet nokta tespit edilir. Seçilen ilk iki nokta damlanın katı yüzey ile birleştiği kısımdır.

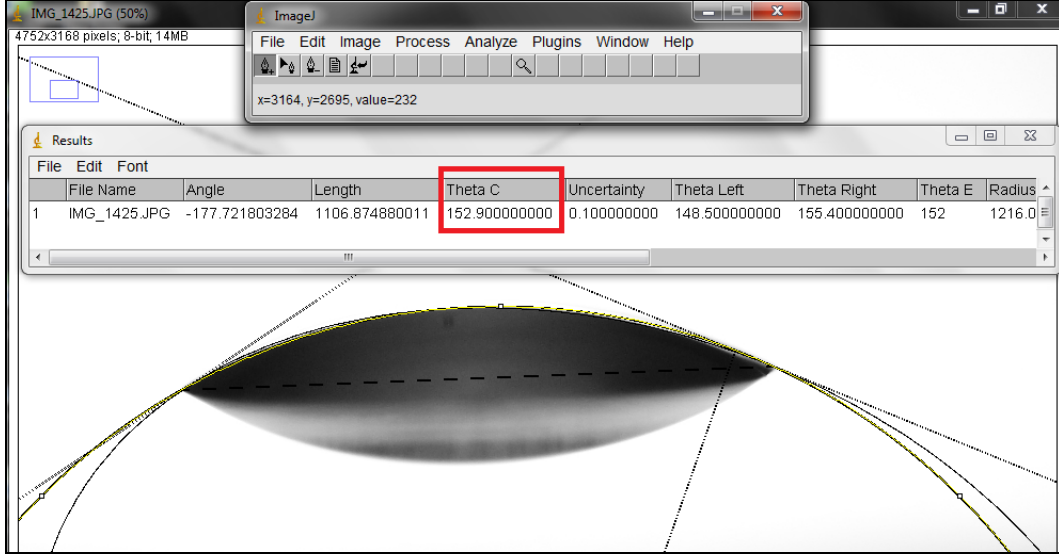


Şekil 2.7 : Temas açısının ölçümü-1.

Şekil 2.8’de damla resmi üzerinden en az 5 adet nokta kullanılarak “manuel points procedure” komutu kullanılarak temas açısı ölçülmektedir. Şekil 2.9’da ise ölçülen açı gösterilmektedir. Ölçülen açı “Theta C” olarak verilmektedir. Bu açının bütünüyle, $180 - \text{Theta C}$, temas açısını vermektedir. Bu ölçümde bulunan temas açısı $27,1^\circ$ dir.

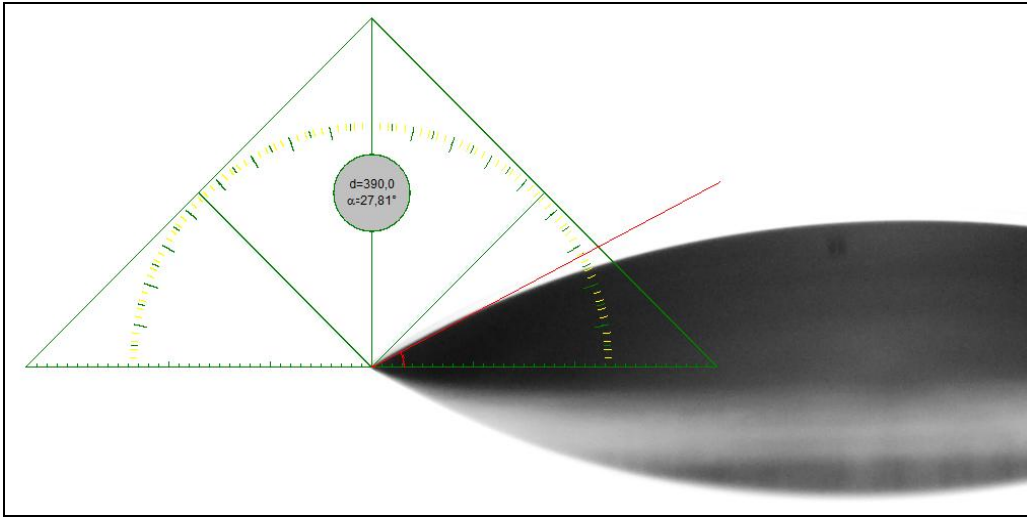


Şekil 2.8 : Temas açısının ölçümü-2.



Şekil 2.9 : Temas açısının ölçümü-3.

MB-Ruler programı ile yapılan aynı ölçüm aşağıda gösterilmektedir. MB-Ruler programı numune ve fotoğraf makinesi arasında oluşacak bağıl ölçüsel kayıklıkları tolere edememektedir. Tolere edilse bile bu işlem uzun sürmektedir. MB-Ruler programının kullanımı basit bir açıölçer şeklinde kullanılmaktadır. MB-Ruler programı ile bulunan aynı damlanın açısı $27,8^\circ$ dir. Bu zorluklar düşünüldüğü zaman Image-J programı seçilmiştir. Bu programlar ücretsiz programlardır.

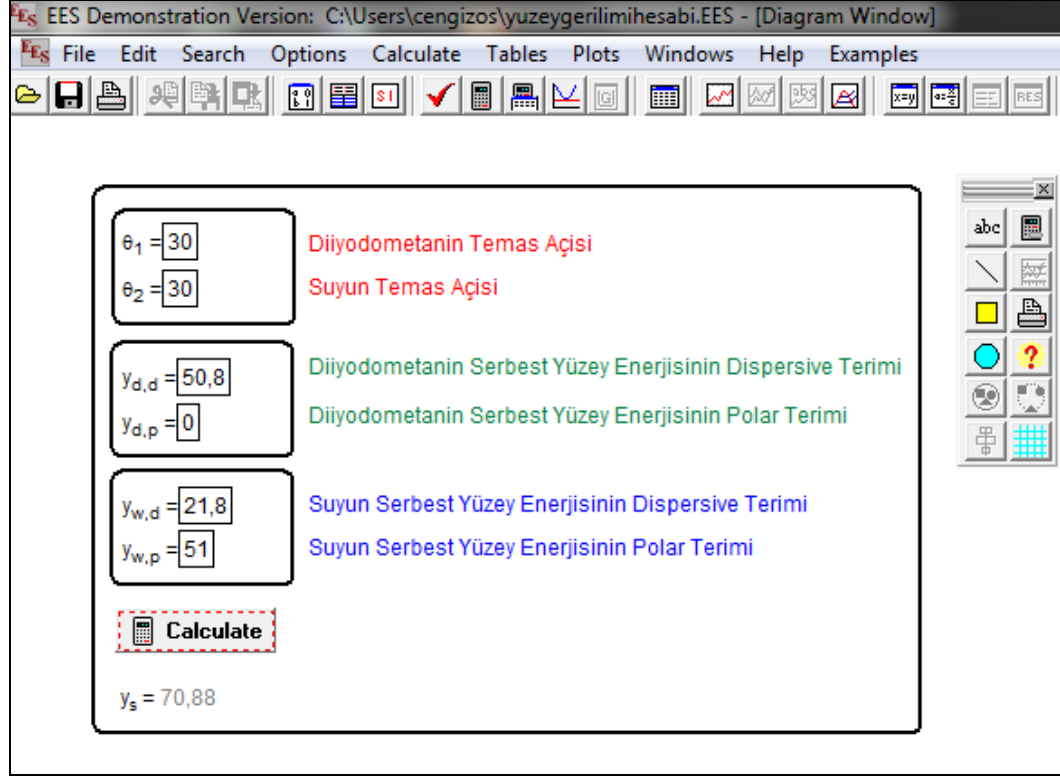


Şekil 2.10 : MB-Ruler programı ölçümü.

Programlar arasındaki farkın diğer bir nedeni ise ölçüm yapan kişi görsel olarak bu işi yaptığı için kullanıcıya göre değişen bir ölçüm olmaktadır. Genellikle bu ölçümler her zaman bir kişi tarafından yapılmaktadır. Böylelikle tekrarlanabilirlik sağlanmış olacaktır. Ölçümlerde, damlanın görüntü netliği büyük önem taşımaktadır. Görüntü netliği kişiden kişiye ölçümlerin değişmesini büyük oranda engelleyecektir.

2.7 Yüzey Gerilimi Hesabı İçin Kullanılan Program

Cihaz üzerinde temas açısı ölçülmesi ile yüzey gerilimi hesaplanabilmektedir. Kullanılacak en uygun programlar, temas açısı ölçülmesi için seçilmiştir. Ayrıca, yüzey gerilimi hesabı için kullanılacak hesap yöntemi belirlenmiştir. Aşağıdaki gibi basit programla yüzey gerilimi hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.11 : EES' de yüzey gerilimi hesabı.

3. CİHAZ KURULUMUNDA TEKNİK SÜREÇ

3.1 Cihaz Tasarımı Öncesi Piyasa Araştırması ve Karşılaştırmalar

Cihazın kurulumu öncesinde, piyasada ticari olarak var olan ve çeşitli araştırma enstitülerinde yer alan ve laboratuvar ölçümü amaçlı kullanılan cihazlar ve bunların özellikleri değerlendirilmiştir. Değerlendirme aşamasında cihazların özellikleri, kritik görülen parametreler açısından karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. İrdeleme sonuçları aşağıdaki çizelgede sunulmuştur. Burada karşılaştırılan cihazlar;

- Krüss firmasının cihazı
- ACRC- test aparatı olarak
- Arçelik A.Ş. de bulunan mevcut cihaz

Temas Açısı Ölçen Cihazların Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Çizelge 3.1 : Piyasada var olan cihazların karşılaştırması-1.

PARAMETRELER	Krüß MARKA CİHAZ	ACRC – TEST APARATI	MEVCUT SİSTEM
Damlacık Sayısı/Çeşidi	4'ten fazla mikro şırınga sistemine sahiptir.	2 mikroşırıngalı sistem var. Sistem daha fazla sayıda sıvı kullanımına imkân verir nitelikte.	Mevcut sistem üzerinde sadece 2 mikro şırıngalı damlatım yapılabilir.
Damlacık Hacmi	Şırınga mekanizması ile hassas kontrol edilebiliyor.	Mevcut çalışmada damlacık hacmi image processing ile tespit edilmiş ve şırınga ile valide edilmiş. 2 kameralı sistem gerekli.	Şırınga mekanizmasına bağlı olarak stabilizasyon mevcut.
Kamera Çözünürlüğü	Modeli bilinmemek ile birlikte firma cihaz üzerindeki tüm ölçümler için yeterli olduğunu iddia ediyor.	Cihazın üzerinde var ancak başka çalışmalarında yüksek çözünürlüklü kamera kullanılıyor (Diğer bir çalışmada “KAPPA DX 10-1394a” marka kullanılmış)	Çekilen resimlerde çözünürlük yetersiz gözüküyor. Hızlı kamera ile çekimlerde bu durum tespit edildi.

Çizelge 3.2 : Piyasada var olan cihazların karşılaştırması-2.

PARAMETRELER	Krüss MARKA CİHAZ	ACRC – TEST APARATI	MEVCUT SİSTEM
Image Processing Yeteneği	Cihazın kendi programı mevcut	Cihazın programı kullanılıyor ayrıca kamera ile birlikte gelen IP programı mevcut.	Kameranın kendi programı mevcut, freeware başka bir program daha var (ImageJ), plug-in kullanımı denenebilir.
Ölçüm Süresi	Diğer cihazlara kıyasla ölçüm yapmak daha kısa sürüyor	Çalışmada sürenin uzun olduğu belirtiliyor. Ancak gerçek değer yok.	Mevcut durumda uygun. Hızlı kamera ile ölçümlerde süre artıyor.
Numunenin Düz Olması	Cihaz üzerinde ayarlama yapılabiliyor	Aparat ile ayarlandığı iddia ediliyor.	Yeterli. Hızlı kamera ölçümlerinde mevcut kullanıldı.
Numunenin Boyutları	50x50 numune ölçülebiliyor.	Boyutlar başka bir çalışmada 23 cm olarak belirtilmiş. Max kapasite hakkında bilgi yok.	Mevcut durumda 25 cm.
2 Eksende Eğim	Aparat ile mümkün	Aparat ile mümkün	Mümkün değil

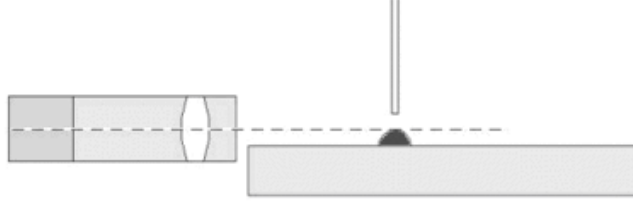
Krüss marka cihaz, piyasada ticari olarak bulunmaktadır. Krüss firmasını temas açısı ölçümü konusunda dünyanın önde gelen firmaları arasında yer almaktadır. Cihazın görünüşü Şekil 13’de sunulmuştur.



Şekil 3.1 : Krüss marka cihazı (sol) ve eğim aparatı (sağ) [7].

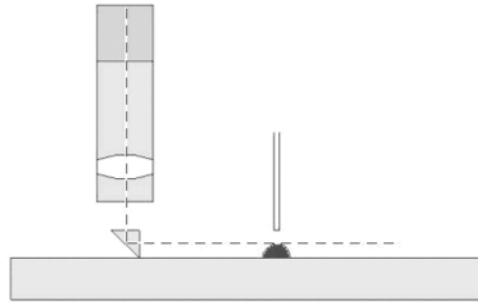
Şekil 3.1’de sunulan cihazda var olan optik sistem firma tarafından patentlenmiş bir uygulamadır. Söz konusu patent, büyük numunelerde numunenin kameraya göre uzak noktasına damlatılan sıvının fotoğrafını net çekememe problemini çözmeye yönelik olarak alınmıştır. Normal yerleşime göre (Şekil 3.2) numune üzerine damlatılan sıvı kameraya göre yakın ve uzak noktalara damlatıldığında, kameranın

her iki bölgeyi (örneğin 500 mm genişliğinde bir numune için hem 0. hem de 500. mm üzerine damlatılması) net olarak odaklayabilmesi için birden fazla lens kullanılması gerekmektedir. Bu tip lenslerin kullanımı cihaz maliyetlerini arttırırken aynı zamanda cihaz boyutlarının büyümesine neden olmaktadır.



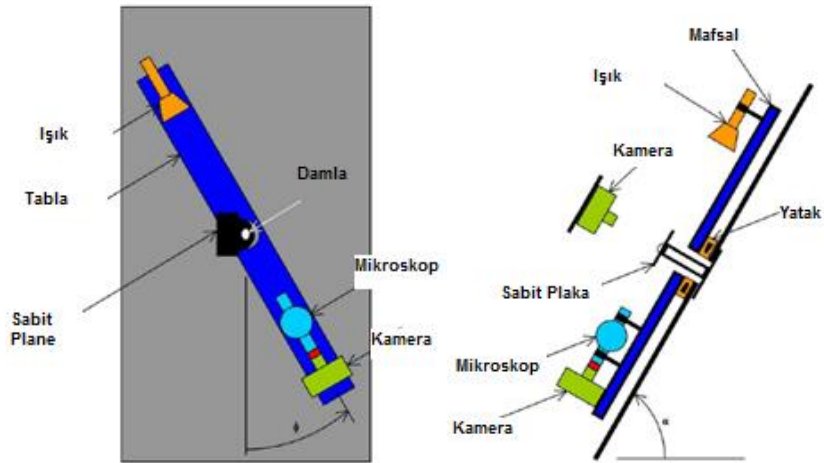
Şekil 3.2 : Orijinal uygulamada sıvı damlası ile kameranın pozisyonlanması [7].

Bu problemin çözümü amacıyla, firma, kameranın eksenini değiştirmiş ve araya koyduğu bir optik yansıtıcı ile kameranın hareket etmesini sağlayarak tek objektif ile numunenin her bölgesini fotoğraflayabilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Krüss tarafından patentlenen dikey eksenli kamera uygulaması [7].

İncelenen cihazlardan bir diğeri, ABD’de yer alan ACRC Enstitüsü’nde kurulan cihazdır. Söz konusu cihaz, tamamen laboratuarda ölçüm amaçlı kurulmuştur. Herhangi bir ticari kaygı gütmemektedir.



Şekil 3.4 : ACRC’de Tasarlanan Temas Açısı Ölçüm Cihazı.

Şekil 3.4'te sunulan sistemde, numune 3 boyutlu olarak hareket edebilmektedir. Böylelikle damlanın farklı kaplamalara sahip yüzeylerden hangi açıda eğimde hareket kazandığı tespit edilebilmektedir. Ayrıca, sistemde fotoğraf çekimi için var olan kameranın yanı sıra numuneye üstten bakan diğer bir kamera ile damla hacmi hesaplanabilmektedir. Diğer özellikler standart ölçüm cihazlarında var olduğu gibi kamera ve tam karşısında yer alan (aynı eksen) bir ışık kaynağından oluşmaktadır. Bunlar hakkında detaylı bilgi, bir sonraki bölümde ifade edilmiştir.

3.2 Öncül Çalışmalar

Cihaz sistem ve mekanik tasarımına başlamadan önce komponentleri seçebilmek ve cihazı tanıyabilmek için bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar hem sistem tasarımı tarafında hem de mekanik tasarım tarafında gerçekleştirilmiştir.

Bunları sistem tasarımı için, numune üzerindeki damlanın fotoğrafının net çekilmesi için gerekli çalışmalar;

- Arçelik A.Ş. var olan cihaz incelenmiştir.
- Cihaz üzerinde netlik ayarı yapılabilmektedir.
- Işığın azlığı ve çokluğunun ayarı yapılabilmektedir.

Bunların yanında Arçelik A.Ş. de var olan cihaz numune boyutları 20x20 cm olan numuneler için tasarlanmış olduğundan dolayı uzak mesafeden ölçüm gibi bir sorun bulunmamaktadır.

Bununla ilgili birçok fotoğraf makinesi kullanılarak ve diğer parametreler diyeceğimiz; numune uzaklığı değiştirilerek, ışık şiddeti değiştirilerek, numunenin konulduğu yüzeyin rengi değiştirilerek gibi birçok parametre ile çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda:

- Numunenin konulduğu numune tablasının siyah ve mat bir renkte olması
- Kullanılacak ışığın ışık şiddeti ayarlanabilir olması,
- Damla fotoğrafının dış ortam ışığından en az etkilenmesi için cihaz üzeri kapatılabilir,
- Kullanılacak ışığın önünde difüzör kullanılması,
 - Işık önünde difüzör kullanılmamı durumda kullanılan ışığın cinsine göre fotoğrafı etkilemektedir.
- Fotoğraf makinesi ve ışığın eksenlerinin mümkün olduğu kadar çakıştırılması,

○Işığın damla ekseni ile çakışması, eğer ışık üstten damla üzerine yönetilir ise damla boyutları gerçek ile uyuşmayacaktır.

- Fotoğraf makinesi ve ışığın beraber hareket ettirilmesi,
- Bu iki eksen arasında herhangi bir yere de damlanın damlatılması,
- Numune tablasının, damlayı bu eksen ile çakıştıracak şekilde, hareket ettirilebilir olması,
- Fotoğraf makinesinin odaklama yeteneğine sahip olması ve en az 250 mm uzaklığı odaklayabilmesi, (500x500 mm numune ölçümü için)

4. CİHAZIN SİSTEM TASARIMI

Cihaz sistem tasarımı, kamera, ışık ve şırınga sisteminden oluşmaktadır. Aşağıdaki detaylarda kamera, ışık ve şırınga sisteminde seçilen komponentlerin detayları anlatılacaktır.

4.1 Kamera Seçimi

Damlanın fotoğraflamasında kullanılacak sistemin seçimi sırasında çekilecek damlanın yaklaşık boyutu, damlanın objektife olan mesafesi ve resim işlemi yöntemi için gerekli olan netlik değerleri kıstas olarak göz önünde bulundurulmuştur.

Daha önceki bölümlerinde de belirtildiği üzere, 500 x 500 mm boyutlarında numunelerin test edilebilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, damlanın objektiften en fazla 250 mm uzaklığında bulunuyor olması yeterli olarak görülmüştür (Geri kalan 250 mm'lik kısım için numunenin ters çevrilebileceği öngörülmüştür). Dolayısıyla, yaklaşık 3 mm yükseklikte bulunan damlanın numune plakası üzerinde 0 ile 250 mm arasında net olarak fotoğraflanması tasarım için bir kıstası olarak getirilmiştir.

Resim işleme prosesi için gerekli olan netlik miktarı çeşitli fotoğraf makineleri ile deneysel olarak tespit edilmiştir. Bu kapsamda çeşitli çözünürlük miktarlarına sahip (Mega Piksel - MP) fotoğraf makineleri kullanılarak numune boyutlarında plakalar üzerine damla yerleştirilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Tasarım esnasında kısıt olarak kullanılan damlanın numune üzerindeki mesafesi her ne kadar genel ölçüm karakteri açısından "kısa" olarak nitelendirilse de optik açısından zorlayıcı yapıdadır. Temel olarak, sadece yakın mesafede veya sadece uzak mesafede fotoğraf çekimi teknik olarak çözülebilir bir problemken her iki mesafeyi de kapsayacak bir fotoğraflama sistemi oluşturmak maliyet de göz önüne alındığında problem teşkil etmektedir. Bu problemi çözmek amacıyla, fotoğraf makinesinin yüksek çözünürlükte olması tercih edilmiştir. Bu şekilde uzak mesafelerin çekiminde damlanın boyutu küçük olsa da fotoğrafın yaklaştırılması ile (zoom) damlanın görüntüsü bozulmadan gerekli olan büyüklük sağlanabilmektedir. Aynı zamanda, seçilen objektifin de uzak mesafedeki damlanın görüntüsünü makul boyutlarda

tutması gerekmektedir. Özetle, gerek fotoğraf makinesinin gerekse objektifin en efektif bölgede optimizasyonu gerekmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda istenilen kıstaslarda fotoğraf çekilebilmesi için fotoğraf makinesinin çözünürlüğünün 13 MP değerinden yüksek olması gerektiği belirlenmiştir. Bu bağlamda Canon marka EOS 500D model fotoğraf makinesi gövdesi (body) temin edilmiştir. Objektif seçiminde ise birkaç farklı parametre değerlendirilerek seçim gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, objektifin yakın mesafede çekim yapılacağı için bu özellikte bir objektif olmasına dikkat edilmiştir. Bu bağlamda “makro” olarak nitelendirilen objektif tercih edilmiştir. Objektif seçiminde kullanılan diğer bir özellik de objektifin istenilen seviyede alan derinliği oluşturmasıdır. Alan derinliği kavramı, fotoğrafçılıkta üzerine odaklama yapılan cismin önünde ve arkasında oluşan netlik sahasına verilen isimdir. Yani, odaklanılan objenin diğer detaylardan netlik anlamında ayrıştırılmasının bir ölçüsüdür. Alan derinliği şekil 4.1 ile açıklanabilir. [16]

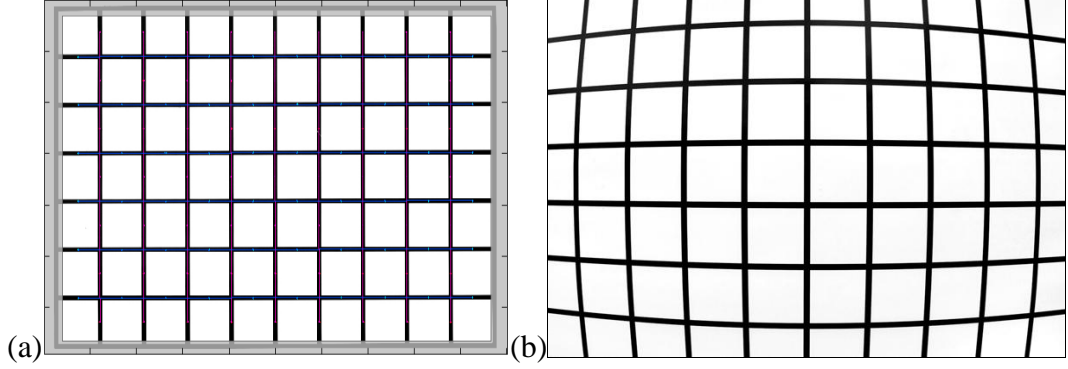


Şekil 4.1 : Alan Derinliği (Öndeki kırmızı araç odaklanmış).

Objektifin boyutu arttıkça uzak mesafelerde alan derinliği oluşturma yeteneği artmaktadır. Bunun nedeni, sabit uzaklıktaki bir objeye daha uzun bir objektif ile bakıldığında daha dar bir alanın objektif üzerine düşüyor olmasıdır. Bu nedenle objektif seçiminde sabit lensli 100 mm mesafelik bir objektif seçilmesi uygun görülmüştür.

Objektif seçiminde diğer bir parametre, çekilen fotoğraf üzerinde gerçek objenin ne kadar bozulmaya uğradığıdır (distortion). Özellikle geniş lensli objektiflerde (balıkgözü) fotoğraf çekilen alanın arttırılması amacıyla mercekler üzerinde bir takım modifikasyonlar gerçekleştirilmektedir. Bu durum, fotoğrafın gerçek pozisyonunda

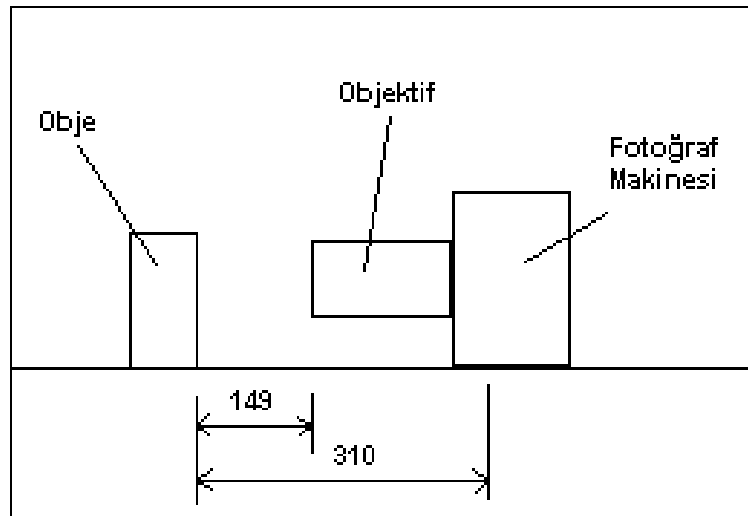
farklılık meydana getirmektedir. Meydana gelen farklılık, fotoğrafın ölçüm için işlenmesi esnasında problem yaratacağından bozulma oranının minimum olacağı bir objektif seçilmiştir. Şekil 4.2’de seçilen objektifin bozulma oranı ile geniş açılı bir objektifin bozulma oranı karşılaştırmalı olarak paylaşılmıştır.[16]



Şekil 4.2 : (a) Seçilen objektifin ve (b) geniş açılı lensin bozulma oranı [16].

Şekil 4.2’de sunulduğu üzere, seçilen objektif ile çekilen resimde özellikle orta ve kenar kısımlarında çizgiselliğin korunduğu tespit edilmiştir.

Objektif seçildikten sonra objektifin ve fotoğraf makinesinin cihaz üzerinde pozisyonlanması amacıyla, objektif ile birlikte tarif edilen odak noktasına olan uzaklık bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Seçilen objektifte, en yakın netleme mesafesi 310 mm olarak belirtilmiştir. Ek olarak, objektifin boyu bu mesafe üzerinden çıkartıldığında ise (çünkü objektif boyu da odaklanacak objenin netleme mesafesi içerisinde bulunmamaktadır) objektifin uç noktası ile en yakın mesafede bulunan damla arasındaki mesafenin 149 mm olması gerektiği belirlenerek tasarıma eklenmiştir. Bu durum, şematik olarak şekil 4.3’te sunulmuştur.

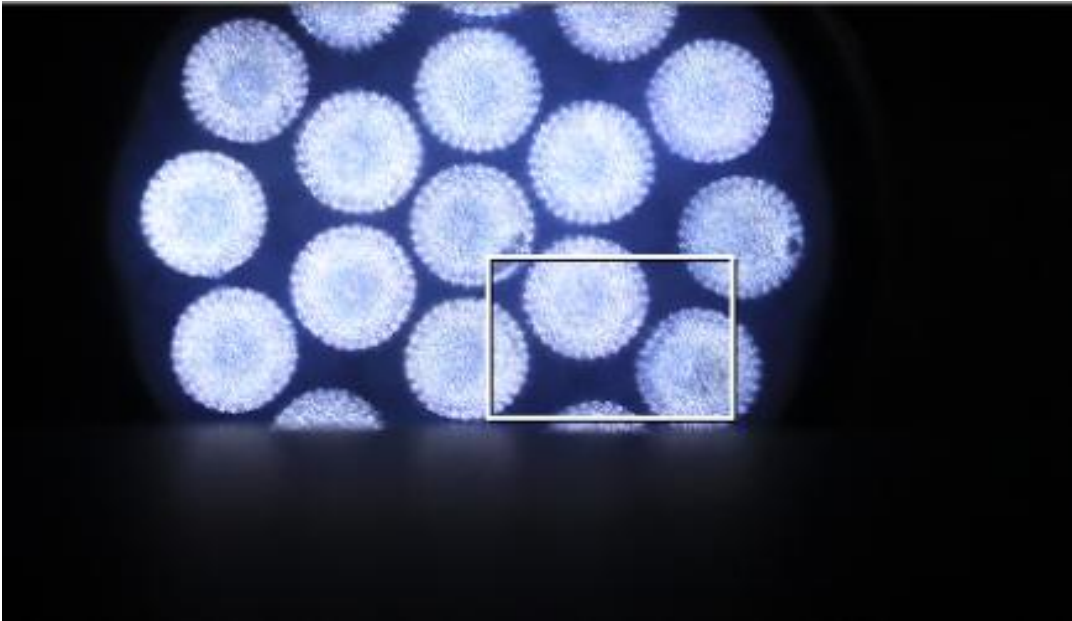


Şekil 4.3 : Objenin cihaz üzerinde objektif ve fotoğraf makinesine göre yerleşimi.

4.2 Işık Seçimi

Fotoğraf makinesinin seçilmesinin ardından, damla resminin çekilmesi için gerekli olan ışık seviyesinin belirlenmesi amacıyla çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalar kapsamında, farklı çaplarda farklı LED sayısına sahip aydınlatmalar deneysel olarak irdelenmiştir. LED aydınlatmalı ışıklandırma seçilmesinin nedeni, LED'lerin maliyet, ömür, güç tüketimi ve servis verilebilirlik açısından kolay erişilebilir olmasıdır.

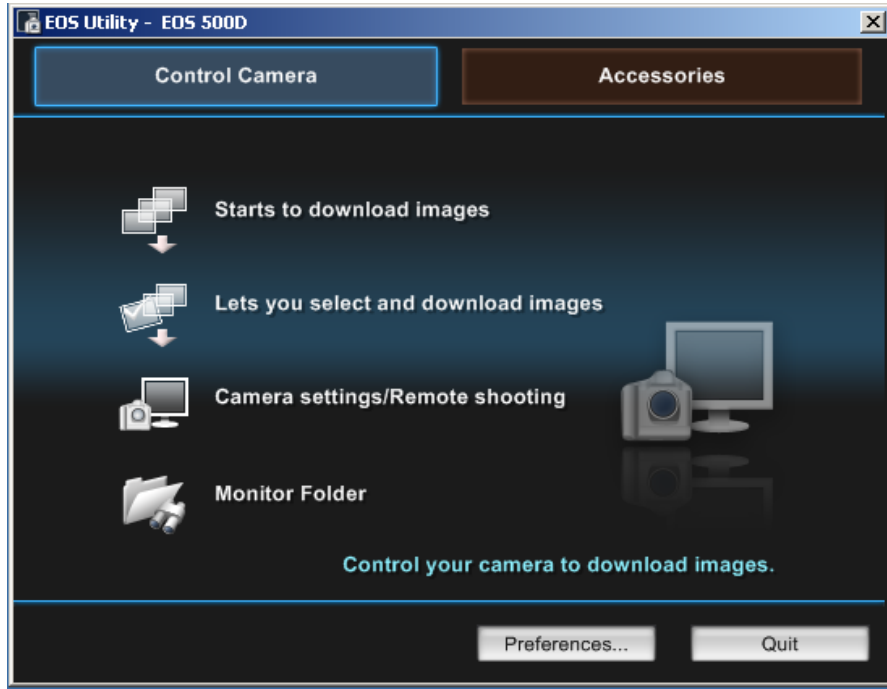
Işık seçiminde, objenin plaka üzerindeki pozisyonu ve numune plakasının boyutu ile birlikte fotoğraf makinesinin seçimi de önem taşımaktadır. Objeye ile ışık kaynağı arasındaki mesafe arttıkça, obje üzerine düşen ışık şiddeti azalmakta ve bu durum damlanın fotoğrafının çekilmesi esnasında damla ile istenilen kontrastın yakalanmasını zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda, dış ortam etkisinin de fotoğraf çekimine olan etkisi artış göstermektedir. Diğer taraftan fotoğraf makinesinin ışık alma kabiliyeti de kontrastın ve netliğin yakalanmasında son derece büyük öneme sahiptir. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda uygun çapta ve ışık şiddetinde aydınlatma seçilmiştir. Aydınlatma önünde difüzör (yayıcı) kullanılmaktadır. Aşağıdaki resimde yeterli veya düzgün difüzör kullanılmadığı takdirde ışığın fotoğraf makinesi ekranından nasıl gözüktüğü gösterilmiştir. Bu şekilde ışığı yaymak yerine kısıtlayan bir difüzör kullanıldığı takdirde iyi bir damla görüntüsü elde edilemeyecektir.



Şekil 4.4 : Difüzör seçiminin önemi.

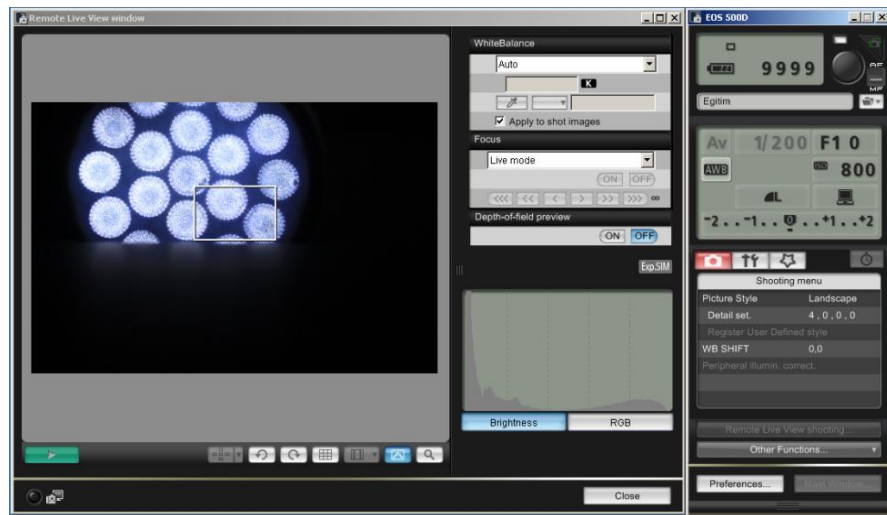
4.3 Kameranın Bilgisayar ile Kontrolü

Kullanılan kamera bilgisayar ile kontrol edilebilmektedir. Kullanıcı numuneyi yerine yerleştirdikten sonra bilgisayar ekranında fotoğraf makinesinin kendi yazılımını kullanarak, manuel fotoğraf çekimleri hariç, bütün fotoğraf çekim işlemini buradan yönetebilmektedir. Şekil 4.5'te gösterildiği gibi çıkan ekran ile ilgili seçimler yapılmaktadır.



Şekil 4.5 : Kamera programı.

Şekil 4.6'da ise çekilecek resim bilgisayar ekranından canlı olarak görülebilmektedir ve bütün fotoğraf makinesi ayarları bu ekrandan yapılabilir.



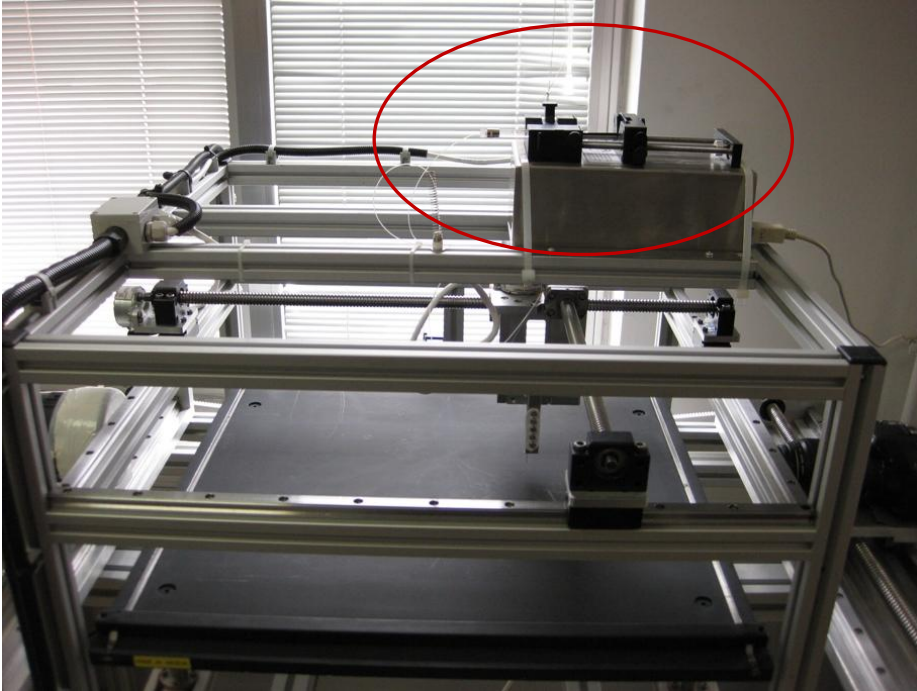
Şekil 4.6 : Fotoğraf çekimi ekranı.

4.4 Damlatma Sistemi

Damlatma sistemi 4 adet komponentten oluşmaktadır. Bu komponentler;

- Şırınga pompası; istenilen hacimde sıvı damlatılmasını sağlamaktadır.
- Şırınga; içerisinde su gibi vb. sıvılar bulunmaktadır. İstenildiğinde değiştirilebilmektedir. Numune üzerinde farklı sıvılar deneyerek farklı sıvılara göre ıslatma açısına bakılmaktadır.
- Tüp; tüp şırıngadan aldığı sıvıyı iğneye ulaştırmaya yarayan ara bir boru hattıdır. Özel bir imalat ile yapılan tüplerin iç çapı 1 mm'den küçüktür.
- İğne; dış çapı 1 mm'dir. Tüp içerisine sıkı geçerek son kısımda damlatma yapılmaktadır.

Aşağıdaki şekilde cihaz üzerinde damlatma sisteminin yerleşimi gösterilmektedir. Cihazın en kısmında sabit olarak bulunmaktadır. Veri kablosu ile bilgisayara bağlanmaktadır.



Şekil 4.7 : Damlatma sistemi.

4.4.1 Şırınga Pompası

Şırınga sisteminde kritik olan nokta, damlacığın yüzeye sabit hacimde (10 µm) damlatılmasıdır. Şırınga pompası seçiminde; Damlatılmak istenilen sıvının hacmi ayarlanabilir olmasına dikkat edilmiştir. Pompa (Goldman Enjektör Pompa), Hacettepe Teknokent binasında yer alan Biais Ltd. Şti. Firmasından temin

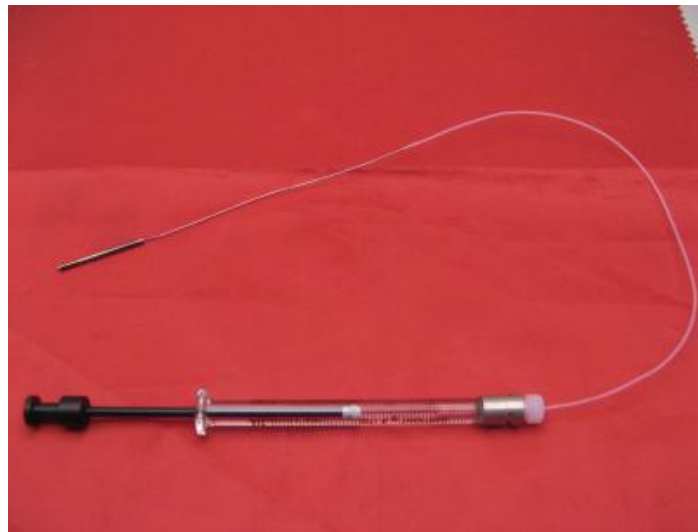
edilmiştir. Şırınga bu pompa üzerine takılmaktadır. Şırınga pompası üzerinden kontrol edildiği gibi, bilgisayar üzerinden de kontrol edilebilmektedir. Bilgisayar üzerinden sabit bir hacim damlası girilerek her zaman o hacimde veya istenilen hacimde pompanın damla damlatması sağlanabilmektedir. Şekil 4.8’de pompanın resmi gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Manüel kontrollü Goldman şırınga pompası [15].

4.4.2 Şırınga

Arçelik’te kullanılan eski “temas açısı ölçüm cihazı” (Krus G2) cihazında kullandığımız şırınga (HAM-81227, 1750 TLL with Slot) aynısı Hamilton firmasının Türkiye temsilci SEM A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Şekil 4.9’da şırınganın nasıl olduğu gösterilmiştir. Üzeri ölçeklendirilmiştir. Pompa, girilen damla hacimlerine göre, şırıngayı pompalayarak damlanın damlamasını sağlamaktadır.



Şekil 4.9 : Şırınga, iğne ve tüp.

4.4.3 Tüp

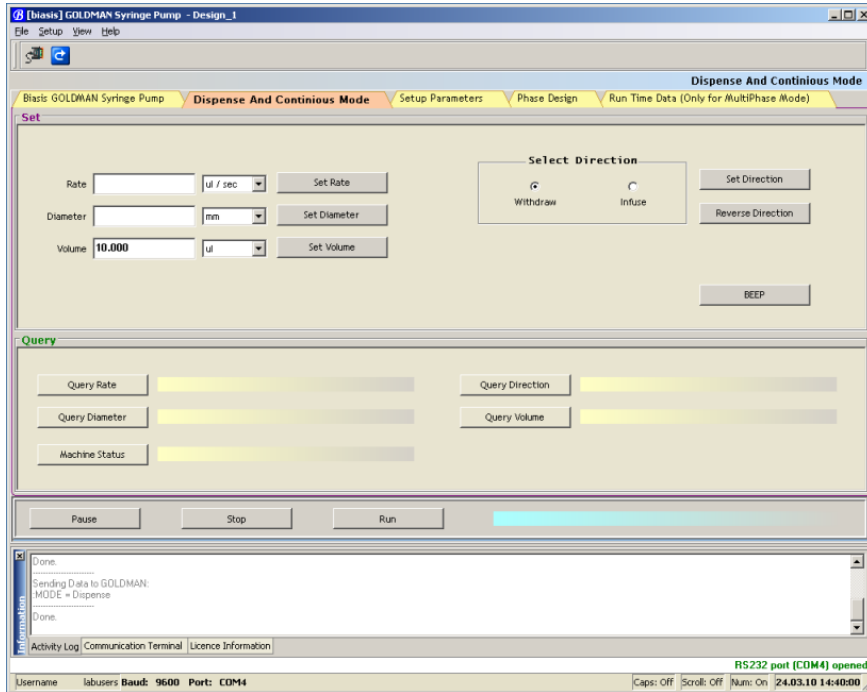
Mevcut ıslatma açısı (Krus G2) cihazında kullandığımız tüp aynısı, fakat farklı uzunlukta (HAM-90676, Tub PTFE 1xhub GA26x** 80 cm lenght) Hamilton firmasının Türkiye temsilci SEM A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Tüp seçiminde büyük boyuttaki (500mmx500mm) numunelerin her bölgesini taraması için 800 mm uzunlukta olmasına dikkat edilmiştir.

4.4.4 İğne

Mevcut ıslatma açısı (Krus G2) cihazında kullanılan iğnenin daha küçük boyda olanı seçilmiştir. (HAM-21026, SS 304 Gauge 26) Hamilton firmasının Türkiye temsilci SEM A.Ş. firmasından temin edilmiştir.

4.5 Damlatma Sisteminin Bilgisayar ile Kontrolü

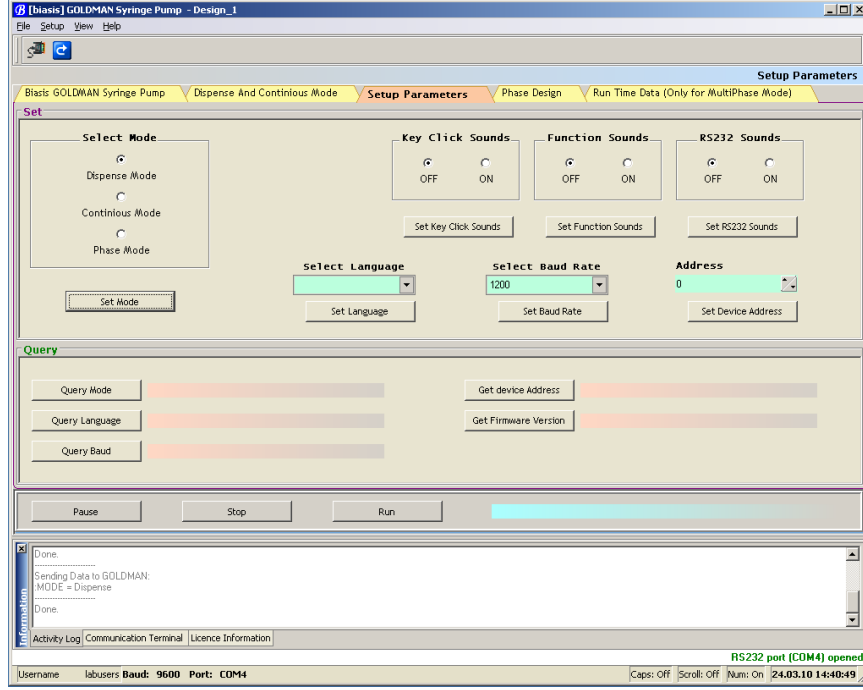
Aşağıdaki şekilde “GOLDMAN” şırınga pompasının programının ara yüzü gösterilmektedir. Burada şırıngayı pompalama işlemi veya doldurma işlemi yapılabilir. Programın iki ara yüzünde genellikle 10 ul olan damla hacmi ayarlaması yapılırken, program damlatma modunda (dispense mod) çalıştırılmaktadır.



Şekil 4.10 : Damla hacmi ayarı [15].

Damla hacmi ve mod ayarı yapıldıktan sonra, çalışma yönü olarak enjekte yönü seçilmektedir. Bu ayarlar bir kez ayarlandıği zaman her zaman sabit kalmaktadır.

İstenildiği zaman bu ayarlar değiştirilebilir. Daha sonra program üzerinden damlat (run) komutu verildiği zaman şırınga pompası numune üzerine belirlenen bir hacimde belirlenen sıvı ile bir tane damlat damlatmaktadır.

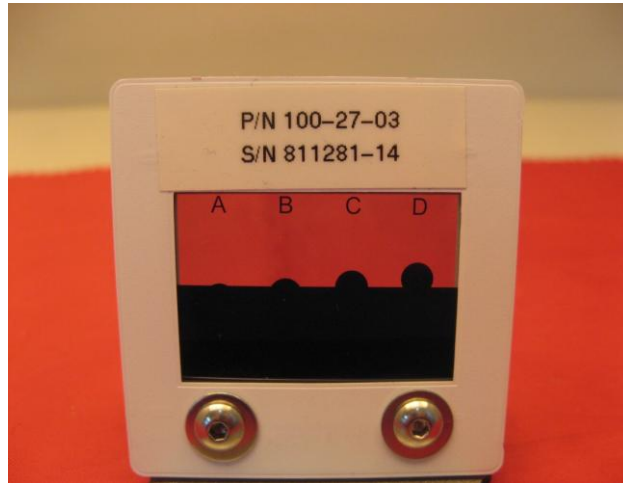


Şekil 4.11 : Program modu ve damlatma [15].

4.6 Kalibrasyon ve Ölçümler

4.6.1 Giriş

Rame-Hart firmasından temin edilen sertifikalı 30, 60, 90, 120°'lik kalibrasyon plakası kullanılarak cihaz kalibrasyonu yapılmıştır. Kullanılan kalibrasyon plakası şekil 4.12'de gösterilmektedir.



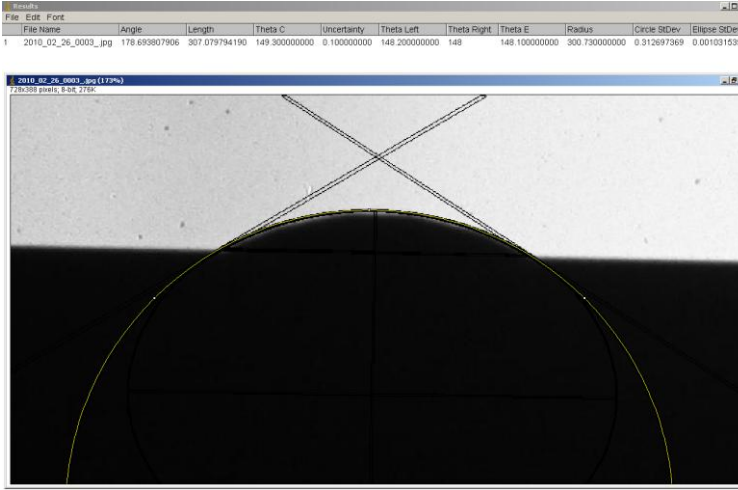
Şekil 4.12 : Kalibrasyon plakası [6].

30, 60, 90, 120°'lik kalibrasyon plakasında elde edilen değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Ölçümler Image-J programı kullanılarak yapılmıştır. Programdan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Program ekranında Theta “C” değerinin 180°'den çıkarılmış hali ıslatma açısını vermektedir.

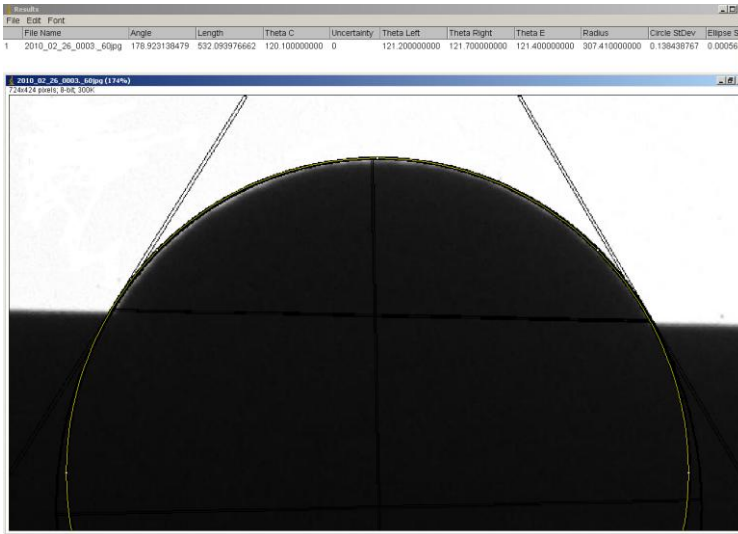
Kalibrasyon plakasında ölçülen değerler:

Çizelge 3.3 : Kalibrasyon ölçümleri.

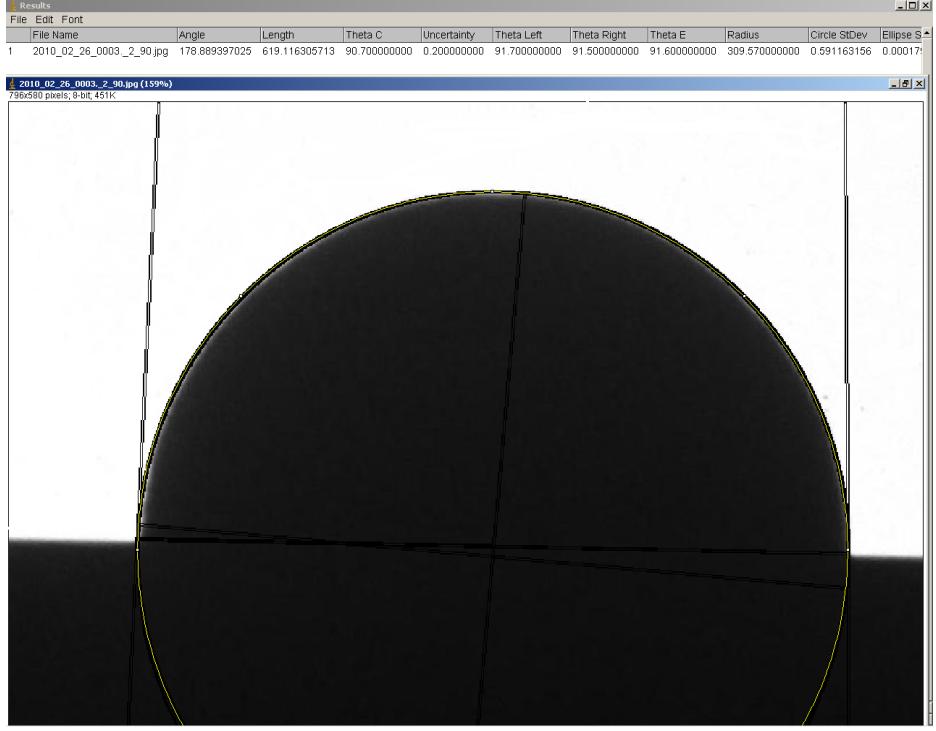
Gerçek Değer, Derece °	Ölçülen Değer, Derece °
30	30,7
60	59,9
90	89,3
120	119.2



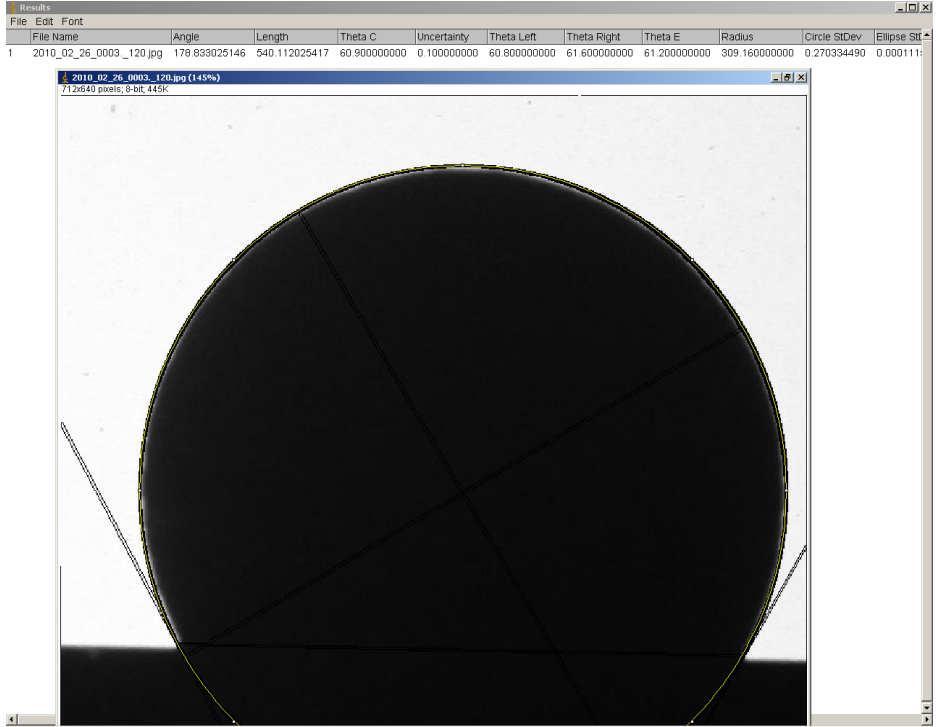
Şekil 4.13 : 30° ile elde edilen sonuçlar.



Şekil 4.14 : 60° ile elde edilen sonuçlar.



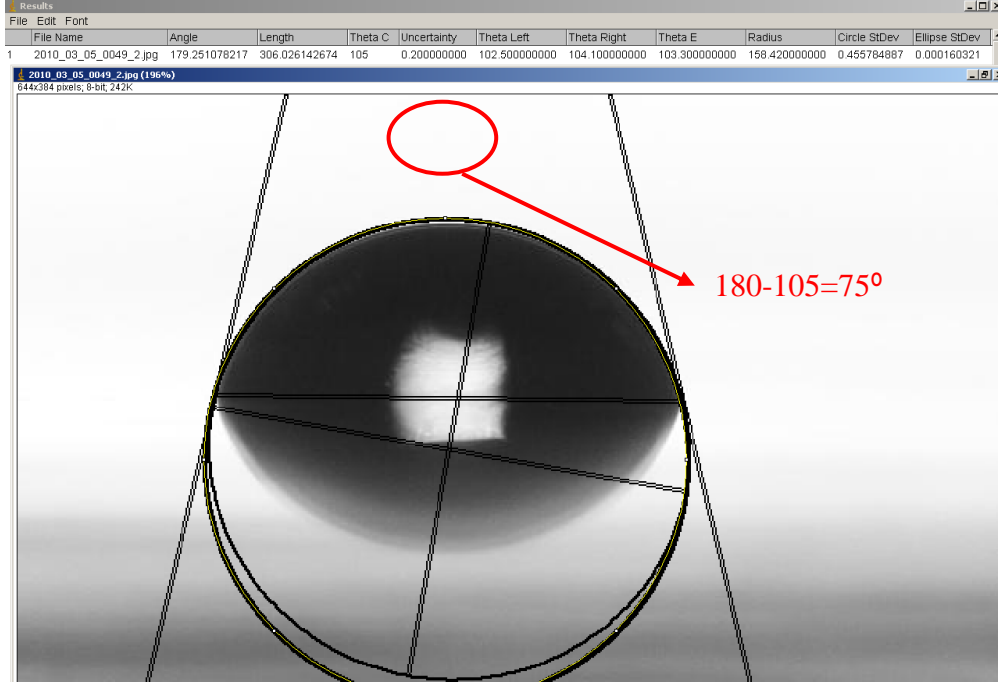
Şekil 4.15 : 90° ile elde edilen sonuçlar.



Şekil 4.16 : 120° ile elde edilen sonuçlar.

4.6.2 Öncül Ölçümler

Ölçüm “Image-J” programı kullanılarak yapılmıştır. Program ekranında Theta C değerinin 180°’den çıkarılmış hali ıslatma açısını vermektedir.



Şekil 4.17 : Temas açısı deneme ölçümü.

İstenildiği zaman bu ayarlar değiştirilebilir. Daha sonra program üzerinden damlat (run) komutu verildiği zaman şırınga pompası numune üzerine belirlenen bir hacimde belirlenen sıvı ile bir tane damlat damlatmaktadır.

5. CİHAZIN MEKANİK TASARIMI

Cihazın mekanik tasarımı, hareket mekanizmalarının sürtünme kaybı hesabı ve kritik kısımların mukavemet hesapları ve bu kesitlerin analizinden oluşmaktadır.

5.1 Giriş

Temas açısı ölçüm cihazı, daha öncede bahsedildiği gibi belirli bir hacimde bir akışkan damlasının herhangi bir yüzey ile yaptığı açıyı ölçmek için tasarlanmıştır. Sistem, hareketli kısım ve sabit kısım olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır.

Hareketli sistem;

- Hareketli kısım karkas yapısı ve bunun üzerinde
 - Şırınga hareket mekanizması
 - Numune tablası hareket mekanizması
 - Kamera ve ışık hareket mekanizması

ve bu mekanizmaları hareket ettiren elektrik motorlarından oluşmaktadır.

- Sabit kısım karkas yapısı ve bunun üzerinde
 - 45 derece hareket mekanizması
 - Elektrik kontrol kısmı
 - Elektrik sigorta kısmı gibi kısımlardan oluşmaktadır.

Temas açısı ölçüm cihazı tasarımı aşağıdaki kriterler temel alınarak yapılmıştır;

1. Şırınga sisteminin 3 ekseninde hareket etmesi (x,y,z)
2. Numune tablasının z ekseninde hareket etmesi, farklı numune kalınlıklarının tam olarak objektif ekseni üzerinde fotoğrafının çekilmesini sağlamaktadır.
3. Kamera ve ışık sisteminin beraber senkronize şekilde y ekseninde hareket etmesi ki, böylelikle her zaman ışık kameranın objektif ekseninde olsun. Bu durum damlanın fotoğrafının tam net bir şekilde çekilmesini sağlamaktadır.

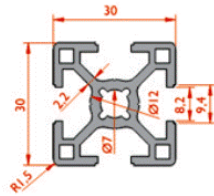
4. Cihazın bütün bu sistemlerini içeren hareketli sistem yapısının x ekseninde 45 derece dönmesini içermektedir.
5. Cihaz tekrar tasarlanarak yeniden yapılmasını sağlayan 500x500 mm numunelerin ölçümünü yapabilecektir.

5.1.1 Genel Cihazı Tasarımı ve Karkas Yapı

Temas açısı ölçüm cihazının ana yapısı alüminyum profilden oluşmaktadır. Bu yapıyı kendi içerisinde sabit kısım ve hareketli kısım olarak ikiye ayırabiliriz. Hareketli kısım kendi içerisinde bir Al profil montajıdır. Aynı şekilde sabit kısımda kendi içerisinde bir Al profil montajıdır.

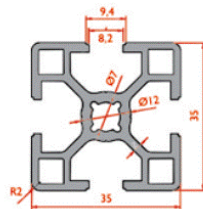
Alüminyum profilden bu kısımların üretiminde ölçü hassasiyetine çok dikkat edilmiştir. Özellikle tam 90 derece olacak kısımların tam 90 derece olabilmesi için köşebentler kullanılmıştır.

Temas açısı ölçüm cihazı karkas yapısını oluşturan alüminyum profiller; 30x30, 35x35, 45x45, 45x90, 30x60'lık alüminyum profillerin ebatları, metre başına kütlesi ve mukavemet değerleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Bu bilgiler tedarik edilen firmadan temin edilmiştir. [5]




Dış Ebat	Malzeme	L (m)	Atalet Momenti		Mukavemet Momenti		Alan	Kütle	Stok Kodu
			I_x	I_y	W_x	W_y			
30 x 30	6063	6	2,7 cm ⁴	2,7 cm ⁴	1,8 cm ³	1,8 cm ³	3,1 cm ²	0,84 Kg/m.	22
30 x 60	6063	6	19,7 cm ⁴	5,1 cm ⁴	6,6 cm ³	3,4 cm ³	5,6 cm ²	1,52 Kg/m.	26

Şekil 5.1 : Alüminyum Profil 30x30 [5].



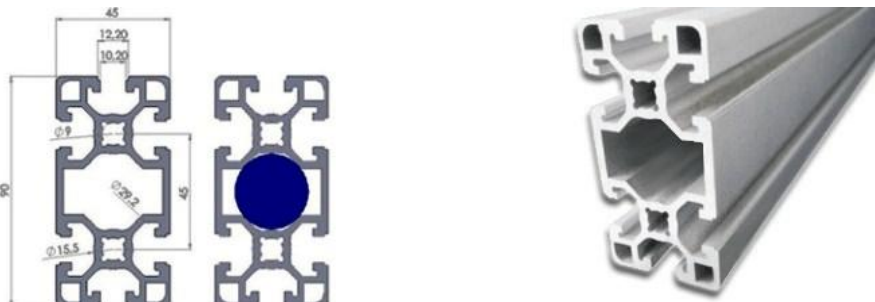
Dış Ebat	Malzeme	L (m)	Atalet Momenti		Mukavemet Momenti		Alan	Kütle	Stok Kodu
			I_x	I_y	W_x	W_y			
35 x 35	6063	6	5,7 cm ⁴	5,7 cm ⁴	3,7 cm ³	3,7 cm ³	3,6 cm ²	1,38 Kg/m.	23
35 x 35 L	6063	6	3,8 cm ⁴	3,8 cm ⁴	3,2 cm ³	3,2 cm ³	3,6 cm ²	0,95 Kg/m.	11

Şekil 5.2 : Alüminyum Profil 35x35 [5].



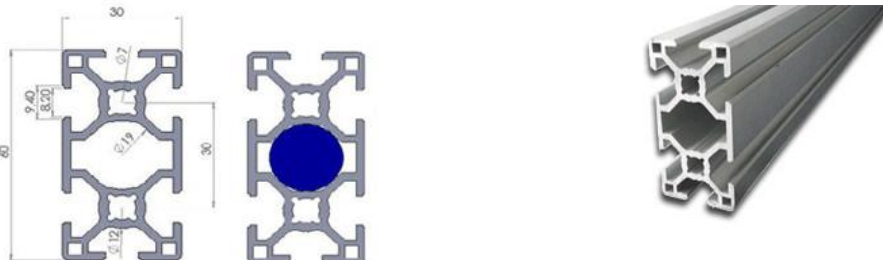
Dış Ebat	Malzeme	L (m)	Atalet Momenti		Mukavemet Momenti		Alan	Kütle	Stok Kodu
			I_x	I_y	W_x	W_y			
45 x 45	6063	6	13,8 cm ⁴	13,8 cm ⁴	6,1 cm ³	6,1 cm ³	7,5 cm ²	1,96 Kg/m.	21
45 x 45 L	6063	6	11 cm ⁴	11 cm ⁴	4,8 cm ³	4,8 cm ³	5,7 cm ²	1,40 Kg/m.	12

Şekil 5.3 : Alüminyum Profil 45x45 [5].



Dış Ebat	Malzeme	L (m)	Atalet Momenti		Mukavemet Momenti		Alan	Kütle	Stok Kodu
			I_x	I_y	W_x	W_y			
45 x 90	6063	6	123. cm ⁴	32.7 cm ⁴	22.5 cm ³	14.4 cm ³	15.6 cm ²	3.46 Kg/m.	25
45 x 90 (L)	6063	6	82.1 cm ⁴	23.9 cm ⁴	18.4 cm ³	10.7 cm ³	11.4 cm ²	2.52 Kg/m.	10

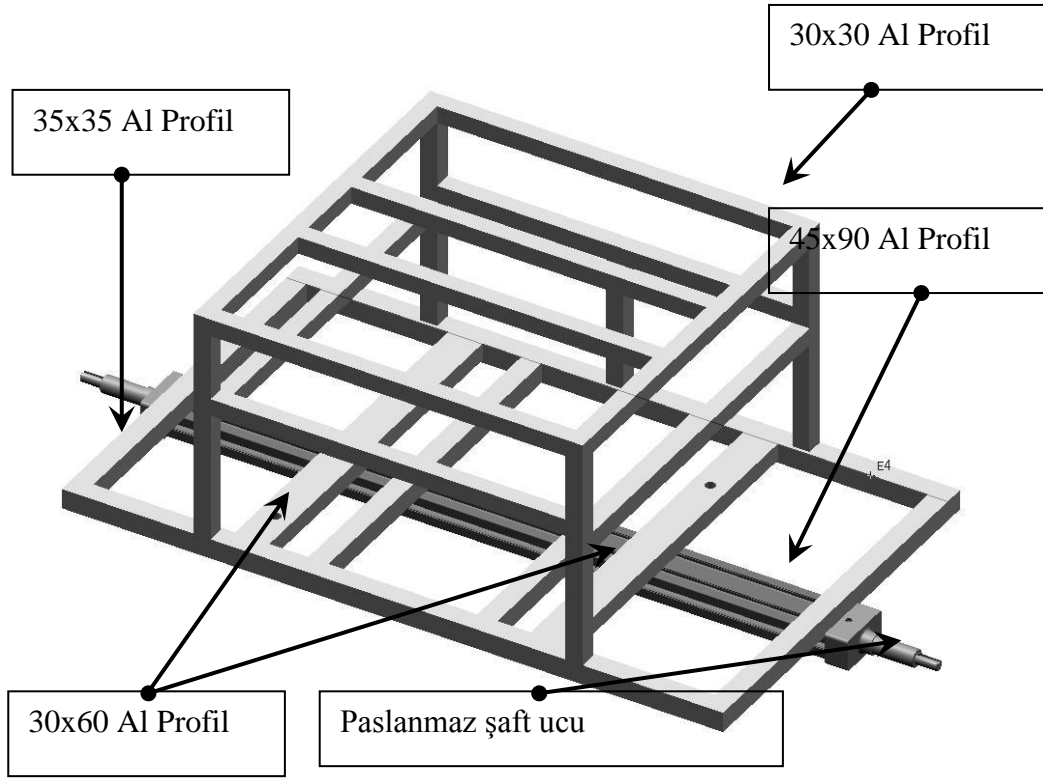
Şekil 5.4 : Alüminyum Profil 45x90 [5].



Dış Ebat	Malzeme	L (m)	Atalet Momenti		Mukavemet Momenti		Alan	Kütle	Stok Kodu
			I_x	I_y	W_x	W_y			
30 x 30	6063	6	2,7 cm ⁴	2,7 cm ⁴	1,8 cm ³	1,8 cm ³	3,1 cm ²	0,84 Kg/m.	22
30 x 60	6063	6	19,7 cm ⁴	5,1 cm ⁴	6,6 cm ³	3,4 cm ³	5,6 cm ²	1,52 Kg/m.	26

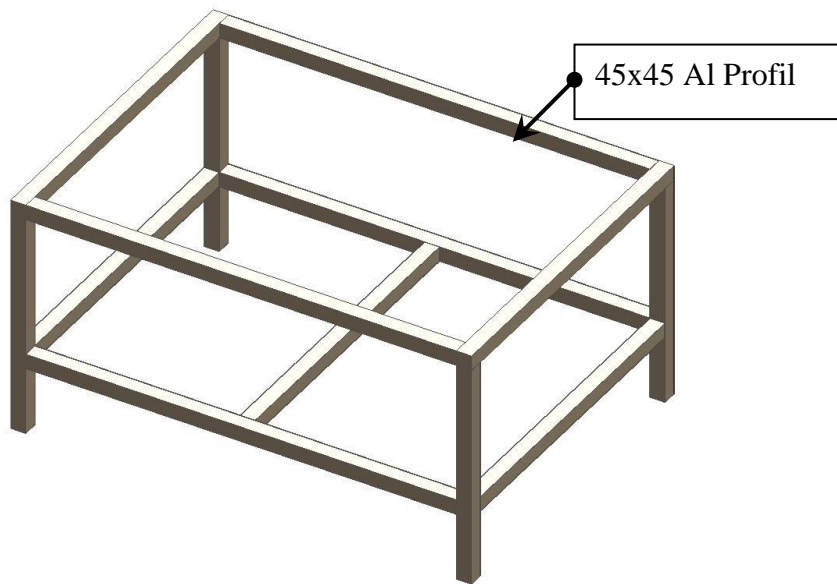
Şekil 5.5 : Alüminyum Profil 30X60 [5].

Aşağıda şekil 5.6'da hareketli karkasın Alüminyum profillerle montaj yapılmış 3D datası gösterilmiştir. Diğer mekanik sistemler bu karkas üzerine montajı yapılacaktır. Karkas için kullanılan alüminyum profillerin mukavemet değerleri ve ağırlıkları yukarıdaki çizelgelerde verilmiştir. Diğer sistemin mukavemet değerleri bu bilgilere göre sonuçlandırılmıştır. Bilgiler Doğuş kalıp sanayi A.Ş den alınmıştır. [5]

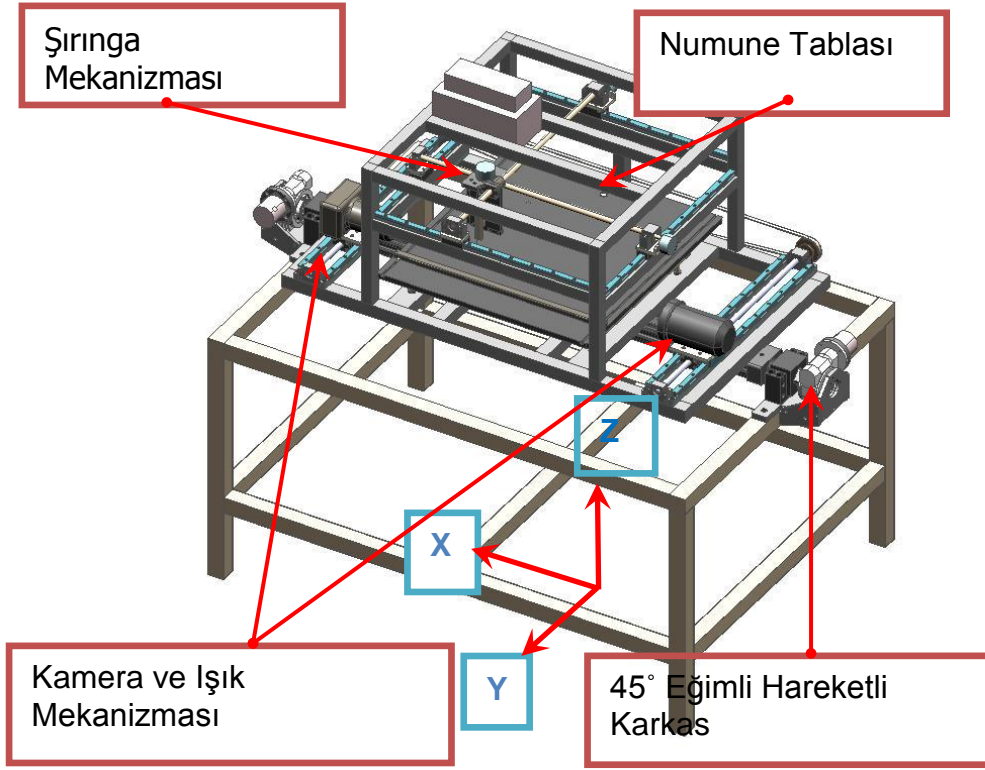


Şekil 5.6 : Hareketli karkas.

Sabit karkas ise aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Tamamen 45x45 alüminyum profillerden oluşmaktadır. Sabit karkasın ayakları yükseklik ayarlanabilir olarak yapılmıştır. Böylelikle yerin düzlemselliğinden bağımsız olarak düzlemsel olarak kalabilmektedir. Su damlasının açısının tam olarak doğru ölçülebilmesi için cihazın terazide olması önemlidir.



Şekil 5.7 : Sabit karkas.



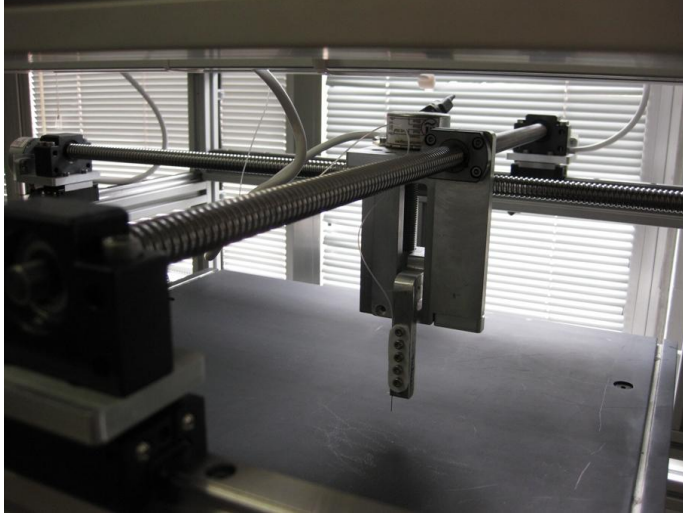
Şekil 5.8 : Genel cihaz görünümü.

Yukarıdaki şekilde cihazın tamamı gösterilmiştir. Cihazın karkas yapısı üzerinde bulunan sistemler;

Şırınga Mekanizması:

Şırınga mekanizması, şırınga sistemini numunenin üzerinde hareket ettirmek için kullanılmaktadır. Şırınga sistemi 500x500'lük bir numune üzerinde hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. X,Y ve Z ekseninde hareket edebilmektedir. X,Y eksenindeki hareketi sistemin numune üzerinde herhangi bir istenilen yere damlatma yapabilmek içindir. Z eksenindeki hareket ise bu damlanın, numuneye göre, makul bir düşey yükseklikten damlatılarak, damlanın hacmini koruyarak parçalanması engellenmektedir. Aksi takdirde damla parçacıklarına ayrılabilir. Şırınga mekanizması x,y ve z yöndeki hareketlerini aynı anda yapabilmektedir. Böylece kullanıcıya zaman kazandırmaktadır. 3 adet elektrik motoru tarafından şırınga hareket mekanizması tahrik edilmektedir. Bu motorlar cihaz üzerinde bulunan kontrol grubundaki kontrol butonları yardımıyla kontrol edilmektedir.

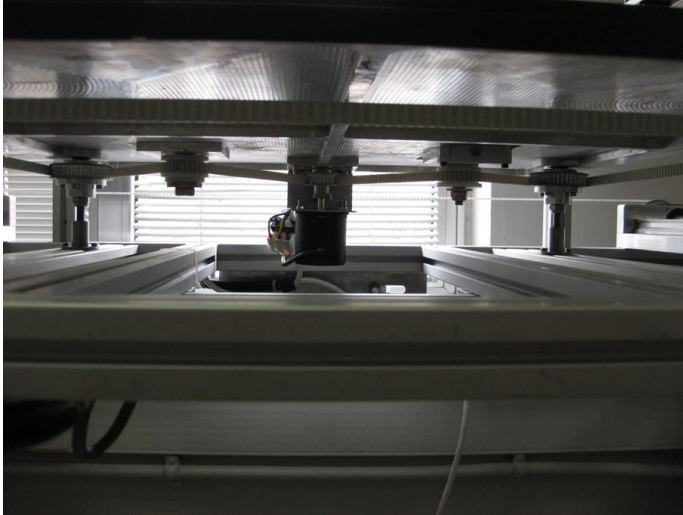
Şırınga mekanizması ile birlikte, sistem elemanları olan iğne ve tüp beraber hareket etmektedir. Şırınga hareket mekanizmasının motorlarına elektrik enerjisini aktarmak için ebat olarak kalın kablolar kullanılmıştır. Böylelikle, bu kabloların mekanizma içerisine sıkışması engellenmiştir.



Şekil 5.9 : Şırınga hareket mekanizması genel görünüm.

Numune Tablası:

Numune tablası sadece Z ekseninde hareket edebilmektedir. Numune tablasının Z yönünde hareket etmesi farklı numune kalınlıklarına karşı numune yüzeyini ışık ve kamera eksenine getirerek daha iyi görüntü alabilmek içindir. Bu şekilde bir sistem tercih edilmesi ile 20 mm kalınlığına kadar numuneler ölçülebilmektedir. Numune tablası 4 adet sonsuz vida üzerinde düşey yönde hareket etmektedir. Her sonsuz vidanın üzerinde bir dişli kayış kasnağı bulunmaktadır. Dişli kasnaklar bir dişli kayış yardımıyla senkronize hareket etmektedir.

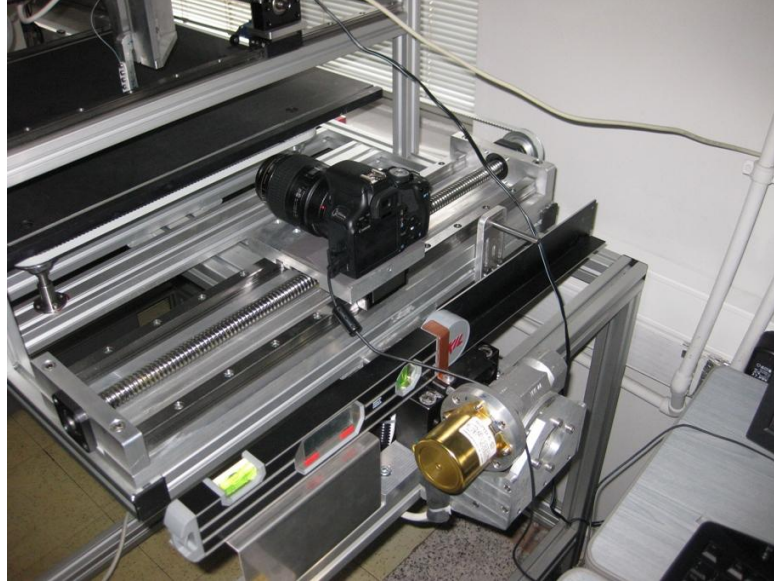


Şekil 5.10 : Numune tablası.

Kamera ve Işık Mekanizması:

Kamera ve ışık mekanizması kamera ve ışığın Y eksenini boyunca hareket etmesini sağlamaktadır. Kamera ve ışığın Y ekseninde hareketinin yanında bu ikilinin beraber hareket edebilmesi için birbirini senkronize hareket ettirecek ayrı bir mekanizma

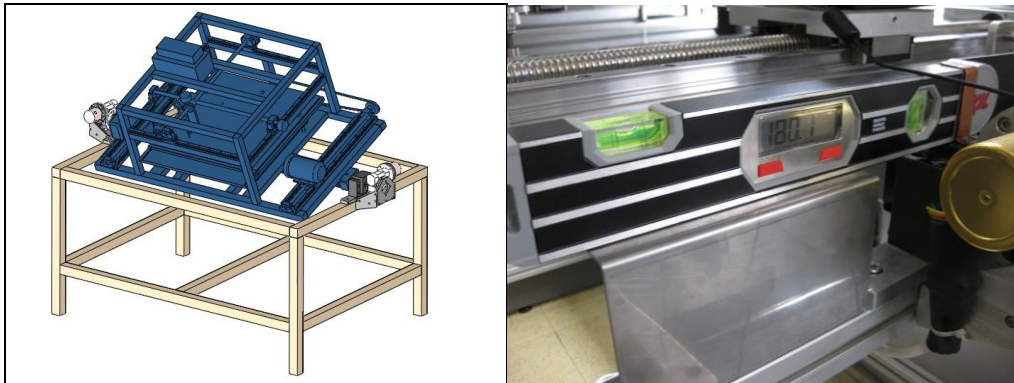
daha bulunmaktadır. Bu mekanizma bir dişli kayış mekanizmasıdır. Kamera ve ışığın Y ekseninde hareket etmesiyle numune üzerine damlatılan herhangi bir noktadaki herhangi bir damlacık kamera ve ışığın birlikte hareket etmesiyle ölçülebilmektedir.



Şekil 5.11 : Kamera hareket mekanizması.

45° Eğimli Hareketli Karkas:

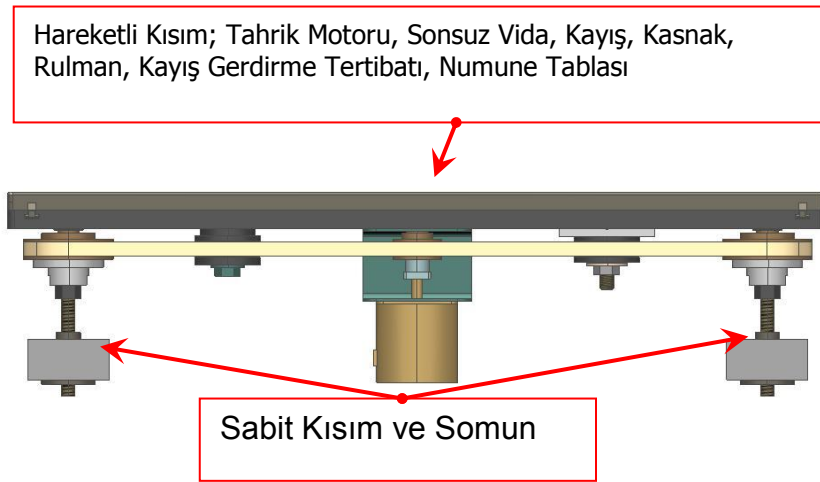
45 derece eğimli mekanizma ise bütün sistemi belirli açılarda eğerek damlanın yüzey üzerinde akmaya başladığı anı gözlemlemek için kullanılmıştır. Cihaz üzerindeki bu özellik cihazın ileride kullanılacak bir özelliğidir. Bununla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Aşağıdaki şekilde tüm sistemin nasıl eğildiği gösterilmiştir. Ölçüm sistemi ve numune beraber eğilerek, damlanın şekil değiştirmesi gözlenmektedir. Bu sistem yeni olup ilk denemler bu cihaz üzerinde yapılacaktır. Cihazın hareketli kısmının yatay düzlem ile ne kadar açı yaptığı bir dijital açı ölçer yardımıyla ölçülmektedir.



Şekil 5.12 : 45-derece eğim ve açı ölçer.

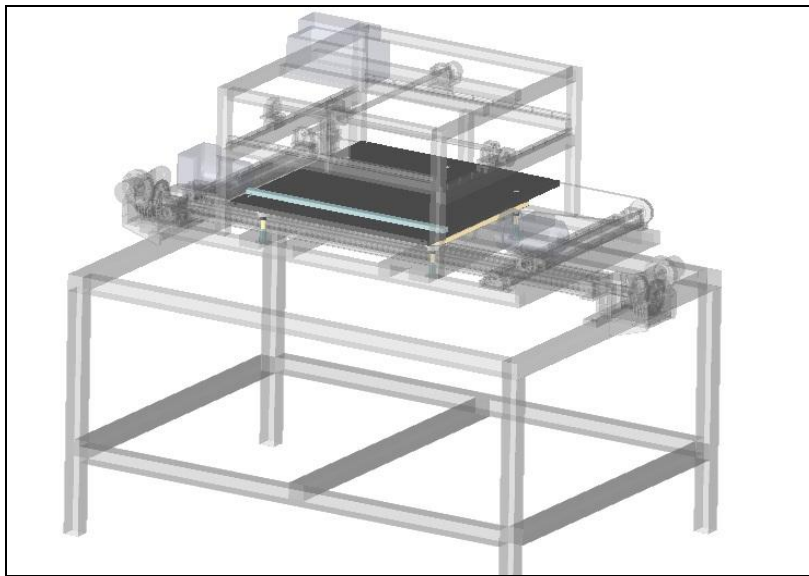
5.2 Numune Tablası

Aşağıdaki şekilde numune tablası gösterilmiştir. Elektrik Motorundan alınan dönme hareketi bir dişli kayış ile 4 adet sonsuz vidaya aktarılmaktadır ve böylece, sonsuz vidalar senkronize bir şekilde kendi eksenini etrafında dönerek numune tablasının aşağı yukarı hareket etmesini sağlamaktadır. Bütün sonsuz vidalar tek bir elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Numune tablası, ölçüm alınacak numunenin tutulduğu yerdir. Z ekseninde yüksekliği ayarlanabilmektedir.

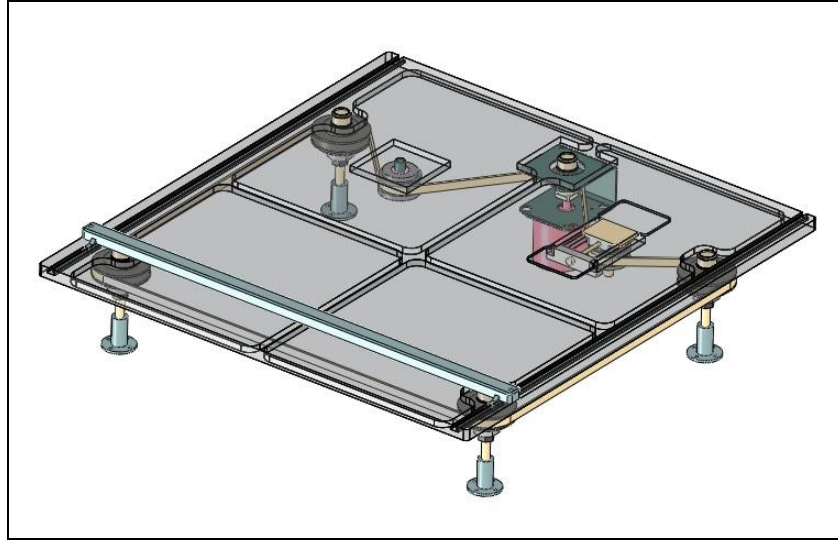


Şekil 5.13 : Numune Tablası Genel Görünüm.

Ayrıca, numune tablasının Z yönünde somunlardan kurtularak çıkmasını engellemek için sonlandırıcı elektriksiz butonlar kullanılmaktadır.



Şekil 5.14 : Numune tablası yerleşimi.



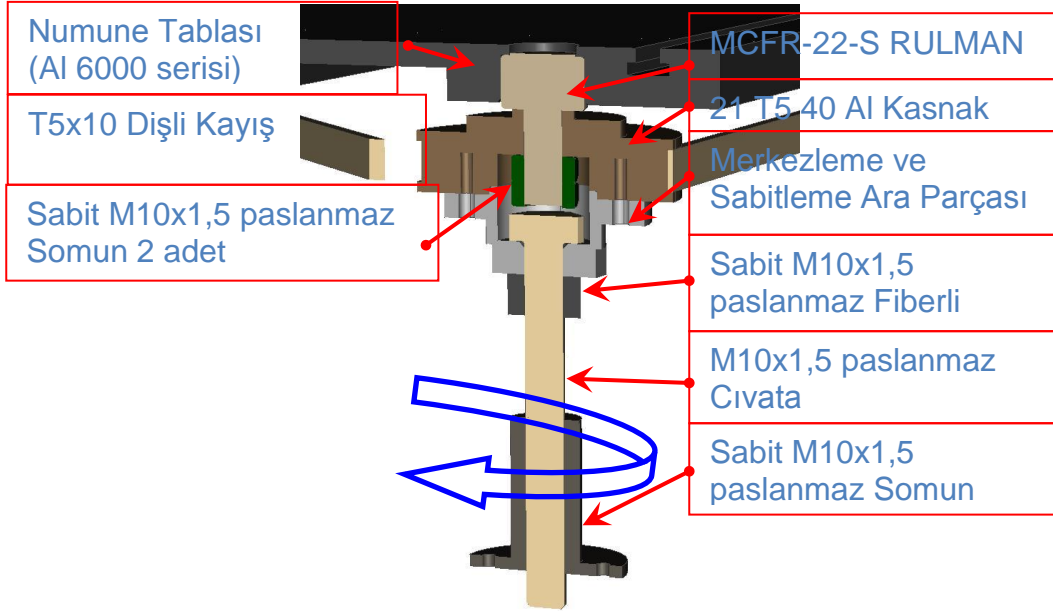
Şekil 5.15 : Numune tablası

Aşağıdaki şekilde 1/4 lük asansör grubunun parçaları ve çalışma prensibi gösterilmiştir. Dişli kayışın ok yönünde veya tersi yönde dönmesi durumunda “Somun” sabit olduğundan dolayı sistem düşey olarak hareket etmektedir. Dönmeden kaynaklanacak aksenal sürtünmeleri en aza indirmek için rulman kullanılmıştır. Burada rulman yüzey sürtünmesini azaltarak, numune tablasının düşey olarak yukarı-aşağı hareketinde, numune tablasının sarsılmasını engellemektedir. Buradaki yüzey sürtünmelerinin aşırı artması veya kontrolsüz olması durumunda, numune tablasının orta eksenine göre çevrilmeye zorlanacaktır. Buradaki 1/4'lük asansör sisteminin eksen kaçıklığı olmadan merkezlenebilmesi gerekmektedir. Eğer geometrik olarak dişli toleranslarından daha fazla bir toleransta tolerans oluşacak olursa asansör sisteminde kasmalara neden olacaktır. Bütün bu montaj işleminin geometrik olarak merkezlenebilmesi için,

- Rulmanın dik çakılması kontrol edilmiştir
- Geçmeler sıkı h7/H7 veya boşluksuz geçme kullanılmıştır.

Fiberli ve kontra somunlu sistemler kullanılarak, sonradan somun gevşemesinin önüne geçilmiştir.

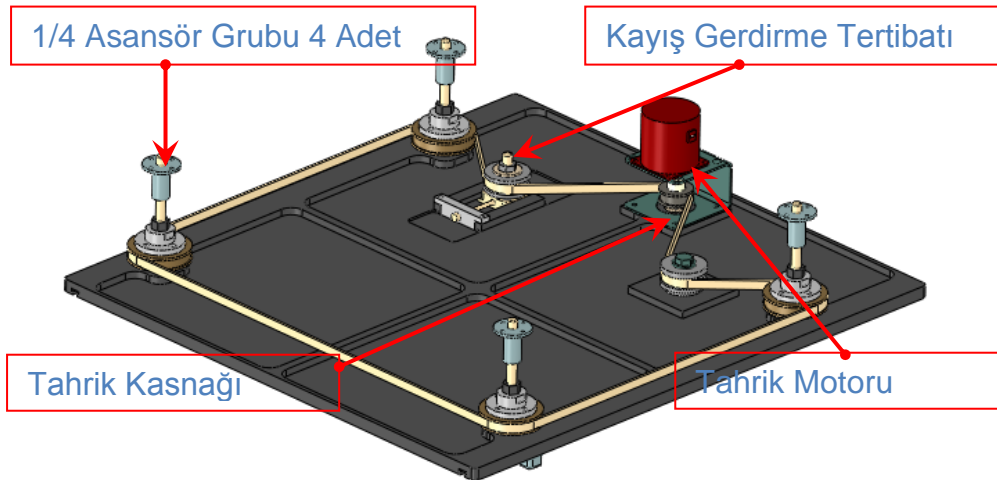
Sistem 30 RPM' lik bir elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Çevrim oranı $\frac{1}{2}$ olduğundan doyalı yükseltme şaftları 15 RPM ' lik bir dönme hareketi yapmaktadır. Yükseltme şaftının hatvesi 1,5 mm olduğundan dolayı, sistem düşey yönde 0,375 mm/s hızla hareket edebilmektedir.



Şekil 5.16 : 1/4 Asansör grubu.

Numune tablasının taşınabilmesi için 4 adet asansör grubu bulunmaktadır. Yukarıdaki şekilde bu asansör grubu gösterilmiştir. Dişli kayış 4 adet asansör grubunun kayış kaskağı, numune tablası tahrik grubu kaskağı ve kayış gedirme tertibatı makaralarından geçerek bütün asansör gruplarının aynı anda çevrilmesini sağlamaktadır. Böylelikle, birbirinin yapısal olarak aynı olan 4 adet asansör grubu, numune tablası tahrik grubu motorunun dönmesiyle, düşey olarak aşağı veya yukarı yönde hareket ettirmektedir.

Mekanizma aşağıdaki şekilde mekanizma görünümü olarak gösterilmektedir. Gösterildiği gibi dişli kayış bütün asansör gruplarından geçmektedir. Bundan dolayı, eşzamanı olarak numune tablası hareket edebilmektedir.



Şekil 5.17 : Numune tablası mekanizma görünümü.

Asansör grubu içerisinde, vida başı sürtünmesini en aza indirmek ve kontrollü hale getirebilmek için, aşağıda katalogu bulunan yuvarlanmalı yatak (Rulman) kullanılmıştır. Burada MCFR-22-S olarak sızdırmazlığı sağlanmış ve kapaklı rulman kullanılmaktadır.

Çizelge 5.1 : Numune Tablası Vida Başı Rulmanı [4].

METRIC CAMROL® BEARINGS

MCF® SERIES

STUD TYPE

Series MCF® — Unsealed, full complement

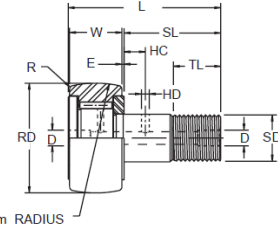
Series MCF-S — Sealed, full complement

Series MCFR® — Unsealed, cage type

Series MCFR-S — Sealed, cage type



MCF®



UNSEALED BRG. NO. (1)	SEALED BRG. NO. (1)	ROLLER DIA. RD NOM. (2)	ROLLER WIDTH W +0.00 -0.12	STUD DIA. SD NOM. (3)	STUD L'GTH. SL NOM.	OVERALL LENGTH L NOM.	ENDPLATE EXTENSION E NOM.	THREAD	THREAD LENGTH TL MIN.	OIL HOLE	
										(HC) NOM.	(HD) NOM.
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
MCFR-13	MCFR-13-S	13	9	5	13	23	0.6	M5x0.8	7.5	-	-
MCFR-16 MCF-16	MCFR-16-S MCF-16-S	16	11	6	16	28	0.6	M6x1	9	-	-
MCFR-19 MCF-19	MCFR-19-S MCF-19-S	19	11	8	20	32	0.6	M8x1.25	11	-	-
MCFR-22 MCF-22	MCFR-22-S MCF-22-S	22	12	10	23	36	0.6	M10x1	12	-	-

5.2.1 Numune tablası motor tork hesabı

Kabuller:

- Numune tablası ve üzerine konulan numune ağırlığı maksimum 150 N olarak belirlendi. Bu ağırlık içerisinde numune tablası, numune tablası hareket mekanizmaları ve numune bulunmaktadır.
- Yükseltme şaftı (cıvata) için M10x90 paslanmaz cıvatalar kullanılmaktadır.
- Vida hatvesi 1,5 mm.
- Sistemin tamamı eşleme bozukluğuna neden olmamak için bir adet sonsuz zaman kayışı ile tahrik edilmektedir.
- Tahrik sistemini numune tablası ile beraber z yönünde hareket etmektedir.

Sistem AC senkron reversible 220V 20W 5 kgf.cm@ 30RPM bir elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Çevrim oranı 1/2 dir. Yaklaşık 0,375 mm hassasiyette ayar yapılabilmektedir. Numune tablasının 20 mm et kalınlığındaki numuneleri test edebilmektedir. Tasarım kabullerinde 22 mm numune ölçebilecek şekilde numune tablasına hareket imkânı verilmiştir. Numune tablasını aşağı yukarı hareket ettiren elektrik motorunun moment değerini bulabilmek için;

- Sonuz vida sürtünme kaybı hesabı
- Vida yüzeyi (rulmanlarda oluşan) sürtünme kaybı hesabı
- Dişli kayış ve ek kasmalar nedeniyle oluşacak sürtünme kayıp hesabı yapılmıştır.

Sonsuz Vida Kayıp Hesabı:

Vidanın çalışma ilkesi, eğik düzlem ilkesine dayanır ve somunun sıkılması bir eğik düzlem üzerinde kaldırılmasına benzer. Bu benzerlik, vidanın ortalama çapına göre açınımı yapmak ve somunu herhangi bir parça olarak göstermek suretiyle elde edilir. Ayrıca hareket esnasında parça ile eğik düzlem arasındaki sürtünme, civata ve somun vidaları arasındaki sürtünmedir. [2]

Sürtünme kaybı hesaplamaları ¼ lük asansör grubu temel alınarak yapılmıştır. Bu grup üzerine bütün kuvvetlerin etki ettiği varsayılmıştır.

$F_{\text{ön}}$: 150 N (Numune ve numune tablası sisteminin bütün ağırlığı kabul edilmiştir.)

d_2 : M10 paslanmaz vida için 9,25 mm olarak alınmıştır.

d_0 : Vida başı sürtünme yüzeyi ortama çapı

M_{s1} : Vida dişlerinde olan sürtünme momenti

M_{s2} : Vida başı sürtünme momenti

M_{s3} : Yatak sürtünmeleri

$F_{\text{ön}}$: Dişli Kayış Gerdirme Kuvveti

F_t : Parçayı eğik düzlem üzerinde itmek için gereken kuvvet

F_n : Parçalar arasındaki normal kuvvet

μ : Çalışan yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı

β : Vida helis açısı

d_2 : Vida dişi ortalama çapı

Analitik yöntemde, düşey kuvvetlerin denge denklemi;

$$F_{\text{ön}} = F_n \cos \beta - \mu F_n \sin \beta \quad (5.1)$$

$$F_t = F_{\text{ön}} \tan(\beta + \rho') \quad (5.2)$$

$\mu = 0,15$ (çelik-çelik statik, yağlı sürtünme katsayısı) [8]

$\mu' = \frac{\mu}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$ Vida dişlerinin açısında dolayı normal kuvvetin değişiminin ifadesidir.

Sürtünme katsayısı yerine bu değer kullanılır.

$$\mu' = \frac{\mu}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (\alpha ; \text{vida diş açısı } \alpha=60^\circ) \quad \mu' = \frac{0,15}{\cos\left(\frac{60}{2}\right)} \cong 0,17 \quad (5.3)$$

$$\mu' = \tan \rho' \quad (5.4)$$

$$\rho' = \tan^{-1} \mu' \quad \rho' = \tan^{-1} 0,17 \quad (5.5)$$

Sürtünme açısı $\rho' = 9,6^\circ$ ve vidanın helis açısı $\beta = 2,95^\circ$ dir.

Bu sistemde helis açısı sürtünme açısından küçük olduğundan dolayı, sistem otoblokajlıdır. $\beta < \rho'$ (otoblokaj kuralı)

$$M_{s1} = F_{\text{ön}} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\beta + \rho') \quad (5.6)$$

$$M_{s1} = 150 \cdot \frac{9,25}{2} \cdot \tan(2,95 + 9,6)$$

Cıvata ve somun yüzeylerinin birbiri üzerinde hareketinin sonucunda, bu yüzeylerdeki sürtünmeden kaynaklı oluşan sürtünme momenti değeri aşağıdadır.

$$M_{s1} = 155 \text{ Nmm}$$

Vida başı sürtünmesinde, sürtünme bilezik şeklinde olan bir yüzeyde meydana gelir, aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Temas yüzeylerindeki basınçların yerine tek bir kuvvet konulursa, vida başlarında oluşan sürtünme momenti; burada d_0 yukarıda bahsedildiği gibi temas yüzeylerinin ortalama çapıdır. μ_0 ise buradaki temas eden yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısıdır.

$$M_{s2} = \mu_0 \cdot F_{\text{ön}} \cdot \frac{d_0}{2} \quad (5.7)$$

$$M_{s2} = 0,1 \cdot 150 \cdot \frac{16}{2} = 120 \text{ Nmm}$$

Sistemin tamamı bir dişli kayış ile tahrik edildiğinden dolayı dişli kayış üzerinde tutunabilme için bir gerdirme kuvveti uygulanmaktadır. Gerdirme kuvvetinden dolayı yataklarda radyal sürtünme momenti oluşmaktadır. Sistem üzerinde birbirinin benzeri 7 adet yataklama bulunmaktadır. Bunlar; 4 adet asansör grubu yatağı, 1 adet tahrik kasnağı yatağı, 1 adet gerdirme makarası yatağı ve 1 adet yönlendirme makarası yatağıdır.

Kayış üzerindeki gerilme 6 N ölçülmüştür.

μ_y : Yataklardaki sürtünme katsayısı 0,1 alınmıştır.

F_g : Dişli kayışın gerdirmesinden kaynaklanan kayış gergi kuvvetidir.

d_{ort} : Yatakların ortama çapı, 15 mm.

f: Yatak sayısı, 7 adet yatak bulunmaktadır.

$$M_{s3} = \mu_y \cdot F_g \cdot \frac{d_{ort}}{2} \cdot f \quad (5.8)$$

$$M_{s3} = 0,1 \cdot 30 \cdot \frac{15}{2} \cdot 7 = 157,5 \text{ Nmm}$$

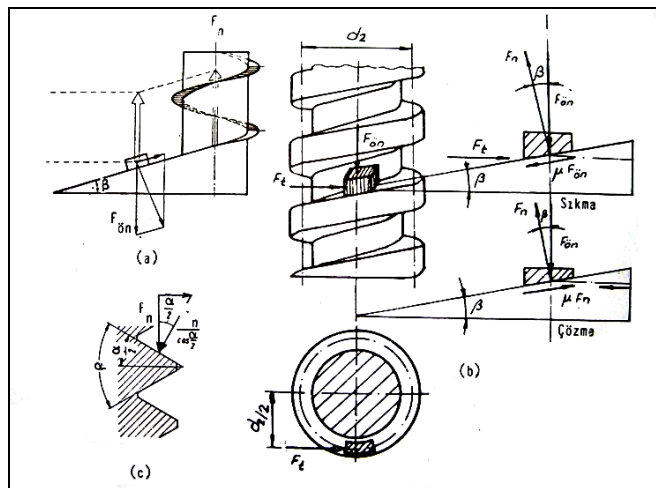
Bu sistemde oluşan toplam sürtünme momenti;

$$M_{stop} = M_{s1} + M_{s2} + M_{s3} \quad (5.9)$$

$$M_{top} = 155 + 120 + 157,5 = 432,5 \text{ Nmm}$$

Maksimum ağırlıkta motor tahrik motoru üzerine etkiyen sürtünme momenti, 432,5 Nmm'dir. İmalat kaynaklı hatalardan dolayı sistem üzerinde oluşacak eksen kaçıklıkları ve sistemin 45° eğimli durumunda ayrıca gelecek kuvvetler nedeniyle (eğer 45 derece eğimli durumda numune tablası hareket ettirilirse) 2 kat emniyetli bir motor momenti seçilmiştir. Bu durumda;

Motor momenti, çevrim oranı 1/2 olduğundan dolayı, 432,5 Nmm'den daha büyük olmalıdır.



Şekil 5.18 : Vida Hesaplamaları [2].

Aşağıda bu çalışmada için yapılmış bir Excel programında oluşturulmuş çizelge bulunmaktadır. Excel çizelgesinde;

- Hatve (mm)
- Nominal çap (mm)
- Cıvata somun temas yüksekliği (mm)
- Sistem üzerindeki yük (N)
- Sürtünme katsayısı
- Vida açısı

değerler girdi olarak girildiği zaman,

- Sıkma momenti (Nmm)
- Sıkma verimi

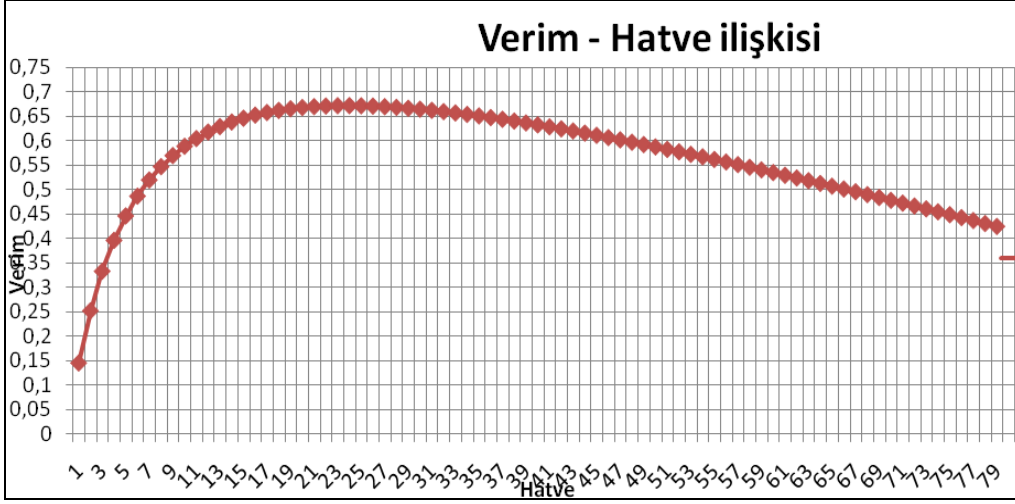
gibi değerler çıktı olarak alınabilmektedir. Ayrıca, cıvata yüzeyi sürtünme hesapları için, sürtünme katsayısı, ortalama çap ve yük girildiği zaman yüzeyde oluşacak sürtünme kayıpları bulunmaktadır.

Çizelge 5.2 : Sonsuz Vida Kayıp Hesabı

Sıkma Momenti Hesaplamaları		
Değişkenler		Değerler
Hatve (mm)	h	1,50
Helis Açısı	β	2,96
Nominal Çap (mm)	d	10
Cıvata Somun Temas Yüksekliği (mm)	t_2	0,75
Sistem Üzerindeki Yük (N)	F_{on}	150,00
Sürtünme Katsayısı	μ	0,170
Hesaplananlar		
Ortalama Çap (mm)	d_2	9,25
Eğik Düzlem İçin Kuwet (N)	F_1	33,55
Sıkma Momenti (Nmm)	M_{s1}	155,15
Sıkma Verimi	η_s	0,23

Cıvata Baş Sürtünme Kaybı Hesaplamaları		
Değişkenler		Değerler
Ortalama Çap (mm)	d_0	16,00
Sistem Üzerindeki Yük (N)	F_{on}	150,00
Sürtünme Katsayısı	μ	0,10
Hesaplananlar		
Sıkma Momenti (Nmm)	M_{s2}	120,00

Aşağıdaki grafik ise cıvatanın verim eğrisini göstermektedir. Buradaki verim eğrisi 0,17 sürtünme katsayısı içindir. Kullanılan standart M10 cıvatanın verim eğrisi aşağıda şekil 5.19'da olduğu gibidir. Verim, sürtünme katsayısına da bağlı olarak 23 mm hatveden sonra düşmeye başlamaktadır. Buradaki verimin düşme sebebi, vida helis açısının çok fazla artmasından dolayı, vidayı çevirmeye çalışan teğetsel kuvvetin aldığı yola oranla daha fazla artmasından kaynaklanmaktadır. 1,5 mm vida hatvesi için 0,23 verimle sistem çalışmaktadır.



Şekil 5.19 : Verim Hatve İlişkisi

5.2.2 Motor özellikleri

Aşağıda sistemin düzgün çalışması için seçilmiş olan motor özellikleri bulunmaktadır. Bunlar;

- Motorun sabit bir hızda dönmesi, yüke bağlı hız değişiminin az olması veya olmaması,
- Motorun seçilebilir olarak saat yönünde veya saat yönünün tersi yönde dönmesi,
- Sessiz çalışması,

Bu özellikler göz önüne alındığı zamana AC senkron motor seçilmiştir. Aşağıdaki çizelgede motor özellikleri bulunmaktadır.

Çizelge 5.3 : Numune Tablası Motor Özellikleri [12].

AC Senkron Motor (CW/CCW)			
Ana Spekler	Şaft Çıkış Torku (Nmm)	Şaft Çıkış Hızı (RPM) (-/+%2)	Mekanik Güç (N.m/s=watt)
	500,0	30	1~2
Genel Motor Speklere		Değerler	
	Voltaj	220-230 V	
	Frekans	50/60 Hz	
	Güç	10 W(Approx.)	
	Dönme Yönü	Saat yönünde&Saat yönünün tersi	
	Ömür	20000 Saat (Approx.)	
	Sürekli Çalışma	20 Minute max.	
	Çap	60 mm max.	
	Boy	60 mm max.	

Numune tablası dişli kayış hesabı:

Dişli kayış hesabı, dişli kayışın “b” genişliği ile ilgilidir. Sistem üzerindeki hesaplamalar en küçük kasnak olan pinyon kasnağı, aynı zamanda tahrik kasnağı olarak kullanılmaktadır, seçilmiştir.

Çalışma faktörü:

Dişli kayışlar için çalışma faktörü hesabı aşağıdaki bağlantı ile verilmektedir.

$$K_0 = K_{01} + K_{02} + K_{03} \quad (5.10)$$

Çizelge 5.4'ten yararlanılarak,

K_{01} günlük 8 saate kadar çalışmalardan “1” olarak alınabilir. Cihaz günlük 8 saatten az çalışmaktadır.

K_{02} motor tipi elektrikli olduğu için “0,25” olarak alınabilir. Sistemi hareket ettirmek için AC eşzaman elektrik motoru seçilmiştir. Motor sabit bir hızla çalıştığı için darbeleri yükler oldukça azdır.

K_{03} genel ve hafif makineler grubu olduğu için “1” alınmaktadır. Bu değerler göz önüne alınırsa

$$K_0 = 1+0,25+1 = 2,25 \text{ alınmaktadır.}$$

Çizelge 5.4 : Dişli Kayış Çalışma Faktörü [2].

$K_0 = K_{01} + K_{02} + K_{03}$			
$K_{01} = 1$ günde 8 saat kadar çalışma		İş makinası	K_{03}
$K_{01} = 1,2$ günde 20 saate kadar çalışma			
Motor tipi	K_{02}		
Elektrik	0,25	Hafif mekanizmalar, genel	1,0
Buhar türbini	0,25	Takometreler ve dişli mekanizmaları	1,0
İçten yanmalı motor		Ev makinaları cihazları	1,1
1 silindirli	0,6	Büro makinaları ve cihazları	1,1
2...3 silindirli	0,5	Vantilatörler, hafif jeneratörler	1,2
4...5 silindirli	0,4	Transport ve kaldırma makinaları	1,3
6 veya 6 dan daha	0,3	İçten yanmalı makinaları	1,3
çok silindirli		Hafif takım tezgahları	1,4
Hidrolik	0,4	Ağır tomruk işleme tezgahları	1,4
		Yoğurma makinaları	1,4
		Karıştırıcılar, yıkama makinaları	1,4
		Taşıma makinaları	1,5
		Dokuma tezgahları, kaynak jeneratörleri	1,5
		Ağır takım tezgahları	1,6
		Ağır vantilatörler ve köprüler	1,6

Emniyet Basıncı:

Seçilen elektrik motoru 30 rpm ile çalışmaktadır. Pinyon kasnak çapı 31 mm olduğu için,

V : Çevresel Hız (mm/s)

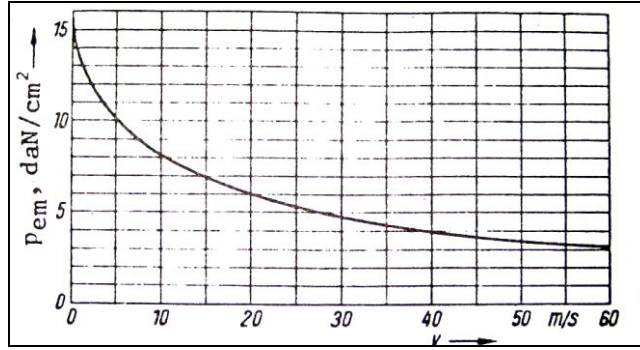
ω : Kasnak Dönme Hızı (RPM)

R : Kasnak Yarı Çapı (mm)

$$\text{Dönen Kasnağın Çevresel Hızı } V = \omega 2R \quad (5.11)$$

$$V=(30.2.\pi/60)2.(31/2) = 152 \text{ mm/s} \sim 0,15 \text{ m/s} \text{ dir.}$$

Dişli kayışlarda emniyet yüzey basıncı çizelgesundan 0,15 m/s çevresel hıza göre $P_{em} \sim 14 \text{ daN/cm}^2$ olarak kabul edilebilir.



Şekil 5.20 : Dişli Kayışlarda Yüzey Emniyet Basıncı [2].

Teğetsel Kuvvet:

F_t : Kayışa Etkiyen Teğetsel Kuvvet (Kg)

M_b : Maksimum Sürtünme Momenti (Kgf. cm)

d_0 : Kayışın Pinyon üzerindeki Sarım Çapı (cm)

$$F_t = \frac{2M_b}{d_0} \quad (5.12)$$

Teğetsel kuvvet sistem üzerindeki maksimum momentin taksimat dairesi yarıçapına bölünmesi ile bulunmaktadır. Burada alınan moment değeri elektrik motorunun verebileceği maksimum moment değeridir. 500 Nmm alınmaktadır.

$$F_t = \frac{2.5}{3,1} \sim 3,2 \text{ Kg}$$

Kavrama Halindeki Dişli Sayısı:

Kavrama halinde dişli sayısı, pinyon kasnakta, motor tahrik kasnağındaki kavrama halinde olan dişli sayısı olarak alınmıştır. Dişli kayış çizelgesundan 21 T5 20 pinyon kasnak olarak seçilmiştir. Kasnak Al kasnak olarak seçilmiştir. Sistemde polimer (termoplastik) kasnaklarda seçilebilir veya imal edilebilirdi. Alüminyum kasnak kullanımı yaygın olduğu için Al kasnak seçilmiştir.

z_k : Kavrama Halindeki Dişli Sayısı. β_1 : Kayış Sarım Açısı (Radyan)

z_1 : Pinyon Kasnak Diş Sayısı

$$z_k = z_1 \frac{\beta_1}{2\pi} \quad (5.13)$$

$$z_k = 20 \frac{\pi/2}{2\pi} \quad \text{Sarım açısı } 90^\circ \text{ olduğundan dolayı, bu açının radyanı } \pi/2 \text{ olarak}$$

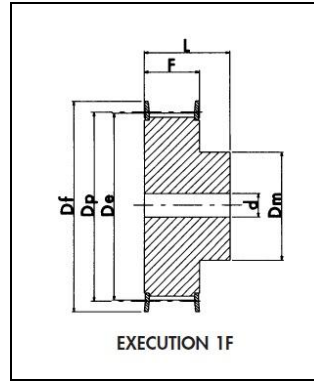
hesaplamalarda kullanılmıştır.

$z_k = 5$ bulunmaktadır.

Aşağıdaki işaretlenmiş olan kasnaklar seçilmiştir. 21 T5 20 olan kasnak pinyon kasnağı olarak, 21 T5 40 ise asansör mekanizması hareket kasnağı olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.5 : Dişli kayış kasnağı çizelgesi [5].

T5- 5 MM HATVE DİŞLİ KAYIŞ (10 MM KAYIŞ GENİŞLİĞİ İÇİN)								
Tanımlama	Diş Sayısı	Dp	De	Df	Dm	F	L	d
21 T5 10	10	16.05	15.05	19.5	8	15	21	-
21 T5 12	12	19.25	18.25	23.0	11	15	21	-
21 T5 14	14	22.45	21.45	25.0	13	15	21	-
21 T5 15	15	24.05	23.05	28.0	16	15	21	6
21 T5 16	16	25.06	24.60	32.0	18	15	21	6
21 T5 18	18	28.80	27.80	32.0	20	15	21	6
21 T5 19	19	30.40	29.40	36.0	22	15	21	6
21 T5 20	20	32.00	31.00	36.0	23	15	21	6
21 T5 22	22	35.15	34.15	38.0	24	15	21	6
21 T5 24	24	38.40	37.40	42.0	26	15	21	6
21 T5 25	25	39.95	38.95	44.0	26	15	21	6
21 T5 26	26	41.60	40.60	44.0	26	15	21	6
21 T5 27	27	43.20	42.20	48.0	30	15	21	8
21 T5 28	28	44.75	43.75	48.0	32	15	21	8
21 T5 30	30	47.95	46.95	51.0	34	15	21	8
21 T5 32	32	51.10	50.10	54.0	38	15	21	8
21 T5 36	36	57.45	56.45	64.0	38	15	21	8
21 T5 40	40	63.85	62.85	66.5	40	15	21	8
21 T5 42	42	67.00	66.00	70.0	40	15	21	8



Şekil 5.21 : Dişli kayış kasnak ölçüleri [4].

Kayış Genişliği Hesabı:

K_0 : Çalışma Faktörü

F_t : Teğetsel Kuvvet (Kg)

P_{em} : Yüzey Emniyet Basıncı (Kg/cm²)

z_k : Temas Halindeki Dişli Sayısı

h_z : Dişli Kayış Diş Yüksekliği (cm)

b : Kayış Genişliği (cm)

$$b \geq \frac{K_0 \cdot F_t}{z_k \cdot h_z \cdot P_{em}} \quad b \geq \frac{2,25 \cdot 3,2}{5,0 \cdot 12,14} = 0,85 \text{ cm} \quad (5.14)$$

Piyasada standart dişli kayışlara göre kayış seçimi yapılacaktır. Yukarıdaki hesaplamalar doğrultusunda, 8,5 mm den büyük olmalıdır. Bundan dolayı 10 mm

seçilmiştir. 2245 mm uzunluğunda eklemeli (sonsuz) kayış kullanılmaktadır. Kayış malzemesi PU ve çelik tel katkılıdır.

Çizelge 5.6 : Kayış genişliği hesabı

Kayış Genişliği Hesabı	
Değişkenler	Değerler
Çalışma Faktörü (K_0)	2,25
Yüzey Emniyet Basıncı (P_{em}) (Kgf/cm ²)	14
Teğetsel Kuvvet (Ft) (Kgf)	3,1
Momet (M_b) (Kgf.cm)	5
Taksimat Dairesi Çapı (d_0) (cm)	3,1
Kavrama Halindeki Diş Sayısı (z_k)	5
Diş Yüksekliği (h_z) (cm)	0,12
Kayış Genişliği (b) (cm)	0,83

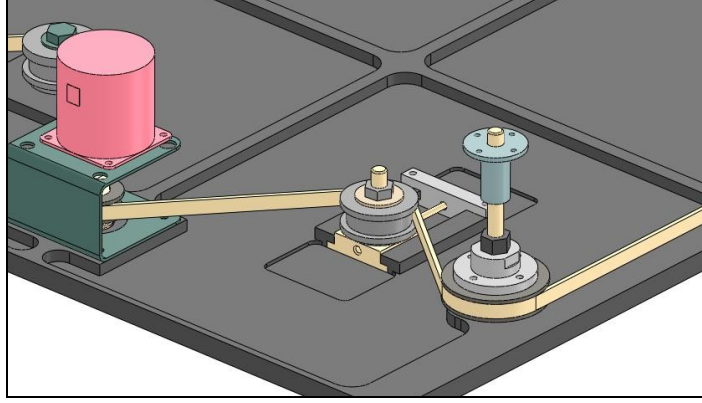
Aşağıdaki çizelgede firmadan alınmış dişli kayış özellikleri bulunmaktadır. Seçilen 10 mm T5 kayış sistem üzerinde oluşacak yükleri taşıyabilmektedir. Normal boydan kesilen dişli kayış 2245 mm boy için sonsuz kayış haline getirilmiştir. İşlem bir gün boyunca PU dökülerek kalıp içerisinde bekletilerek yapılmaktadır.

Çizelge 5.7 : Dişli kayış özellikleri [14].

Dişli Kayış Özellikleri	
Shore	92°A
Katkı	0,3 mm Çelik iplikler
Genişlik Toleransı	$\pm 0,5$ mm
Yükseklik Toleransı	$\pm 0,5$ mm
Uzunluk Toleransı	$\pm 0,5$ mm/m
Metre Başı Ağırlık	24 gr/10 mm kayış genişliği için
Minumum Kasnak Diş Sayısı	10
Kasnak Kasnak Çapı	15,05
Gergi Makarası Çapı	30 mm
Maksimum Çekme Dayanımı	310 N (10 mm Kayış Genişliği)

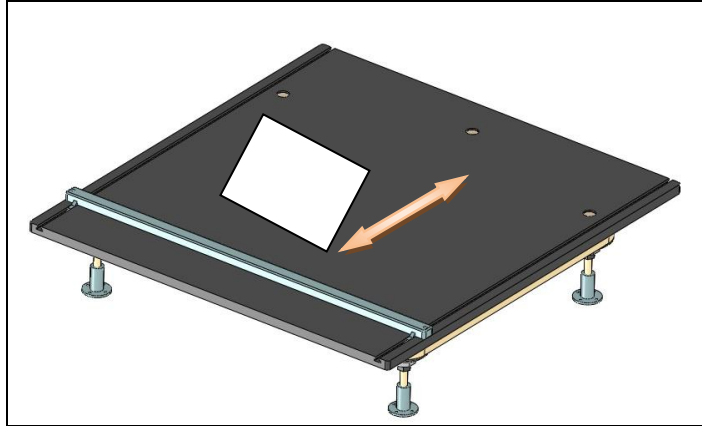
5.2.3 Numune tablası dişli kayış gerdirme tertibatı

Aşağıdaki şekilde numune tablası kayış gerdirme tertibatı gösterilmektedir. Bir gerdirmeye kasnağıyla sabit bir gerdirmeye yapılmıştır. Yay mekanizmalı kayış gerdirmeye elemanları kullanılmamıştır. Gerdirmeye kasnağı hem kayışı gerdirmekte hem de motor miline bağlı Pinyon dişlide kayış sarım açısını arttırmaktadır. Pinyon dişlideki sarım açısının arttırılması kavrama halindeki dişli sayısını arttırmak için yapılmıştır.



Şekil 5.22 : Numune tablası kayış gerdirmeye tertibatı.

Aşağıdaki şekilde ise numune tutucu gösterilmiştir. Numune tutucu belirlenen ok yönünde hareket edebilmektedir. Böylece cihazın 0-45 derece arasında eğiminde numunenin tabla üzerinden düşmesi engellenmektedir. Numunenin küçük veya büyük olması durumunda, tabla üzerinde tutunması ve merkezlenmesi, tutucu hareket ettirilerek sağlanmaktadır.



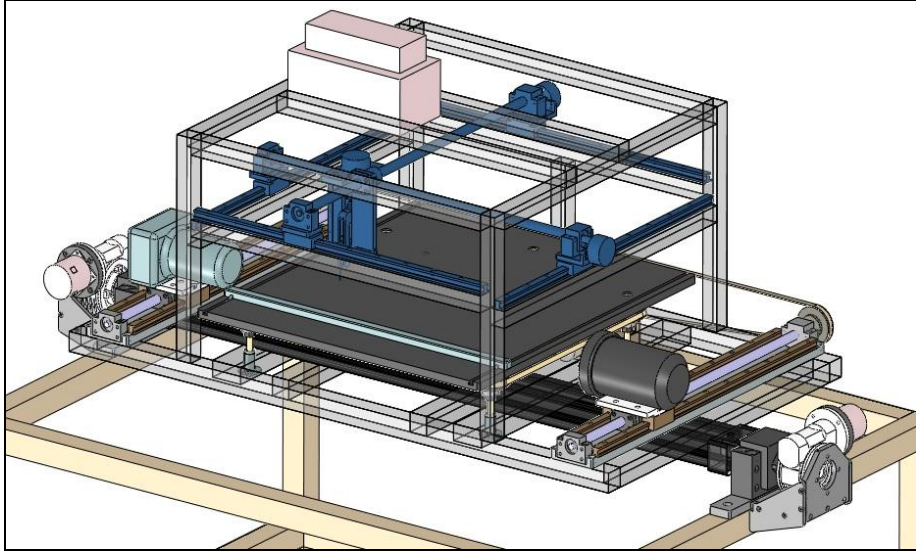
Şekil 5.23 : Numune tutucu.

5.3 Şırınga Hareket Mekanizması

Aşağıdaki şekilde ise şırınga hareket sistemi gösterilmiştir. Şırınga hareket sistemi, numune tablası üzerinde bulunan numune üzerine damlatılan sıvının, numunenin

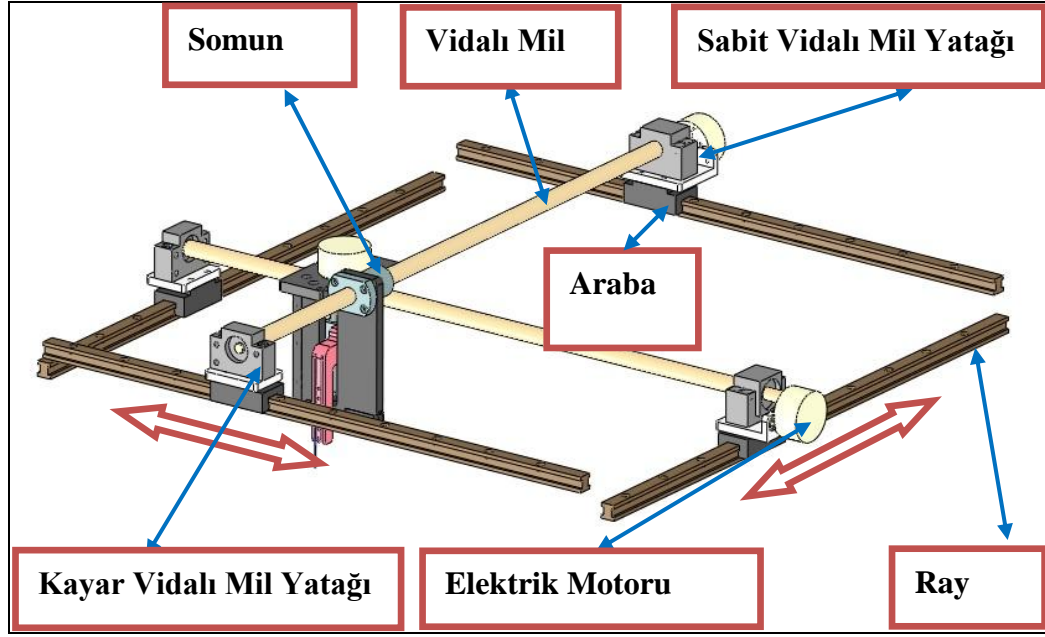
hangi noktasına damlatılması istenir ise o kısma (x,y koordinatlarında) ve damlanın numune üzerine çok yüksekte düşerek damlamasını engellemek için (z-koordinatında) hareket etmesi sağlanmaktadır.

Damlatma sistem üzerindeki pompa ile yapılmaktadır. Kullanılan pompa bilgisayar ile kontrol edilebilmektedir. İstenilen damla hacmi girilerek istenilen hacimde numune üzerine damlatma yapılmaktadır.



Şekil 5.24 : Şırınga hareket mekanizması.

Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi sistem 2 adet kızak ve bu kızaklar üzerinde kayabilen arabalardan oluşmaktadır. Burada kullanılan araba, kızak, somun, vidalı mil, vidalı mil uçları komponent olarak temin edilmiştir. Burada kullanılan raylar ve arabaların seçilmesi yük taşınması için değil hassaslık için seçilmiştir. Genellikle CNC gibi tezgâhlarda kullanılan raylar ve arabaların en ufakları seçilerek ölçüm sisteminde hassasiyet sağlanmaya çalışılmıştır. Ortalama arabalar arası mesafe 660 mm olduğundan dolayı lineer bilyeli arabalar, bilyeli somunlar ve vidalı miller kullanmak sistemin düzgün çalışabilmesi için avantaj olmaktadır. Bu uzun mesafede raylar ve arabalar kullanmak ve bununla birlikte bir taraf sabit, diğer taraf kayar rulman yatakları kullanmak, imalattan kaynaklanacak hatalar sonucunda oluşacak hataları en aza indirmek için kullanılmaktadır. Böylelikle sistemin sorunsuz çalışması sağlanmış olmaktadır. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi 4 adet araba, 4 adet ray, 2 adet vidalı mil, 2 adet vidalı mil somunu, 2 adet kayar vidalı mil yatağı, 2 adet sabit vidalı mil yatağı, 3 adet elektrik motoru ve sistemi düşey olarak hareket ettiren şırınga Z mekanizmasından oluşmaktadır.



Şekil 5.25 : Şırınğa hareket mekanizması.

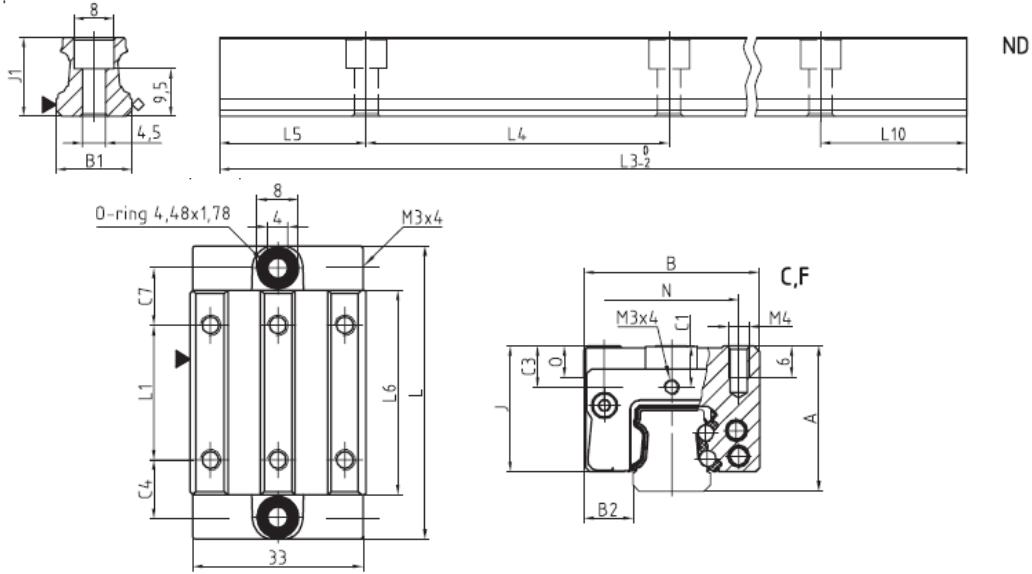
Aşağıdaki çizelge 5.8’de seçilen BMS 15 nolu ray ve BMC 15 nolu araba gösterilmiştir. Seçilen araba ve raylar sistem yük ve momentlerini karşılayabilmektedirler. Sistem hassasiyetini korumak için böyle bir tasarıma gidilmiştir.

Çizelge 5.8 : Ray ve araba seçimi[4].

BM S 15 Ölçüleri			
B1: Ray Genişliği	15		
J1: Ray Yüksekliği	15.7		
L3: Ray Uzunluğu Maks.	1 500		
L4: Sabitleme Aralığı	60		
L5/L10: İlk ve Son Sabitleme Aralığı	28.5		
Gew: Ray Ağırlığı kg/m	1.4		
			
		BMW 15-A	BMW 15-C
A: Sistem Yüksekliği		24	28
B: Taşıma Genişliği		47	34
B2: Yüzeyler Arası Mesafe		16	9.5
J: Taşıyıcı Yüksekliği		20.2	24.2
L: Taşıyıcı Uzunluğu		56.6	56.6

Şekil 5.26’da ise seçilen ray ve arabanın teknik resmi gösterilmiştir. Raylar ve arabalar sistemi taşımak için yeterli olduğu için en küçük ebatlarda ve ağırlıktaki ray ve araba seçimi yapılmıştır. Ray ve arabanın yüksekliği numune tablasınının yüksekliğini artırdığı için minimum yükseklikte ray ve araba çifti seçilmiştir. Burada sistemi kızaklamak için ray ve araba seçildiği için 600 mm olan iki kızak arasında kızaklama rahat bir şekilde yapılabilmektedir. Araba üzerinde bulunan yağlama deliklerinden arabaların yağlanması gerekmektedir. Aksi halde, arabaların ray üzerinde durarak hareket ettiğini görebilmekteyiz. Bu durum ölçümü etkilememektedir. Ama, cihazın uzun süre kullanımı açısından önemlidir.

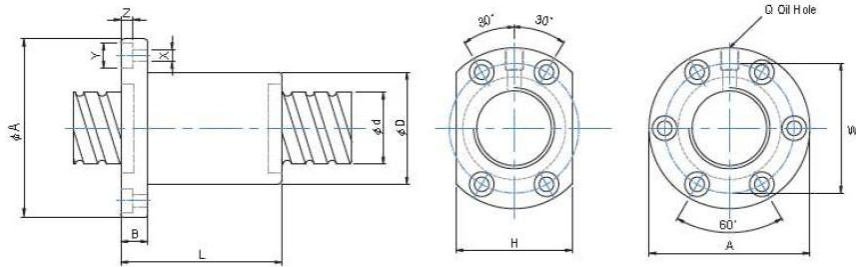
BM 15 Rail Teknik Resmi



Şekil 5.26 : Ray ve araba seçimi[4].

Aşağıdaki çizelgede ise seçilen vidalı mil ve somun gösterilmektedir. Vidalı mil hatvesi 4 mm dir ve mil çapı 16 mm olarak seçilmiştir. 16 mm den daha küçük olan ürünler daha pahalı olduğundan dolayı 16 mm çapında bir mil seçilmiştir.

Çizelge 5.9 : Vidalı mil seçimi[4].

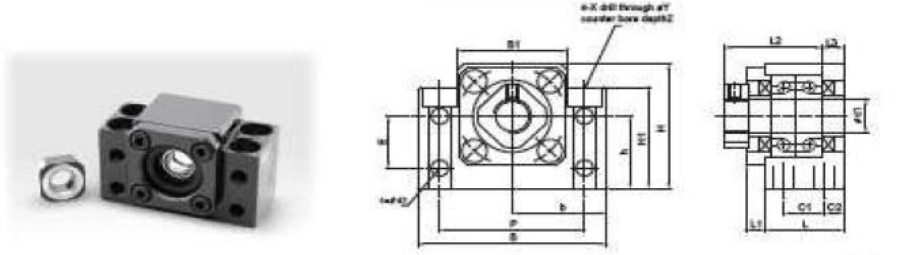


Model No.	Dimensions																	
	d	l	Da	D	A	B	L	W	X	Y	Z	Type	H	Q	n	Ca (Kgf)	Coa (kgf)	K
1404-4	14	4	2.381	26	46	10	47	36	4.5	8	4.5	A	34	M6	4	400	890	18
1604-4	16	4	2.381	30	49	10	45	39	4.5	8	4.5	A	34	M6	4	625	1253	21.8

Aşağıda ise seçilen mil ucu yatakları gösterilmiştir. BK numaralı yatak sabit yataktır. Tahrik motoru bu tarafa bağlanmaktadır. 16 mm çapında mil için BK-12 mil ucu yatağı seçilmiştir. Yatak tamamen korumalıdır. Keçe ve üzerindeki rulmanlar üzerinde sabitlenmiş olarak gelmektedir. BF-12 rulman ise yağlanmış korumalı bir rulmandır. BF rulman kendi yuvası içerisinde kayabilmektedir. +/- 4 mm kaymaya izin vermektedir. Sistemin bir tarafı sabit bir tarafı ise dönme eksenin doğrultusunda serbest bırakılmıştır. Bu şekilde yapılan tasarım iki kızak birbirine paralel olmasa bile (imalat kaynaklı hatalar) bu toleranstan dolayı çalışmaya devam edecektir.

Çizelge 5.10 : Mil ucu rulman seçimi.

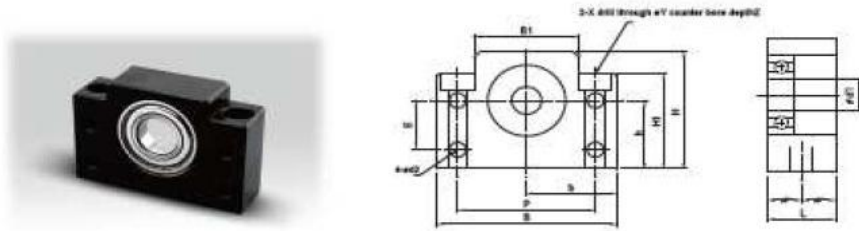
BK Fixed side



Unit : mm

Model No.	d1	L	L1	L2	L3	C1	C2	B	H	d ^{+0.02}	h ^{+0.02}	b1	h1	E	P	d2	X	Y	Z	M	T
BK 10	10	25	5	29	5	13	6	60	39	30	22	34	32.5	15	46	5.5	6.6	10.8	5	M3	16
BK 12	12	25	5	29	5	13	6	60	43	30	25	35	32.5	18	46	5.5	6.6	10.8	1.5	M3	19
BK 15	15	27	6	32	6	15	6	70	48	35	28	40	38	18	54	5.5	6.6	11	6.5	M3	22

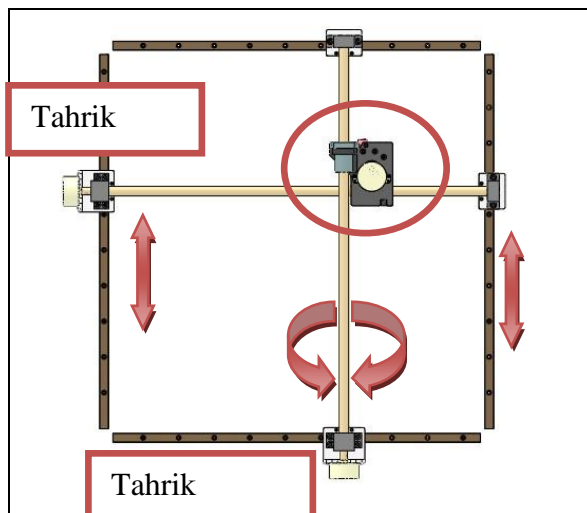
BF Flouted side



Unit : mm

Model No.	d1	L	B	H	b ^{+0.02}	h ^{+0.02}	b1	h1	E	P	d2	X	Y	Z
BF 10	8	20	60	39	30	22	34	32.5	15	46	5.5	6.6	10.8	5
BF 12	10	20	60	43	30	25	35	35	18	46	5.5	6.6	10.8	1.5
BF 15	15	20	70	48	35	28	40	38	18	54	5.5	6.6	11	6.5

Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi tahrik motor-1 saat yönünde veya saat yönünün tersine çevrildiğinde elips içerisinde alınmış şırınga sistemi oklar yönünde kızzaklar üzerinde X eksenini doğrultusunda hareket edecektir. Sol taraftaki yatak sabit iken sağ taraftaki yatak kayar yataktır. Tahrik motoru-2 de çalıştırıldığı zaman sistem Y eksenini doğrultusunda hareket edecektir.

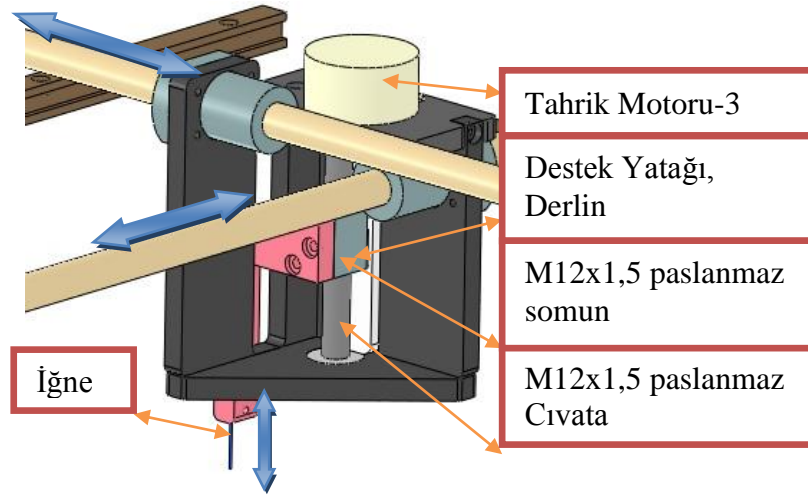


Şekil 5.27 : Şırınga X ve Y mekanizması.

Aşağıdaki şekilde ise şırıngayı Z yönünde hareket ettiren mekanizma gösterilmiştir. Bu mekanizmanın ana yapısı şırıngayı X ve Y ekseninde hareket ettirmesi için de gereklidir. X ve Y mekanizmalarını birbirine bağlayarak, motor ile yapılan dönme hareketinin doğrusal harekete çevrilmiştir.

Z mekanizması bir elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Motorun saat yönünde veya saat yönünün tersine çevrilmesiyle iğne düşey yönde hareket edebilmektedir. İğnenin düşey yönde hareket etmesiyle, numune üzerine damlatma düzgün bir şekilde yapılabilmektedir.

Bu sistem üzerinde tek iğne bulunmaktadır, sistem 2 iğneye izin verecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 5.28 : Şırınga Z mekanizması.

Böylece iğne X,Y ve Z ekseninde hareket edebilmektedir. 3 eksene de hareketi 3 adet elektrik motoru ile sağlanmaktadır. Elektrik motorunun özellikleri aşağıdaki çizelgede mevcuttur.

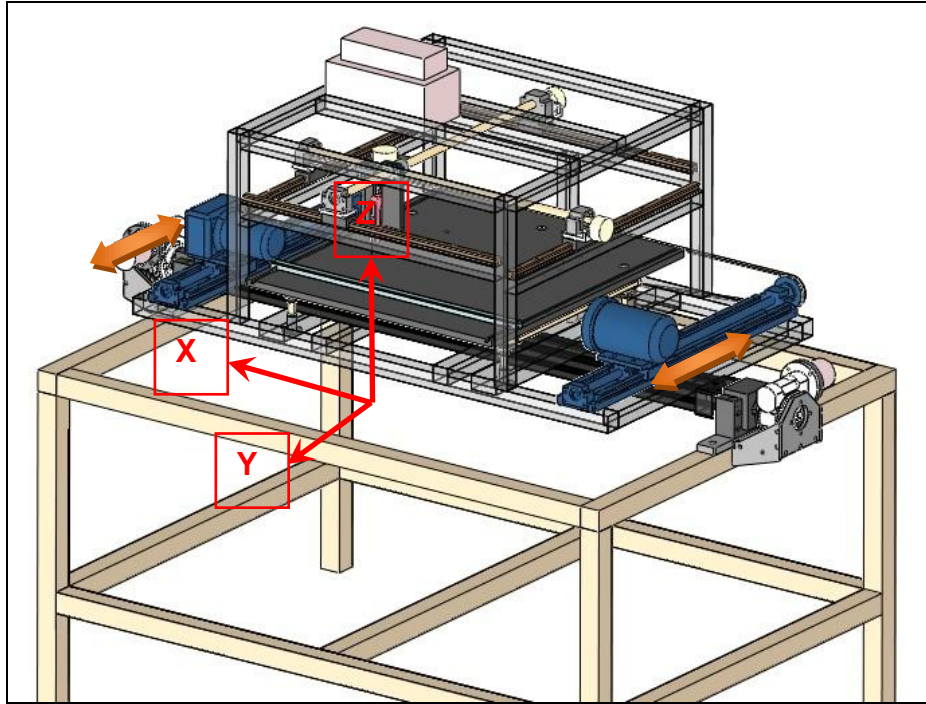
Çizelge 5.11 : Şırınga hareket mekanizması elektrik motoru özellikleri[12].

AC Senkron Motor (CW/CCW)			
Ana Spekler	Şaft Çıkış Torku (Nmm)	Şaft Çıkış Hızı (RPM) (-/+%2)	Mekanik Güç (N.m/s=watt)
	350,0	30	1~2
Genel Motor Spekleri		Değerler	
	Voltaj	220-230 V	
	Frekans	50/60 Hz	
	Güç	10 W(Approx.)	
	Dönme Yönü	Saat yönünde&Saat yönünün tersi	
	Ömür	20000 Saat (Approx.)	
	Sürekli Çalışma	20 Minute max.	
	Çap	50 mm max.	
	Boy	25 mm max.	

5.4 Kamera ve Işık Hareket Mekanizması

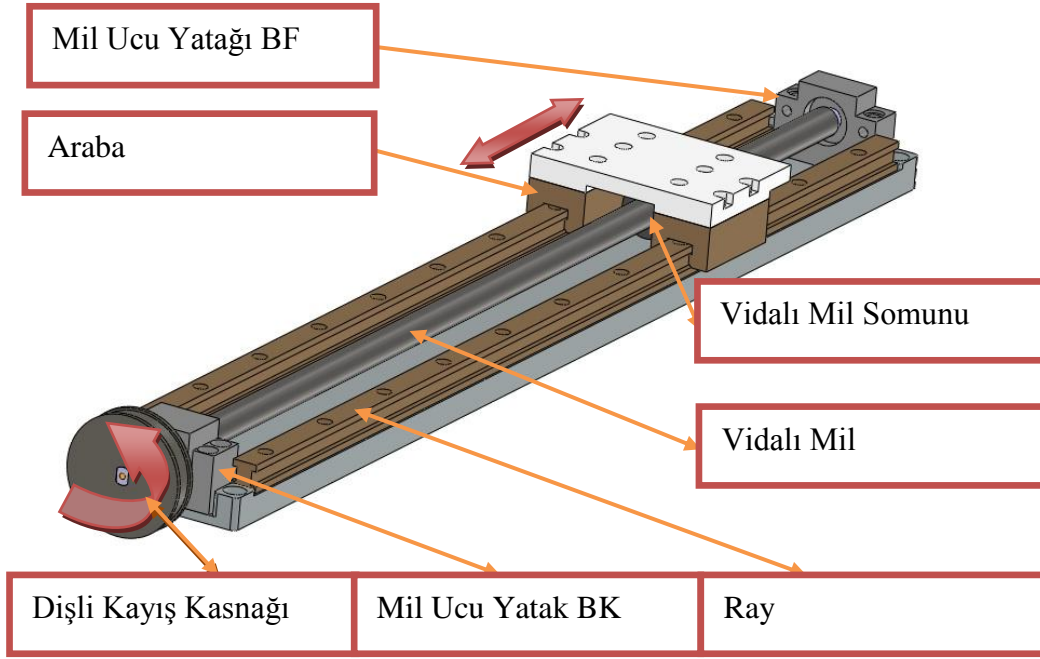
Aşağıdaki şekilde kamera ışık sistemi gösterilmiştir. Kamera ışık sistemi Y ekseninde senkronize hareket etmek için tasarlanmıştır. Numune tablası üzerine yerleştirilen herhangi bir numunenin üzerine damlatılan damlanın Y eksenı boyunca odaklama için kullanılmaktadır. Şırınga ve kamera aynı doğrultuda birbirine bakar durumda montajı yapılmıştır. Böylece numune üzerindeki damlanın fotoğrafından alınan ölçüm daha gerçeğe yakın olmaktadır. Işığın damla merkezinden daha yukarıda, aşağıda, sağda veya solda olması veya kameranın pozisyonun merkezde olmaması, elde edilecek görüntünün gerçeğe tam yakın olmamasına neden olacaktır. Bundan dolayı numune üzerine damlatılan damlanın gerçek net ve gerçekçi fotoğrafını çekmek için, aşağıdaki şekilde gösterilen yönde kamera ve ışık hareket edebilmektedir. Ayrıca numune tablasının Z yönünde hareketi bunu desteklemektedir.

İki adet lineer mekanizmanın senkronize hareketi için bir adet tahrik grubu bulunmaktadır. İki mekanizma bir adet dişli kayış ile tahrik edilmektedir.



Şekil 5.29 : Kamera ve ışık mekanizması.

Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi sistem çalışmaktadır. İki adet ray ve bunların arasında vidalı mil ve vidalı mil somunu bulunmaktadır. Vidalı mil somunu arabaya şekil bağlı olarak tasarlanmıştır. Dişli kayış kasnağının çevrilmesi araba, gösterilen şekilde lineer hareket yapacaktır.



Şekil 5.30 : Kamera ve ışık hareket grubu.

Dişli Kayış Kasnağı: 21T540 (Dişli Kayış Kasnağı Çizelgesindan)

Vidalı Mil Ucu Yatağı: BK12 (sabit)

Vidalı Mil Ucu Yatağı: BF12 (Kayar)

Ray : BMS15

Araba: BMC15

Vidalı Mil: 16x4 (yüzeyi sertleştirilmiş)

Vidalı Mil Somunu: 16x4 (bilyeli)

Sistem Body: Al (CNC)

Araba Tablası: Al (CNC)

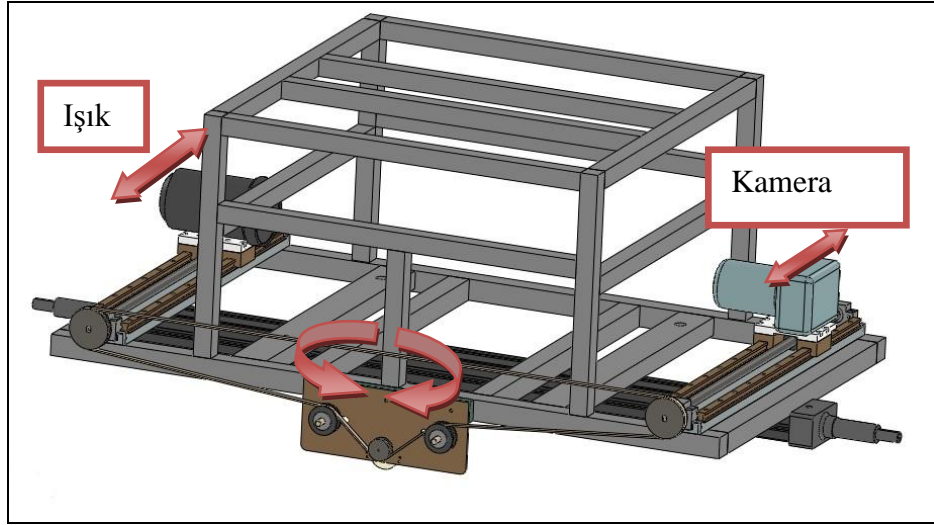
Sistem montajı Al body üzerine yapılmaktadır.

Aşağıdaki şekilde iki adet lineer mekanizma ve tahrik grubu gösterilmiştir.

- Kamera Hareket Mekanizması
- Işık Hareket Mekanizması
- Tahrik Grubu

Tahrik grubu dişli kayış mekanizması ve onu tahrik eden ve bütün sistemlerin tahrik edilmesinde kullanılan AC senkron reversible elektrik motorları kullanılmıştır. Kayışın gerdirilmesi ve tahrik kasnağının daha fazla açıda kayış tarafından sarılması için yönlendirme ve gerdirme için makaralar kullanılmıştır. Bu şekilde iki adet lineer mekanizma senkronize bir şekilde tahrik edilebilmektedir. Tahrik motoru pinyonu

saat yönünde veya saat yönünün tersinde tahrik etmesi ile kamera ve ışık aynı anda oklarla gösterilmiş olan Y eksenli boyunca hareket edecektir.



Şekil 5.31 : Kamera ve ışık mekanizması tahrik grubu.

Dişli Kayış Kaskağı: 21T540 (Dişli Kayış Kaskağı Çizelgesinden)

Dişli Kayış Kaskağı: 21T520 (Pinyon, Tahrik Kaskağı)

Makara: Delrin malzemesinden

Braket: 4 mm paslanmaz Sac

Dişli Kayış : T5x10

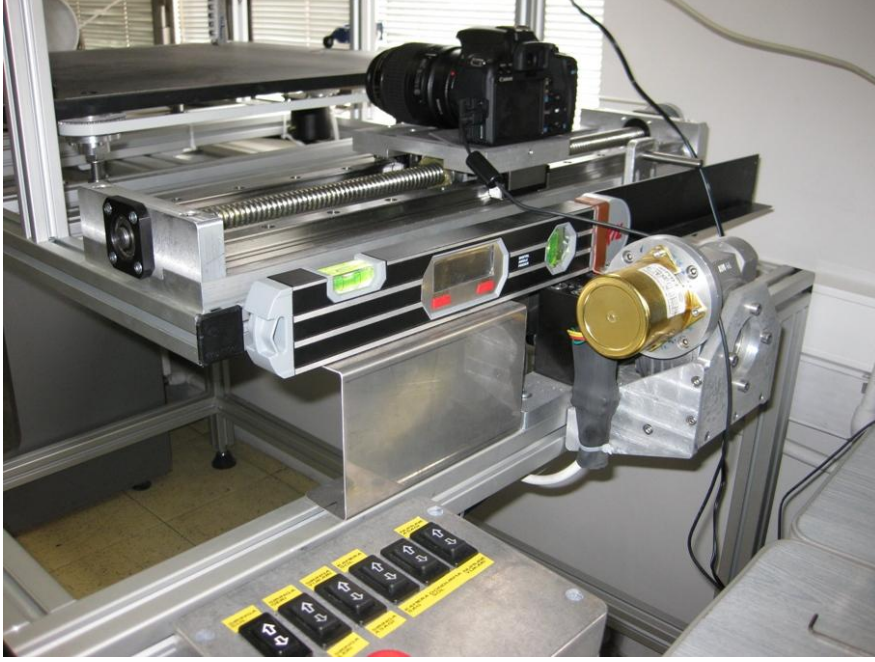
Sistemde pinyon kaskağı ve ana kaskağı arasında dişli oranı $\frac{1}{2}$ dir. Böylece motorun 30 RPM dönmesi 15 RPM' e düşmektedir ve raylar üzerindeki arabalar bu dönme hızına göre hareket etmektedir. Vidalı millerin 4 mm hatvesi olduğundan dolayı, araba 1 mm/s ile hareket etmektedir.

Çizelge 5.12 : Kamera ve ışık hareket mekanizması tahrik motoru özellikleri[12].

AC Senkron Motor (CW/CCW)			
Ana Spekler	Şaft Çıkış Torku (Nmm)	Şaft Çıkış Hızı (RPM) (-/+%2)	Mekanik Güç (N.m/s=watt)
	350,0	30	1~2
Genel Motor Speklere		Değerler	
Voltaj	220-230 V		
Frekans	50/60 Hz		
Güç	10 W(Approx.)		
Dönme Yönü	Saat yönünde&Saat yönünün tersi		
Ömür	20000 Saat (Approx.)		
Sürekli Çalışma	20 Minute max.		
Çap	50 mm max.		
Boy	25 mm max.		

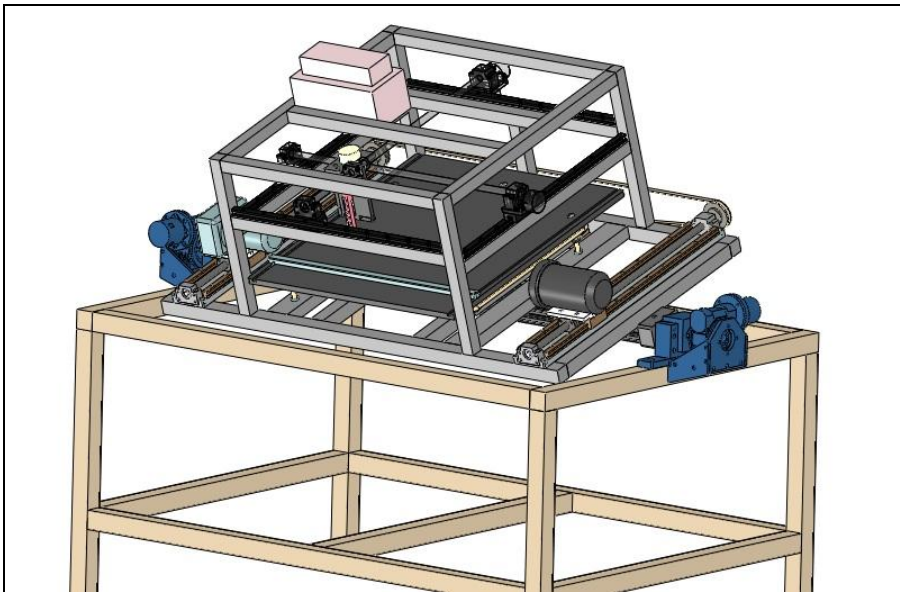
5.5 Derece Eğim Tahrik Grubu

45 derece eğim tahrik grubu bütün hareketli sistemi 0-45 derece arasında herhangi bir belirlenen bir açıda döndürmek için kullanılmaktadır. Bu kısımda hareketli sistemin hangi açıda konumlandığı belirleyen açıölçer bulunmaktadır. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, 1 adet dijital açıölçer kullanılmaktadır.



Şekil 5.32 : Açı ölçer.

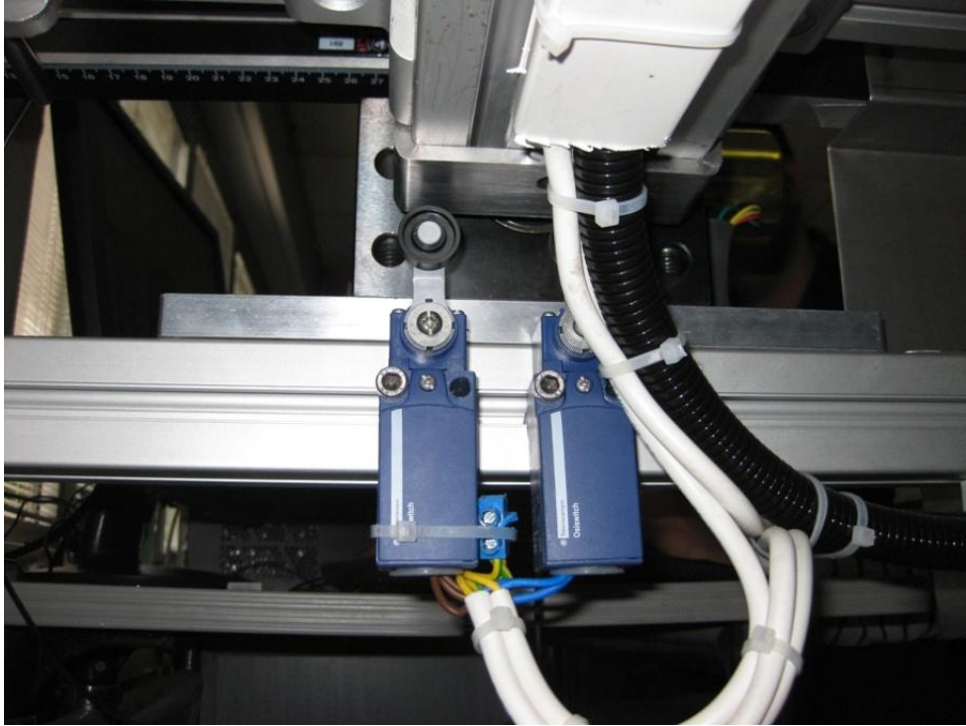
Sistem, hareketli kısmın tamamını taşıyan bir taşıyıcı şaft, rulmanlar ve redüktör sisteminden oluşmaktadır.



Şekil 5.33 : Tahrik grubu 45 derece.

Hareketli grubun 45 dereceden daha fazla eğilmesini engellemek için elektriksel olarak sonlandırıcı butonlar kullanılmıştır. İki adet buton kullanılmıştır. Bunlardan birisi hareketli grubun 45 dereceden daha fazla eğilmesini engellerken diğeri ise sistemin diğere tarafa eğilmesini engellemektedir. Böylece, hareketli grup hep yatay olarak konumlanmaktadır. Tam yatay olarak konumlanması açıölçer ile takip edilebilir.

Eğer elektriksel sonlandırıcı butonlardan bir sorun oluşur ise, sistem mekanik olarak sabit karkas ise sonlandırılmaktadır.



Şekil 5.34 : Sonlandırıcı elektriksel butonlar.

5.5.1 Redüktör hesabı ve motor seçimi

30 RPM' lik AC senkron motorlar kullanıldığı için 1/100 oranında sonsuz vidalı (oto blokajlı) redüktör seçilmiştir. Bu şekilde tasarım ile $30 \times 1/100 = 0,3$ RPM veya 0,005 RPS (Second) bir dönme hızı ile dönmektedir. Yaklaşık 50 saniyede 45 derece açığı süpürmektedir.

Redüktörün oto blokajlı seçilmesi cihaz üzerindeki hareketli yapının belirlenen açıda konumlanması için gerekmektedir. Sistemde oluşan maksimum momente göre redüktör hesabı yapılmaktadır. Sistem 45 derecede iken ağırlık merkezinin etkisi ile burulma momenti oluşmaktadır. Bu moment redüktör tarafından çevrilmeye çalışmaktadır. Redüktörde, hareketli grubun açısı "45" dereceden "0" (yatay) hale

ilerlerken moment azalmaktadır. Yatayda sadece yataklardan gelen sürtünme momentleri ve redüktörün kendi verimsizliği bulunmaktadır. Redüktör momenti, hareketli kısmın 45 derece eğilmesi durumunda oluşacak burulma momentine eşit olacaktır. Bu hesaplamalar ile 60 Nm olarak bulunmuştur.

Sistem 2 adet redüktör tarafından çevrilmektedir. Bu redüktörlerde AC senkron reversible motorlar ile tahrik edilmektedir.

Sistem üzerinde oluşan maksimum moment 60 Nm dir. Redüktör düşük hızlar elde etmek için 1/100 çevrim oranlı sonsuz vidalı redüktör olarak seçilmiştir.

Motor miline etkiyen maksimum moment;

M_b : Sistem momenti, 60 Nm

\dot{I} : Redüktör çevrim oranı, 1/100

M_{motor} : Motor miline gelen moment,

η : Redüktör verimi, 0,4

$$M_{motor} = \frac{M_b \cdot \dot{I}}{2 \cdot \eta} \quad (5.16)$$

$$M_{motor} = \frac{60}{2 \cdot 100 \cdot 0,4} = 0,75 \text{ Nm} \sim 7,5 \text{ kgf.cm}$$

Bulunan bu motor momenti bir adet sistemde çalışan 45 derece motor içindir. Redüktör verimi 0,43 olduğu halde sistemi taşıyan sabit rulman yataklarındaki kayıplarda düşünülerek 0,4 olarak redüktör verimi alınmıştır. Bunun için 10 kgf.cm değerinde AC senkron ve saat yönünde ve saat yönünün tersi yönde bir kumanda ile çevrilebilir motorlar kullanmışlardır. Aşağıdaki çizelgede motor özellikleri bulunmaktadır.

Çizelge 5.13 : Redüktör Motor Özellikleri [12].

AC Senkron Motor (CW/CCW)			
Ana Spekler	Şaft Çıkış Torku (Nmm)	Şaft Çıkış Hızı (RPM) (-/+%2)	Mekanik Güç (N.m/s=watt)
	1000,0	30	3~4
Genel Motor Speklere		Değerler	
	Voltaaj	220-230 V	
	Frekans	50/60 Hz	
	Güç	20 W(Approx.)	
	Dönme Yönü	Saat yönünde&Saat yönünün tersi	
	Ömür	20000 Saat (Approx.)	
	Sürekli Çalışma	20 Minute max.	
	Çap	60 mm max.	
	Boy	60 mm max.	

Redüktör seçimi ise 60 Nm olan 45 derecedeki maksimum dönme momentini karşılayacak 55 Nm iki adet redüktör seçilmiştir. Redüktörler tam bakımsız sonsuz vidalı redüktörlerdir. Aşağıdaki çizelgede VF 44_100 olan redüktör seçilmiştir.

Redüktör çevrim oranı: 1/100

Redüktör gücü: 0,06 kW

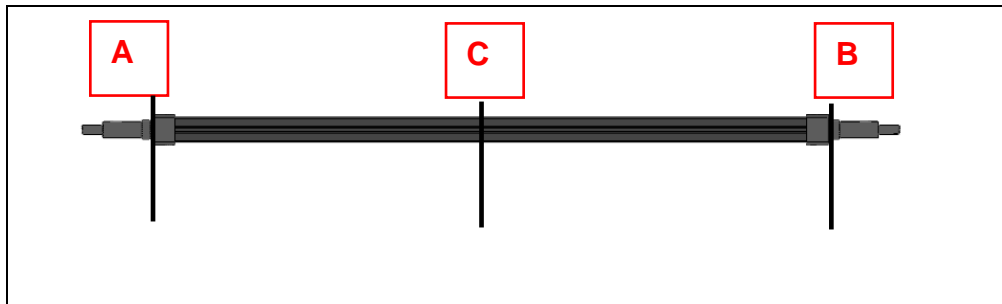
Redüktör verimi: 0,43

Çizelge 5.14 : Redüktör seçimi.

55 Nm															
i	η_s %	$n_1 = 2800 \text{ min}^{-1}$							$n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$						
		n_{2-1} min	M_{n2} Nm	P_{n1} kW	R_{n1} N	R_{n2} N	η_d %	n_{2-1} min	M_{n2} Nm	P_{n1} kW	R_{n1} N	R_{n2} N	η_d %		
VF 44	VF 44_7	7	71	400	22	1.1	220	950	88	200	29	0.71	220	1180	86
	VF 44_10	10	66	280	22	0.74	220	1150	87	140	29	0.51	220	1430	84
	VF 44_14	14	60	200	22	0.55	220	1340	84	100	29	0.37	220	1680	81
	VF 44_20	20	55	140	29	0.52	220	1490	81	70	39	0.37	220	1860	77
	VF 44_28	28	45	100	29	0.40	220	1710	76	50	39	0.29	220	2140	71
	VF 44_35	35	42	80	29	0.33	220	1870	73	40	39	0.25	220	2300	68
	VF 44_46	46	37	61	29	0.27	220	2080	69	30.0	39	0.19	220	2300	63
	VF 44_60	60	32	47	29	0.22	220	2290	65	23.3	39	0.16	220	2300	58
	VF 44_70	70	30	40	22	0.15	220	2300	62	20.0	29	0.11	220	2300	55
	VF 44_100	100	24	28	21	0.11	220	2300	55	14.0	28	0.09	220	2300	47
			$n_1 = 900 \text{ min}^{-1}$							$n_1 = 500 \text{ min}^{-1}$					
	VF 44_7	7	71	129	39	0.63	220	1300	85	71	45	0.41	220	1610	83
	VF 44_10	10	66	90	39	0.45	220	1610	82	50	45	0.29	220	1980	80
	VF 44_14	14	60	64	39	0.34	220	1890	78	36	50	0.25	220	2280	76
	VF 44_20	20	55	45	45	0.29	220	2160	74	25.0	50	0.18	220	2500	72
	VF 44_28	28	45	32	49	0.24	220	2300	67	17.9	55	0.16	220	2500	64
VF 44_35	35	42	25.7	49	0.20	220	2300	64	14.3	55	0.14	220	2500	60	
VF 44_46	46	37	19.6	49	0.17	220	2300	59	10.9	50	0.10	220	2500	55	
VF 44_60	60	32	15.0	45	0.13	200	2300	54	8.3	50	0.09	220	2500	50	
VF 44_70	70	30	12.9	39	0.10	220	2300	51	7.1	45	0.07	220	2500	47	
VF 44_100	100	24	9.0	30	0.06	220	2300	43	5.0	32	0.04	220	2500	39	

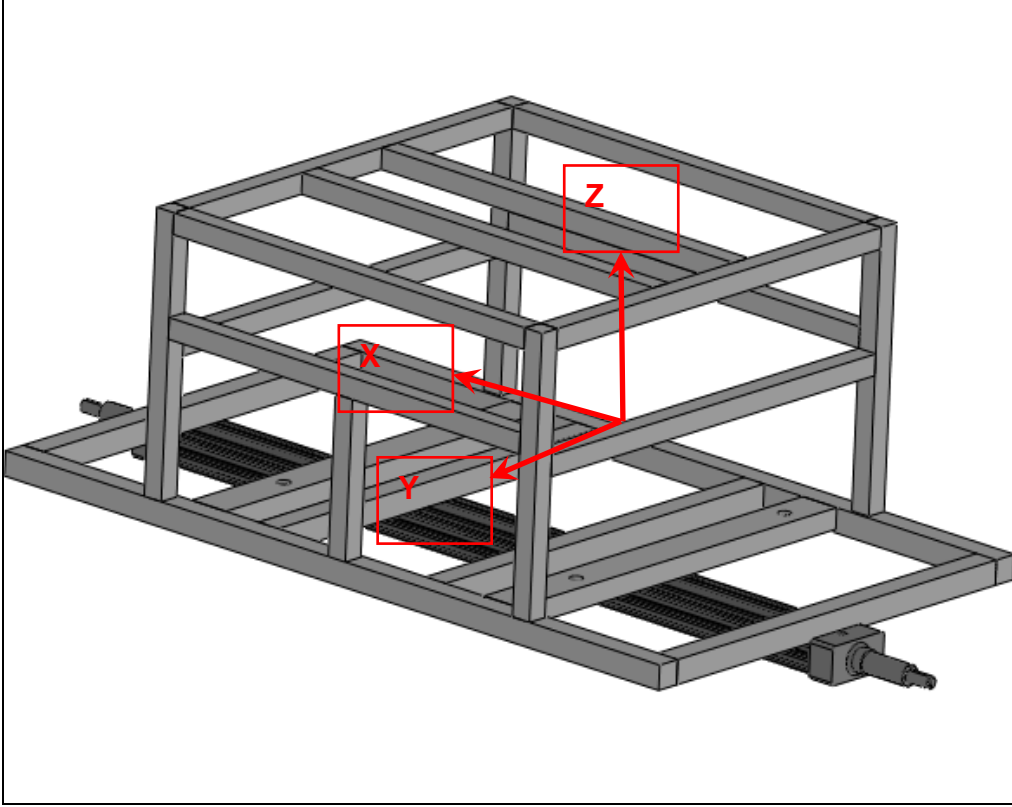
5.6 Kritik Kesitlerin Mukavemet Hesabı

Kritik kesit olarak sistemde, hareketli grubu taşıyan ve 45° çevirebilen, taşıyıcı şaft incelenecektir. Taşıyıcı şaft aşağıda gösterildiği gibi, 90x45 alüminyum profil ve uç kısımlarında paslanmaz çelik malzemeden CNC de üretilmiş olan şafttan oluşmaktadır.



Şekil 5.35 : Taşıyıcı şaft.

Aşağıdaki şekilde hareketli karkas üzerinde taşıyıcı şaftın bağlantısı gösterilmiştir. Taşıyıcı şaft bu kısma 8 adet civata bağlantısı ile bağlanmaktadır. Buradaki bağlantı taşıyıcı şaftın hesaplamalarına katılmamıştır.

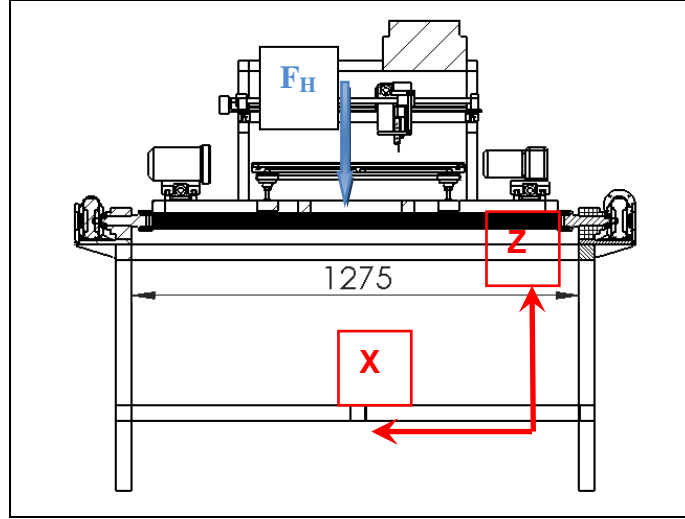


Şekil 5.36 : Taşıyıcı şaftın hareketli karkas üzerinde yerleşimi.

Aşağıdaki resimde kuvvetler ve etki yönleri gösterilmiştir. Hareketli kısmın ağırlığının etkisi gösterilmiştir. X-Z düzleminde kuvvetin tam orta noktadan etki ettiği varsayılmıştır. Y-Z düzleminde ise en kötü durum varsayılmıştır. Hareketli grubun 45° açı yaptığı durumda, ağırlık merkezi 100 mm eksenden kaymaktadır. Bu eksenden kayma, yaklaşık 600 N olan hareketli kısmın, şaft üzerinde eğilme momentinin yanında burulma momenti oluşturmaktadır. Gerilmenin ağırlık momentine en uzak nokta olan rulman bağlantı yerleri kısmında olduğu öngörülmektedir.

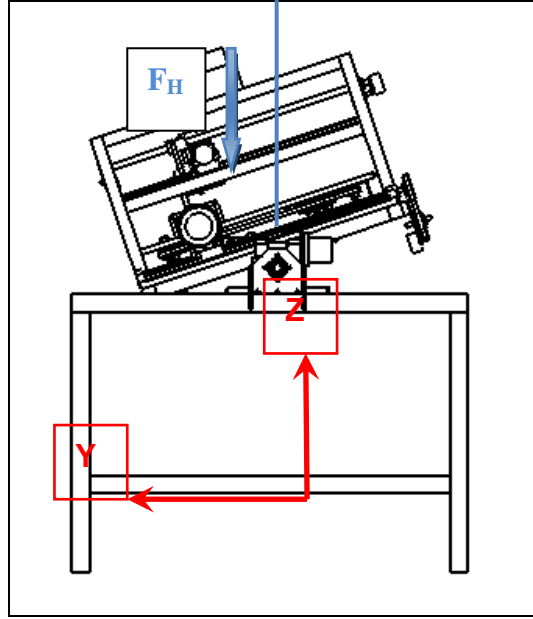
Hareketli kısmın ağırlığı önce rulmanlar ile düşey yükler taşınmaktadır. İki adet kullanılan redüktörler sadece cihazın 45° eğimli durumu için hareket ettirmesini sağlamaktadır. Redüktörler sadece hareketli kısmın dönmesinden kaynaklanan momenti dengelemektedir.

Ağırlık merkezi belirlenirken, numune tablası grubunun en üst pozisyonu baz alınarak en kötü duruma bakılmıştır.



Şekil 5.37 : Kuvvetin etkisi X-Z düzlemi.

Bu duruma göre konumlandırıldığında ağırlık merkezi CAD programında hesaplanarak, aşağıdaki resimde gösterildiği gibi dönme ekseninden 100 mm eksenden kayık olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 5.38 : Kuvvetin etkisi Y-Z düzlemi.

F_H : Hareketli kısım ağırlığı,

L : X-Y ekseninde hareketli kısmın rulmanlar ile bağlantı yeri uzaklıkları,

l_1 : AC uzunluğu, bu tasarımda $L/2$ ye eşittir.

l_2 : CB uzunluğu, bu tasarımda $L/2$ ye eşittir.

a : Y-Z ekseninde 45° eğimde ağırlık merkezinin eksen kaçıklığı,

M_e : X-Z düzleminde şaft üzerinde olan maksimum eğilme momenti,

τ_b : Şaftta oluşan maksimum kesme gerilmesi,

M_b : Şaft üzerindeki burulma momenti,

M_A : A yatağındaki burulma momenti,

M_B : B yatağındaki burulma momenti,

d: Şaft çapı,

σ_v : Eşdeğer gerilme,

σ_e : Eğilme gerilmesi,

G: Kayma Modülü

I_{p1} : AC kısmı kesiti polar atalet momenti

I_{p2} : CB kısmı kesiti polar atalet momenti

Verilenler:

F_H : 600 N

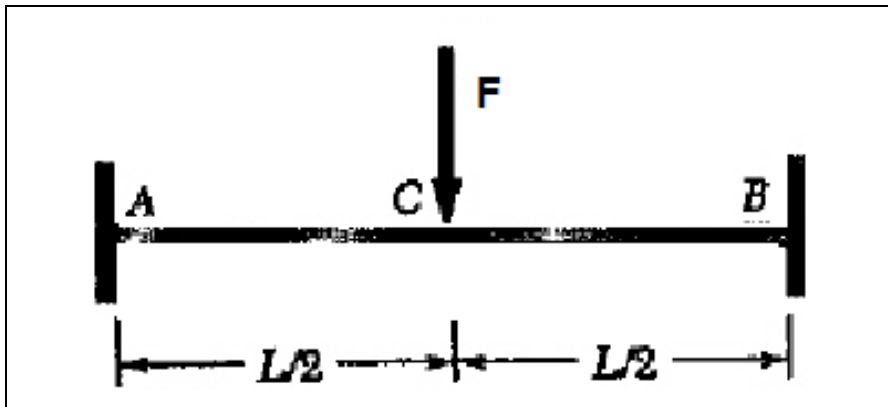
L: 1275 mm

a: 100 mm

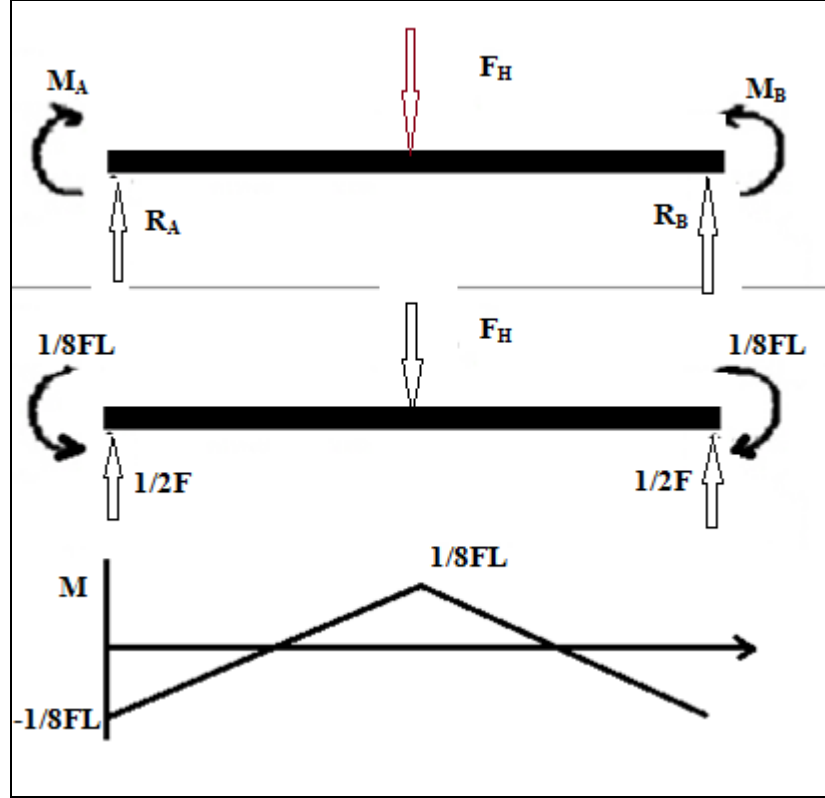
d: 30 mm

Sınır koşulları:

Sistem rulmanlar ile x,y ve z eksenlerinde ötelemesi ve dönmesi kısıtlanmıştır. X eksenini etrafında dönmesi redüktör ile kısıtlanmıştır. Redüktör ile X ekseninde çevrilebilmektedir. Sistem burada eğilme durumunda hiperstatik bir sistem gibi davranacaktır. İki tarafından mesnetli ve orta kısımdan eğilme ve burulma uygulanmış gibi olacaktır. Aşağıdaki şekil 5.39'daki gösterimde kuvvetin nasıl etkideği gösterilmiştir. A ve B kısımlarından sistem mesnetli gibi davranacaktır. Hareketli kısmın ağırlığı F olarak yaklaşık orta noktadan AB şaftına etkimektedir. Sistemin 45 derece ğim durumunda bu kuvvet aynı zamanda burulma olarak şaftı zorlayacaktır.



Şekil 5.39 : Kuvvetin etkisinin model olarak gösterimi.



Şekil 5.40 : Etkiyen kuvvetler ve tepkilerinin gösterimi.

$x = 0 \rightarrow y = 0$ ve $x = 0 \rightarrow \frac{dy}{dx} = 0$ olacaktır.

Simetriden dolayı $R_A = R_B$

$x = \frac{L}{2} \rightarrow \frac{dy}{dx} = 0$ olacaktır.

Düşey yöndeki kuvvetler sıfıra eşitlenirse;

$$F_H = R_A + R_B \rightarrow R_A = R_B = \frac{F_H}{2} \quad (5.17)$$

$$0 < x < \frac{L}{2} \rightarrow M = M_A + R_A \cdot x \rightarrow M = M_A + \frac{1}{2} \cdot F_H \cdot x \quad (5.18)$$

$$E \cdot I \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = M_A + \frac{1}{2} \cdot F_H \cdot x \quad (5.19)$$

$$E \cdot I \cdot \frac{dy}{dx} = M_A \cdot x + \frac{1}{4} \cdot F_H \cdot x^2 + C \quad (5.20)$$

Sınır şartları denklemden yerine yazılır ise;

$$C = 0$$

$$M_A = -\frac{1}{8} \cdot F_H \cdot L \quad (5.21)$$

$$M_C = M_A + \frac{1}{2} \cdot F_H \cdot \frac{L}{2} \rightarrow M_C = \frac{1}{8} \cdot F_H \cdot L \quad (5.22)$$

Olarak bulunmaktadır ve $M_A = M_C$ olduğundan

$$M_s = \frac{1}{8} \cdot F_H \cdot L \quad (5.23)$$

$M_e = \frac{1}{8} \cdot 600.1275 = 95625 \text{ Nmm}$ olarak bulunmaktadır.

$$\sigma_e = \frac{32M_e}{\pi \cdot d^3} \quad (5.24)$$

$$\sigma_e = \frac{32.95625}{\pi \cdot 30^3} = 36 \text{ N/mm}^2$$

$$M_b = F_H \cdot a \quad (5.25)$$

Burulma ile zorlanan hiperstatik bir sistem gibi davrandığını varsayılırsa, aşağıdaki denklem yazılabilir. Burada A ve B noktalarındaki açılmalık şekil değişimi “0” kabul edilmektedir.

φ_{AC} : C noktasının A noktasına göre açılmalık değişimi

φ_{CB} : C noktasının B noktasına göre açılmalık değişimi.

φ_{AB} : A noktasının B noktasına göre açılmalık değişimi.

$$M_A + M_B = M_b \quad (5.26)$$

$$\varphi_{AB} = \varphi_{AC} + \varphi_{CB} = 0 \quad \text{Uygunluk denklemi} \quad (5.27)$$

$$\varphi_{AB} = \frac{M_A \cdot l_1}{I_{p1} \cdot G} - \frac{M_B \cdot l_2}{I_{p2} \cdot G} \quad (5.28)$$

Bu tasarımda kayma modülü, kesit atalet momentleri ve l_1 ve l_2 uzunlukları birbirine eşit olduğundan dolayı,

$M_A = M_B$ olmaktadır.

$$M_b = F_H \cdot a$$

$$M_b = 600.100 = 60000 \text{ Nmm}$$

$$M_A + M_B = M_b \text{ olduğundan ve } M_A \text{ ve } M_B \text{ birbirine eşit olduğu için;} \quad (5.29)$$

$$M_A = 30000 \text{ Nmm}$$

Kesme gerilmesi iki adet formülle de tanımlanabilmektedir. Aşağıdaki sadece dairesel kesitli olanlar içindir.

$$\tau_{bmax} = \frac{M_A}{I_p} \cdot \frac{d}{2} \quad (5.30)$$

$$\tau_{bmax} = \frac{16 \cdot M_b}{\pi \cdot d^3} \quad (5.31)$$

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi 30^4}{32} \quad (5.32)$$

$$I_p = 79521,5 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{bmax} = \frac{30000}{79521,5} \cdot \frac{30}{2} = 5,7 \text{ N/mm}^2$$

Şaft üzerinde oluşan eşdeğer gerilmeler, birleşik zorlanma biçim değiştirme hipotezi kuralına göre aşağıdaki formül ile çözülmektedir.

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_b^2} \quad (5.33)$$

$$\sigma_v = \sqrt{36^2 + 3 \cdot 5,7^2} = 37,5 \text{ N/mm}^2$$

Şaft üzerinde oluşan eşdeğer gerilme $37,5 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmaktadır. Paslanmaz çeliğin akma dayanımı 215 N/mm^2 olduğu için sistem yaklaşık 5,5 kat emniyetlidir.

5.7 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Çözülmesi uzun zaman alan karmaşık problemlerin, daha basit ve kısa zamanda çözmek için bu problemlere eşdeğer ancak daha basit hale getirilmiş problemlerin çözüme gidilmesi sonlu elemanlar metodunun temelindeki fikirdir. Genellikle, basitleştirmeye gidilmesi sonucunda doğru sonuç yerine, yaklaşık bir sonuç bulunmaktadır. Günümüzde, sonlu elemanlar metodlarının bilgisayarlarda uygulanması sonucunda hemen her problem istenilen ölçüler arasında yaklaşık sonuçlar elde edilmektedir [1].

Sonlu elemanlar metodunda, çözüm bölgesinin çok sayıda sonlu ve birbirine bağlı elemanlardan oluşmaktadır. Çözüme gidilirken, sonlu elemanların hepsi çeşitli teoriler kullanılarak, sınır koşul ve denge denklemlerin tanımlanmasıyla yaklaşık sonuçlar bulunmaktadır [1].

5.7.1 Sonlu elemanlar metodunun kısa tarihi

Günümüzde “Sonlu Elemanlar Metodu” şeklinde bilinen çözüm metodlarının arkasında bulunan temel fikirler yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Örneğin, yüzyıllar öncesinde bilim adamları çemberin çevre uzunluğunu bulmak için çemberin etrafından poligonlar çizerek bulmaktaydılar. Köşe sayısı arttırılan poligon, sonuca daha fazla yaklaştırmaktaydı [1].

Yakın tarihimizde, sonlu elemanlar metoduna benzer bir yöntem Courant tarafından 1943’te ilk kez ortaya atılmıştır. Bu yöntemde, üçgensel bölgeler üzerinde parçasal sürekli fonksiyonlar tanımlanmaktadır [1].

Günümüzde bilinen sonlu elemanlar metodu ise, 1956 yılında Turner, Clough, Martin ve Top tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada, perçin bağlantılı profil ve üçgensel iç gerilmeli tabaka şeklindeki sonlu elemanların bir uçağın analizinde kullanımı ele alınmıştır [1].

Çağımızın en büyük teknolojik gelişme olarak bilinen bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, bu yönteme çok büyük katkı sağlamıştır. Günümüzün bilgisayarları,

çözülmesi aylar bulunan problemleri, en kısa zamanda çözmekte ve gerçek sonuçlara çok yakın yaklaşık sonuçlar verebilmekteler [1].

5.7.2 Uygulama alanları

Sonlu elemanlar metodunun uygulama alanları özdeğer (eigenvalue), denge ve yayılma Problemleridir. Kısaca yukarıda bahsi geçen alanların kısaca tarifleri aşağıda açıklanmıştır [1].

Denge problemlerinin bir uzantısı olan özdeğer (eigenvalue) grubuna giren problemler arasında yapıların stabilitesi ve titreşimleri, lineer viskoelastik sönümlenme, burkulma, katı ve esnek kaplarda akışkanların çalkalanması vs. gibi problemler en çok bilinenleridir [1].

Kararlı hal problemleri olarak bilinen denge problemlere makine ve inşaat yapılarının gerilme analizleri, katılarda ve sıvılarda kararlı sıcaklık dağılımları, sürekli akış problemleri gibi problemler örnek verilebilir [1].

Yayıma problemleri ise zamana bağlı olan problem grubuna giren problemler arasında yapılarda gerilme dalgaları, yapıların darbelere karşı davranışı, viskoelastik problemler, zeminlerden suyun geçişi, katılarda ve sıvılarda ısı geçişi, kararlı olmayan akış problemleri örnek verilebilir [1].

Mühendislik açısından sonlu elemanlar metodunun en geniş uygulama alanı gerilme analizi problemidir. Gerilme analizi problemlerinde yer değişim, kuvvet ve karma yöntem gibi üç yaklaşım dikkate alınmaktadır [1].

Yer değişim yönteminde yer değişimler, dönmeler ve deformasyonlar; kuvvet yöntemi yaklaşımında kuvvetler ve gerilmeler; karma yönteminde ise bilinmeyen veya serbest değişkenler işlenmektedir [1].

5.7.3 Problemlerde uygulanması

Elastik ve sürekli ortamlara SEM'in uygulanmasında yapının parçalara ayrılması, uygun bir interpolasyon seçimi, rijitlik matrislerinin ve yük vektörlerin, eleman denklemlerinin birleştirilmesiyle toplam denge denklemlerin elde edilmesi, bilinmeyen düğümsel (nodal) yer değişimleri için çözüm yöntemlerinin kullanılması ve sonuçların bulunması adımları uygulanır [1]. Böylelikle problemlerin çözümüne rahatlıkla sonlu elemanlar metodu uygulanabilmektedir. Malzeme üzerindeki herhangi bir nod un yerdeğiştirilmesi ve gerilmeleri de analiz edilebilecektir. Bir sonraki konuda eleman tipleri anlatılacaktır.

5.7.4 Sonlu elemanlar yöntemi eleman tipleri

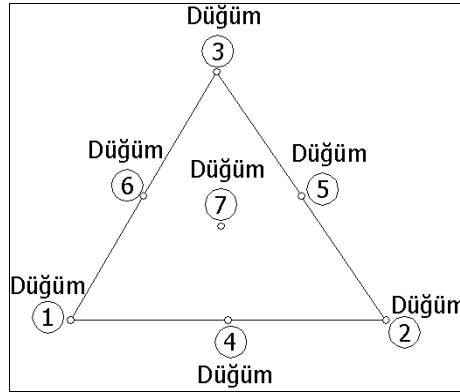
Analizi yapılacak bir parçada doğru sonuçlar alınabilmesi için en uygun bir şekilde sonlu elemanlara bölünmelidir. Sonlu elemanlara bölme işleminde sürekli ortamın boyutuna ve parçanın geometrisine en uygun elemanın şekli seçilmelidir. Seçilen sonlu elemanlar bir, iki veya üç boyutlu olabilirler. Genelde, sonlu elemanın sınırları düzgün olarak seçilmesi yanısıra bazı durumlarda eğri sınırlı elemanlarında kullanılması gerekebilir [1].

Ortam geometrisi, malzeme özellikleri, yükleri ve yer değişimleri bir bağımsız uzay koordinatı cinsinden ifade edilebiliyorsa bir boyutlu sonlu elemanlar tercih edilir [3].



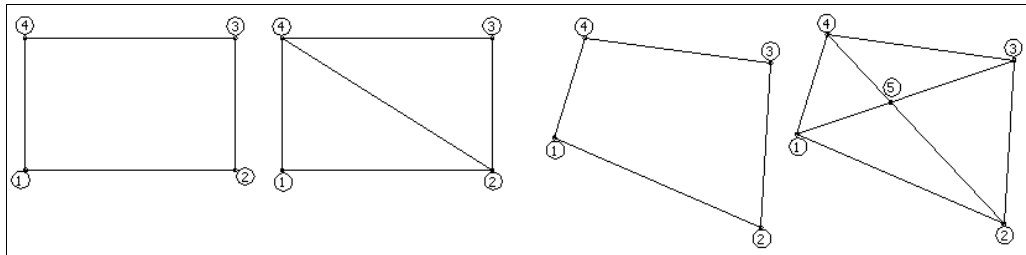
Şekil 5.41 : Bir boyutlu bir sonlu eleman.

Birçok problem, yaklaşık olarak, iki boyutlu sonlu elemanlarla çözülebilir. İki boyutlu eleman tipleri arasında en basiti üçgen elemandır.



Şekil 5.42 : Üçgen tipi sonlu eleman örneği.

Birçok problemlerde iki boyutlu dikdörtgen, iki üçgenli dikdörtgen, dörtgen elemanı ve dört üçgenli dörtgen elemanı tipi sonlu elemanlar da kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde yukarıda bahsi geçen değişik iki boyutlu dörtgen sonlu eleman tiplerine örnekler soldan sağa doğru verilmiştir.



Şekil 5.43 : İki boyutlu değişik dörtgen geometri biçimli sonlu elemanlar.

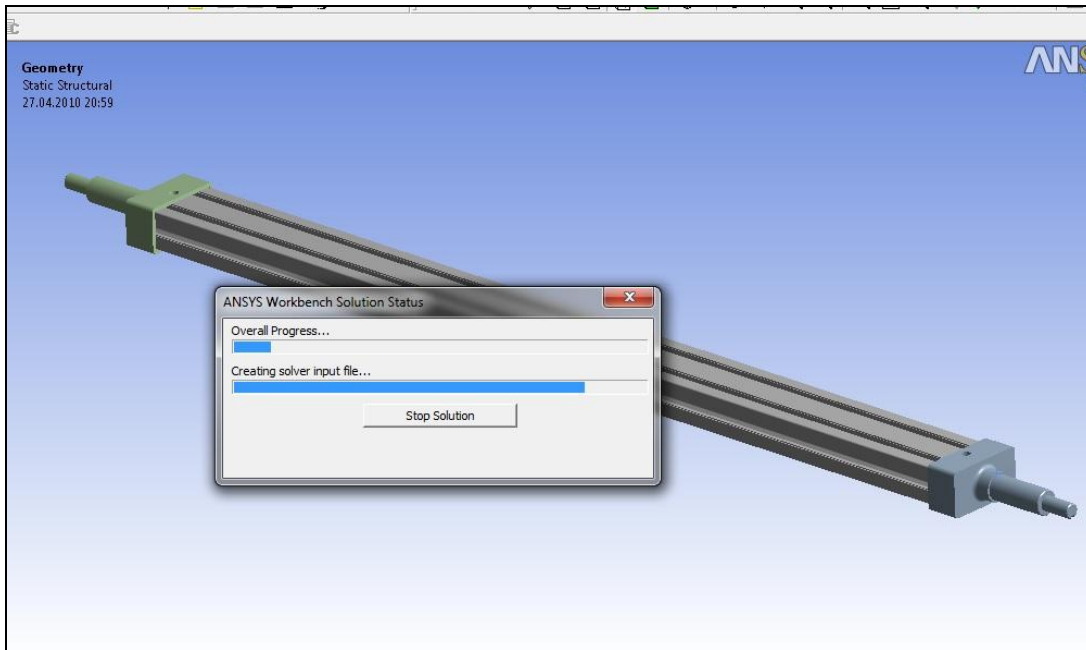
5.7.5 ANSYS sonlu Elemanlar paket programı

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi karmaşık ve çözülmesi uzun zaman alan problemlerin bilgisayarlarda çözülmesi hem zaman tasarrufundan hem de işlemin daha doğru sonuçlar vermesi bakımından çok önemlidir. Bilgisayarlarda, Sonlu Eleman Metodu çeşitli paket programlar vasıtasıyla basit bir şekilde modelleme yapılmakta, daha sonra bu modeller küçük sonlu elemanlara bölünerek analizler yapılmaktadır.

Günümüzde, SEM uygulamaları için birçok yazılım geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, ANSYS, NASTRAN&PATRAN, ABAQUS/CAE vs. dir. Bazı SEM yazılımları kendi bünyesinde modelleme paketleri bulundurmasına karşı çoğunlukla karmaşık geometrilerin modellenmesi uzun zaman almakta, bazen ise hiç yapılamamaktadır. Bundan dolayı, iki ve üç boyutlu problemlerin modellenmesi amacıyla çeşitli paket programlar hazırlanmıştır. Bunlar arasında Catia, UGS, Solidworks, AutoCAD vs. programları en çok bilinenleridir.

5.8 Kritik Kesitlerin Sonlu Elemanlar Metoduyla Analizi

Daha önce sayısal hesabı yapılan, hareketli kısmı taşıyan taşıyıcı şaft sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılmıştır. Aşağıdaki şekilde hareketli kısmı taşıyan, al profil ve paslanmaz çelik malzemeden CNC de imal edilmiş uç şaftlardan oluşan, taşıyıcı şaft analiz edilmiştir. Analiz statik analiz olarak değerlendirilmiştir.

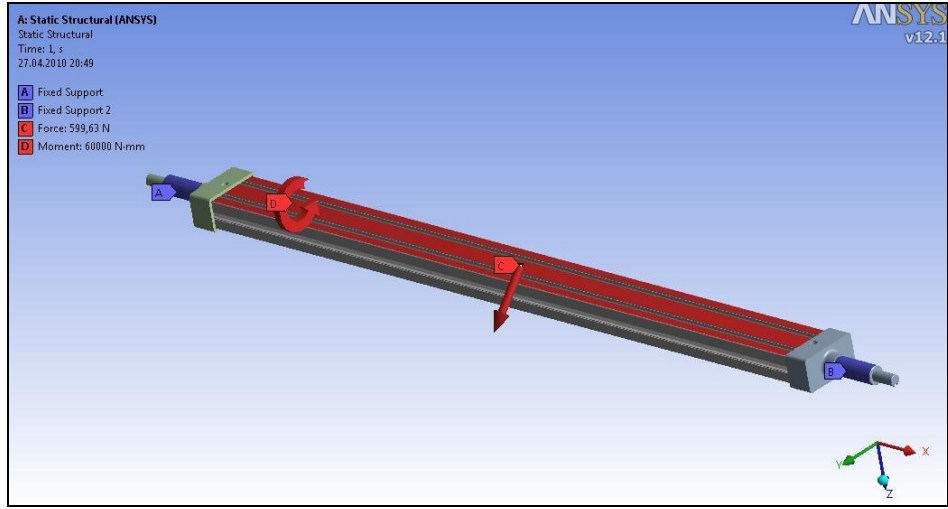


Şekil 5.44 : Taşıyıcı şaft.

5.8.1 Yükleme Koşulları ve Modelleme

Sonlu elemanlar metodu ile kritik kesitlerin analizi yapılmıştır. Şaftın baş kısımlarında sıkı geçme, şekil bağlı olarak bulunan paslanmaz uç şaftlar ile ortada bulunan Al profil yapııştırma olarak birbirine bağlanmıştır.

Şaftın yükleme durumu aşağıdaki şekilde gibidir. Hareketli kısmın 45° eğik olduğu durumda şaft üzerine 600 N düşey olarak hareketli kısmın ağırlığı etkimektedir. Hareketli kısmın ağırlık merkezi şaft ekseninden 100 mm eksantrik olduğundan dolayı kuvvet burulma momenti oluşturmaktadır. Bundan dolayı şaft üzerine 600 N olan ağırlık kuvvetinin yanında 60000 Nmm burulma momenti de sisteme eklenmiştir.



Şekil 5.45 : Taşıma şaftı yükleme durumu-1.

Aşağıdaki şekilde ise kuvvetin nasıl etkidiği farklı bir şekilde gösterilmiştir. Model kurulurken parçanın 45 derece çevrilmesi yerine etkiyen kuvvet çevrilmiştir.



Şekil 5.46 : Taşıma şaftı yükleme durumu-2.

5.8.2 Parçanın meshlenmesi ve malzeme özellikleri

Kullanılan parça aşağıda şekildeki gibi meshleme yapılmıştır. Malzeme özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Toplam düğüm (nod) sayısı: 275371 adet

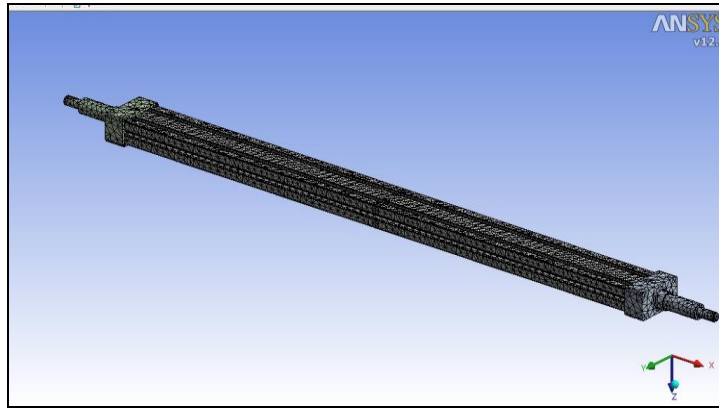
Toplam eleman sayısı: 139565 adet

Eleman tipleri: Solid 186 (küp) ve Solid 187 (piramit) eleman tipleri kullanılmıştır.

Küp eleman tipi paslanmaz şaft için, piramit olan ise Al profil için kullanılmıştır.

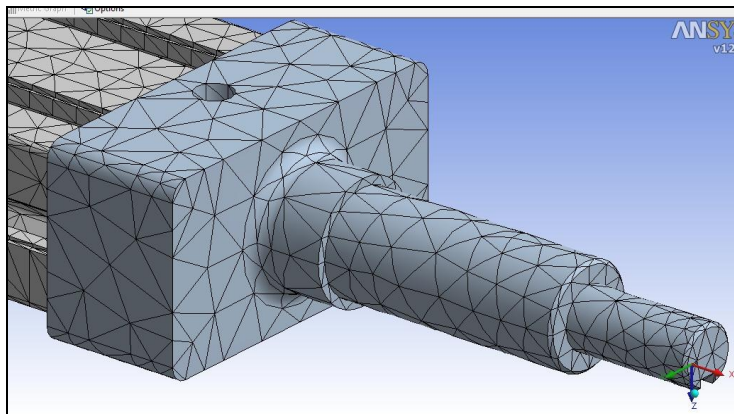
Çizelge 5.15 : Malzeme ve mukavemet özellikleri

	AL 6063	Paslanmaz Çelik 304
Özellik	Değer	Değer
Akma Gerilmesi, σ	89,6 MPa	215 MPa
Elastik Modül, E	68,9 Gpa	200 Gpa
Poison Oranı	0,33	0,29
Kayma Modulu, G	25,8 Gpa	86 Gpa

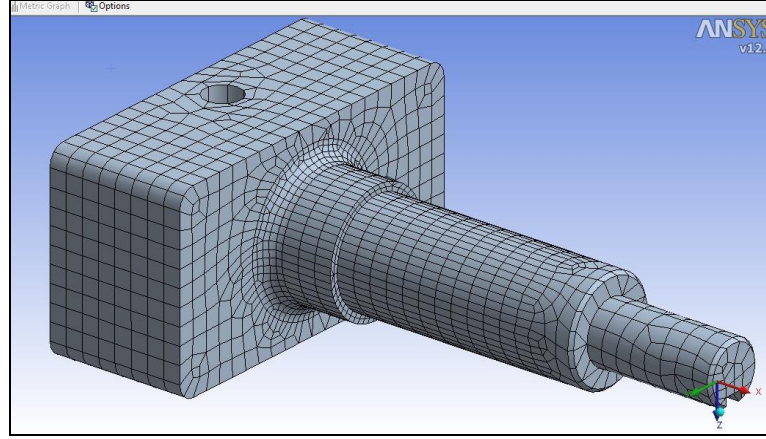


Şekil 5.47 : Alüminyum profilin meshlenmesi.

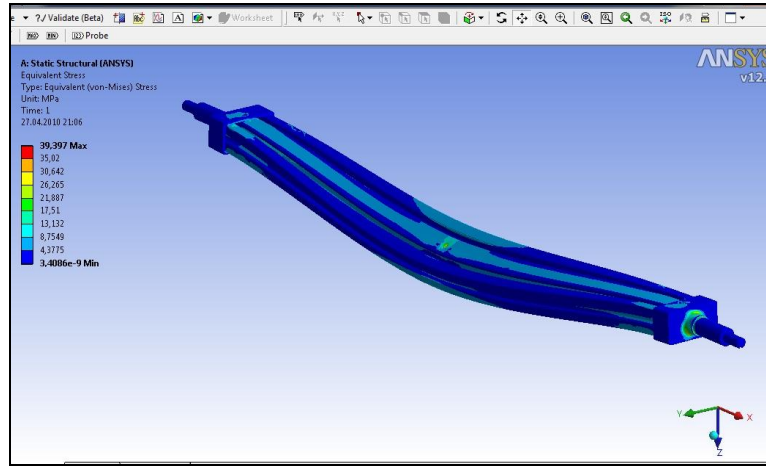
Daha önce üçgen eleman kullanılan paslanmaz şaftın eleman tipi küp eleman olarak değiştirilmiştir.



Şekil 5.48 : Alüminyum profil ve paslanmaz şaftın meshlenmesi.

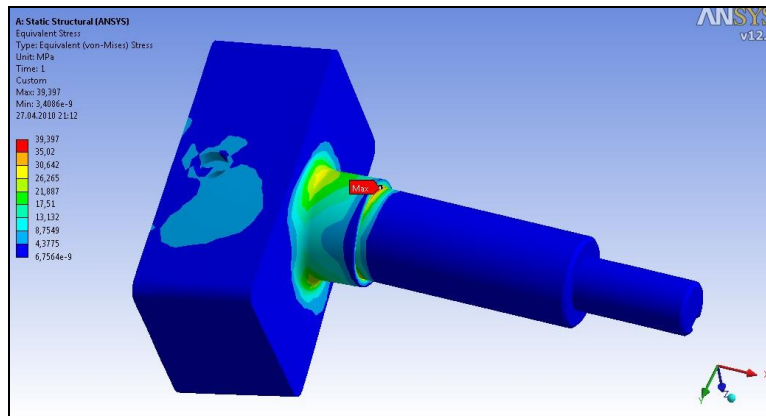


Şekil 5.49 : Paslanmaz şaftın küp eleman ile meshlenmesi.



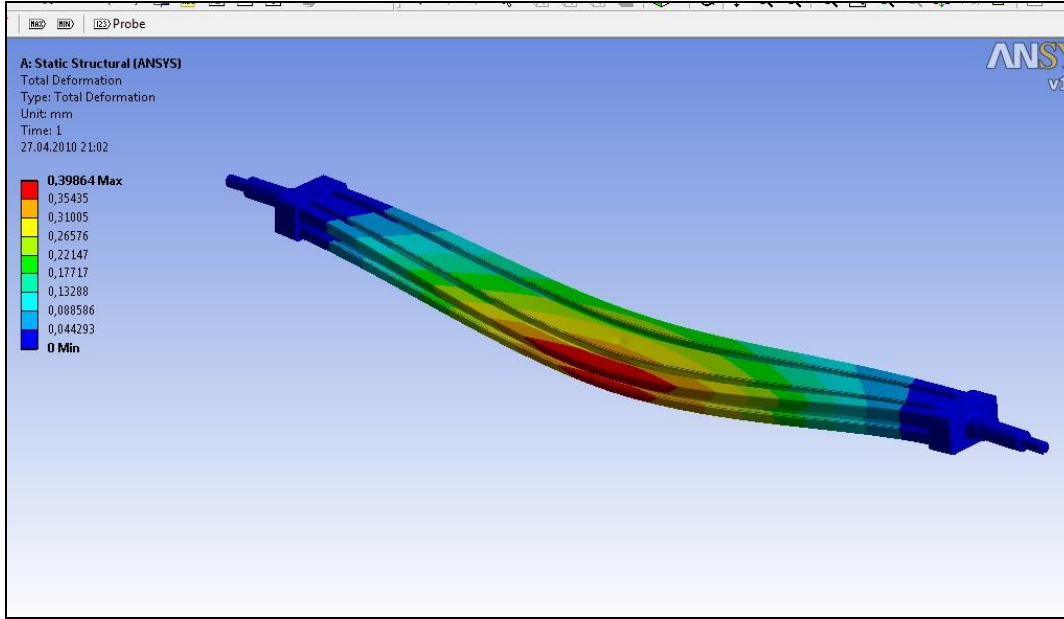
Şekil 5.50 : Taşıyıcı şaft üzerindeki stres dağılımı.

Maksimum gerilme paslanmaz şaft üzerinde oluşmaktadır. $39,137 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmaktadır. Sistem üzerindeki yükleme koşulları da düşünüldüğü zaman maksimum stresin paslanmaz şaft üzerine hem burulmaya hem de eğilmeye zorlanan kısımda çıkması uygun olarak görülmektedir. Alüminyum profil üzerinde ise maksimum 10 N/mm^2 gerilme oluşmaktadır.



Şekil 5.51 : Maksimum gerilme dağılımı.

Maksimum deformasyon ise alüminyum profilin orta kısmında 0,4 mm olarak bulunmuştur. Paslanmaz şaft üzerinde ise 0,02 mm deformasyon olmaktadır.



Şekil 5.52 : Maksimum deformasyon.

5.9 Mekanik Sistemlerin Kontrolü ve Elektriksel Kısımlar

Sistem üzerindeki hareket mekanizmalarının hepsi bir elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Sistem üzerinde;

- Şırınga hareket mekanizmasını tahrik eden 3 adet
- Kamera ve Işık mekanizmasını tahrik eden 1 adet
- Numune tablasını tahrik eden 1 adet
- 45 derece sistem eğimi için 2 adet olmak üzere toplam 7 adet elektrik motoru bulunmaktadır.

Bu elektrik motorları AC senkron motorlardır. Ayrıca, saat yönünde ve tersi yönde seçilebilir olarak dönebilmektedir. Motorlar senkron motor olduğu için dönme hızları yüklemeye ile çok az değişmektedir.

Bu motorları kontrol edebilmek için bir kontrol ünitesi kurulmuştur. Aşağıda gösterilen mekanizma kontrol ünitesi ile bütün mekanizmalar kontrol edilebilmektedir. Mekanizma kontrol ünitesinde kullanıcı damlanın konumunu bilgisayar ekranından bakarak bulmaktadır. Kontrol ünitesi üzerinde bir adet acil ve stop işlemine yarayan buton bulunmaktadır.



Şekil 5.53 : Mekanizma hareket kontrol ünitesi.

Sistem üzerindeki motorların elektriksel kontrolü ise bir elektrik panosu ile yapılmaktadır. Elektrik motorlarına bütün elektrik bu elektrik panosu üzerinden dağıtılmaktadır.



Şekil 5.54 : Elektrik sistemleri kontrol panosu.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde yaygınlaşan yüzey kaplaması, boyama vb. işlemlerin ve kaplamaların yüzey özelliklerini hassas bir şekilde ölçebilen bir temas açısı ölçüm cihazı tasarlanmıştır.

Temas açısı ölçüm cihazı öncül çalışmalar sonucunda tasarım kriterleri belirlenen cihaz speklerini karşılamaktadır.

Numune tablası numunenin kalınlığına göre ayar yapılarak farklı kalınlıkta numunelerde olsa ölçülebilmektedir. Numune tablası üzerinde 500x500 mm ebatlarına kadar numuneler ölçülebilmektedir. Numune tablasının üzerindeki numuneler sistem 45 derece eğimli durumunda bir tutucu ile düşmesi engellenmiştir. Şırınga hareket mekanizması numune tablası üzerinde 500x500 mm'lik numune kısmı boyunca hareket edebilmektedir. Ayrıca, numune üzerine damlanın rahat bir şekilde bırakılmasını sağlamak için iğne numune yüzeyine dik olarak hareket edebilmektedir. Kamera ışık mekanizmaları kendi içerisinde eksenleri çakışık olarak senkronize bir şekilde hareket edebilmektedirler. Hareketli kısmın tamamı 45 derece maksimum eğilebilmektedir. Bütün bu mekanizmalar bir kontrol ünitesi ile kullanıcı tarafından kontrol edilebilmektedir.

Kamera, ışık ve damlatma sistemi bilgisayar programları ile kontrol edilebilmektedir. Fotoğrafi çekilen damlaların temas açısı kullanılan Image-J programı ile ölçülebilmektedir. EES de yazılan bir program ile yüzey gerilimi hesaplanabilmektedir.

Bu sayede büyük ebatta numuneler de dâhil olmak üzere hepsinin yüzey enerjisi tespit edilebilmektedir.

Çizelge 6.1 : Kalibrasyon plakası ölçüm sonuçları.

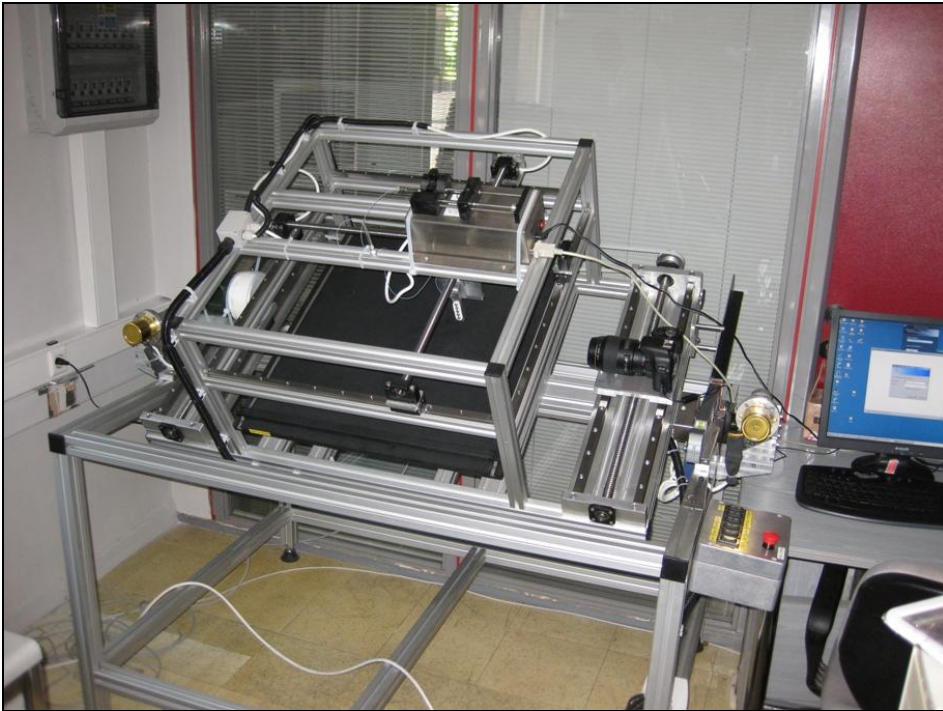
Gerçek Değer, Derece °	Ölçülen Değer, Derece °
30	30,7
60	59,9
90	89,3
120	119.2

Sistemde kritik kesit olarak incelen taşıyıcı şaft analitik ve sonu elemanlar ile yapılan hesaplamalar sonucunda;

Analitik hesap (birleşik gerilme) : $37,5 \text{ N/mm}^2$

Sonlu Elemanlar (Von Misses) : $39,1 \text{ N/mm}^2$

Yukarıdaki hesaplar bulunmuştur. Arada % 4'lük bir fark bulunmaktadır. Burada sistem emniyet katsayısı yüksek seçilmiştir. Bunun nedeni, sistem üzerinde ölçüm hassasiyetini etkileyecek herhangi bir sehim ve deformasyon olmamasına göre tasarlanmıştır. Sonuç olarak aşağıdaki şekildeki gibi, bütün bu görevleri yerine getirebilen bir cihaz kullanılmaktadır.



Şekil 6.1 : Temas açısı ölçüm cihazı.

Cihaz üzerinde yapılması istenen öneriler ise aşağıdaki gibidir:

- Cihazın tamamen üstünün kapatılarak, ışık ve toz almasını engellemek, böylelikle cihaz üzerinde yapılan ölçümler sırasında dış ortamdan gelen ışıklardan etkilenmeyen ve daha kaliteli bir damla fotoğrafı elde etmiş olacağız. Bu durum ölçüm hassasiyetimizi arttıracaktır.
- 45 derece açı yaptıran tahrik motorlarınının 30 devir/dakika olan hızlarını 5 devir/dakika olan motorlarla değiştirmek, bu değişiklik daha hassas açı, ivmelenme çok az olacağı için daha az titreşim olacaktır. Böyle bir motorun kullanımı cihaz eğimli sistemler için kullanılmaya başladığında yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Fetvacı, M. C.**, 1999. Sonlu Elemanlar Metodu ile Modellemede Temel Prensipler, *Mühendis ve Makina*, Sayı: 470, Mart 1999
- [2] **Akkurt, M.**. 2005. Makine Elemanları, İTÜ, İstanbul.
- [3] **Savcı, M., Arpacı, A.**,1999, Mukavemet, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [4] **Url-1** <<http://www.birlikrulman.com>>, alındığı tarih 15.10.2009.
- [5] **Url-2** <<http://www.sigmaprofilmarket.com/tr.html>>, alındığı tarih 20.10.2009.
- [6] **Url-3** <<http://www.ramehart.com/goniometers/index.htm>>, alındığı tarih 22.08.2009.
- [7] **Url-4** <<http://www.kruss.de/en/theory/measurements/surface-tension/introduction.html>>, alındığı tarih 25.09.2009.
- [8] **Url-5** <<http://www.tribology-abc.com/sub15.htm>>, alındığı tarih 25.10.2009.
- [9] **Url-6** <<http://www.matweb.com>>, alındığı tarih 25.11.2009.
- [10] **Url-7** <<http://w3.balikesir.edu.tr/~sedacan/yuzey.html>>, alındığı tarih 09.10.2009.
- [11] **Url-8** <<http://www.firsttenangstroms.com/papers/papers.html>>, alındığı tarih 09.01.2010.
- [12] **Url-9** <http://www.cn-yg.com/en/products.asp?c_id=3>, alındığı tarih 12.01.2010.
- [13] **Url-10** <http://www.bonfiglioli.com.tr/prodotti_industriali_au.html>, alındığı tarih 25.11.2009.
- [14] **Url-11** <<http://www.beltcorp.com/timing.html>>, alındığı tarih 12.11.2009.
- [15] **Url-12**
<http://www.biasis.com.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=7>, alındığı tarih 20.09.2009.
- [16] **Url-13** <<http://www.photozone.de/>>, 28.10.2009.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Osman CENGİZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Bahçe, 01.04.1983

Adres: Çakmak Mah., Aktaş Sitesi, Ümraniye/İSTANBUL

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü