



**YENİ TİP DÖNER EĞİLMELİ YORULMA TEST  
CİHAZININ TASARLANMASI**

**Kübra SALMAN**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mahir UZUN**

**2017**

**Her hakkı saklıdır**

**T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİ TİP DÖNER EĞİLMELİ YORULMA TEST  
CİHAZININ TASARLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kübra SALMAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mahir UZUN**

**Nisan 2017**

T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ TİP DÖNER EĞİLMELİ YORULMA TEST CİHAZININ  
TASARLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra SALMAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE  
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez \_\_.\_\_.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy  
çokluğu (uygun olan kalacak, diğeri silinecektir) ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.  
Aydın TURGUT  
Jüri Başkanı

Prof. Dr.  
Vedat SAVAŞ  
Üye

Yrd. Doç. Dr.  
Mahir UZUN  
Üye

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. İbrahim Y. ERDOĞAN  
Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Tez çalışmaları süresince yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmaların tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mahir UZUN'a teşekkür ederim. Araştırmalarım esnasında bana teknik konularda bilgi birikimini paylaşan sayın Yrd. Doç. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU'na teşekkür ederim.

Bilgisayar programlarında gerekli analizler için yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Müjdat FIRAT'a, Arş. Gör. Burak TANYERİ'ne ve de Arş. Gör. Dr. Yusuf BİLGİÇ'e sonsuz teşekkür ederim.

Yine bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen annem-babama Fikriye- Suat YILDIZ'a, aileme ve de özellikle tezin son aşamalarının hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı eşim Oğuz SALMAN'a ve biricik kızım Elif Duru SALMAN'a sonsuz teşekkür ederim.

**Kübra SALMAN**

**Bingöl 2017**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
3. YORULMA HASARI VE YORULMA TEST CİHAZLARI.....	11
3.1. Yorulma Deneyi Test Cihazları.....	18
3.1.1. Endüstriyel Amaçlı Yorulma Deney Cihazları.....	19
3.1.2. Laboratuar Amaçlı Yorulma Deney Cihazları.....	20
3.1.2.1. Eksenel Çekme Basma Gerilmeleri Uygulayan Cihazlar.....	23
3.1.2.2. Eğme Gerilmeleri Uygulayan Cihazlar.....	24
3.2. Döner Eğilmeli Yorulma Test Cihazının Çalışma Şekilleri.....	28
4. DİŞLİ HASARLARI VE DİŞLİ HASARI TEST CİHAZLARI.....	29
4.1. Dişli Çark ve Dişli Çark Mekanizmaları.....	29
4.2. Dişli Çarklarda Oluşan Hasarlar.....	30
4.2.1. Aşınma.....	30
4.2.2. Kırılma.....	31
4.2.3. Yüzey Yorulması Hasarları.....	32
4.2.3.1. Pitting.....	33

4.2.3.2. Spalling (Pullanma).....	33
4.2.3. Plastik Akma.....	34
4.2.4. İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar.....	34
4.3. Dişli Aşınma Test Cihazı.....	35
<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>38</b>
5.1. Hesaplamalar.....	38
5.1.1. Mil Hesabı.....	38
5.1.1.1. Milin Burulmaya Göre Hesabı.....	39
5.1.1.2. Milin Eğilmeye Göre Hesabı.....	40
5.1.2. Kama Hesabı.....	41
5.1.3. Flanş Hesabı.....	42
5.1.3.1. Eksen Çapı.....	43
5.1.3.2. Flanş Dış Çapı.....	43
5.1.3.3. Flanş Et Kalınlığı.....	43
5.1.3.4. Cıvata Çapının Hesabı.....	43
5.2. Tasarım ve Montaj.....	45
5.3. Tasarım Parçaları.....	45
5.3.1. Kapalı Devre Dişli Kutusu.....	45
5.3.2. Tork Mili.....	46
5.3.3. Motor Mili.....	46
5.3.4. Tork Kaplini.....	47
5.3.5. Dişli Deney Kutusu.....	47
5.3.6. Döner Eğilmeli Yorulma Test Numunesinin Motor Miline Montaj Hali.....	48
<b>6. SONUÇLAR.....</b>	<b>51</b>
6.1. Gerilme Analizi.....	52
6.1.1. Flanşlı Milin Analizi.....	52
6.1.2. Yorulma Numunesinin Analizi.....	53
6.1.2.1. Numunenin Eğilmeye Göre Analizi.....	53
6.1.2.2. Numenin Eğilmeli Yorulma Analizi.....	55
6.1.3. Dişli Aşınma Test Numunesinin Gerilme Analizi.....	57

KAYNAKLAR.....	61
EKLER.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	71



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\tau_{bem}$	: Burulma emniyet gerilmesi
$T_{dD}$	: Burulma gerilmesi
$s$	: Emniyet katsayısı
$Md$	: Moment
$Me_{maks.}$	: Maksimum eğilme momenti
$F$	: Etki eden mil kuvveti
$d_{mil}$	: Mil çapı
$N$	: Motor gücü
$n$	: Motor devri
$\tau_{em}$	: Kayma emniyet gerilmesi
$F_{\check{c}}$	: Çevresel kuvvet
$A$	: Kaplin alanı
$\sigma_{AK}$	: Akma gerilmesi
$F_{maks}$	: Mil üzerindeki maksimum kuvvet
$\sigma_{em}$	: Akma emniyet gerilmesi
$\sigma_{eT}$	: Eğilme tam değişken mukavemet gerilmesi
$\sigma_{Bem}$	: Bileşik emniyet gerilmesi
$\alpha_0$	: Zorlanma katsayısı
$K_b$	: Çap düzeltme katsayısı
$K_{\check{C}}$	: Çentik tesir katsayısı
$L$	: Yükün aksenal olarak uygulandığı yerden yatağa olan uzaklığı
$P_{em}$	: Basma emniyet gerilmesi
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
$L_{kama}$	: Kama uzunluğu



$b$	: Kama genişliği
$\sigma_e$	: Eğilme gerilmesi
$d_e$	: Flanş eksen çapı
$D$	: Flanş dış çapı
$c$	: Flanş et kalınlığı
$k$	: Sürtünme katsayısı
$M_s$	: Sürtünme momenti
$z$	: Cıvata sayısı
$d_1$	: Cıvata çapı



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Yorulma deneyi .....	13
Şekil 3.2. a)Sünek malzeme b)Gevrek malzeme .....	14
Şekil 3.3. Yorulmada çatlağın oluşması ve ilerlemesi .....	15
Şekil 3.4. Döner mil deneyi .....	17
Şekil 3.5. Demir esashlı malzeme.....	17
Şekil 3.6. Yorulma test cihazının genel görünüşü.....	20
Şekil 3.7. Yassı yorulma deney çubuğu.....	23
Şekil 3.8. Eksenel eğmeli yorulma deney cihazının şematik çalışma prensibi.....	24
Şekil 3.9. Eksenel çeki ve bası gerilmeleri uygulayan, sabit genlikli yorulma cihazı.....	24
Şekil 3.10. (a,b) Dairesel kesitli deney çubukları.....	25
Şekil 3.11. Yorulma deney cihazı ve elemanları.....	25
Şekil 3.12. Yorulma deney cihazı ve elemanları.....	26
Şekil 3.13. “Schenk (Simplex)” modeli yorulma cihazı.....	26
Şekil 3.14. Düzlemsel eğme gerilmesi uygulayan “Sonntag” modeli yorulma cihazı.....	26
Şekil 3.15. Samuel Denison Ltd. yorulma test cihazı.....	27
Şekil 3.16. Selçuk Üniversitesi’nde bulunan “döner eğilmeli yorulma seti”.....	27
Şekil 3.17. Döner eğilmeli test cihazı.....	28
Şekil 3.18. Döner eğilmeli yorulma test cihazı.....	28
Şekil 4.1. Dişli eksenleri paralel konumda .....	29
Şekil 4.2. Diş dibi kırığı.....	31
Şekil 4.3. Pitting .....	32
Şekil 4.4. Spalling.....	33

Şekil 4.5. Soğuk akma.....	34
Şekil 4.6. Dişli aşınma test cihazı.....	35
Şekil 4.7. Dişli aşınma test cihazının şematik gösterimi.....	36
Şekil 5.1. Tork milinin şematik gösterimi.....	39
Şekil 5.2. Kamının şematik gösterimi.....	41
Şekil 5.3. Flanş şematik gösterimi.....	43
Şekil 5.4. Kapalı devre dişli kutusu montaj görünümü.....	46
Şekil 5.5. Tork mili.....	46
Şekil 5.6. Motor mili.....	47
Şekil 5.7. Tork kaplini.....	47
Şekil 5.8. Dişli deney kutusu.....	48
Şekil 5.9. Döner Eğilmeli Yorulma deney numunesinin yatak ve tutucuya montajı.....	48
Şekil 5.10. Yeni tip dişli aşınma test cihazı.....	49
Şekil 5.11. Yeni tip döner eğilmeli yorulma test cihazı.....	50
Şekil 6.1. Toplam deformasyon .....	52
Şekil 6.2. Eşdeğer gerilme.....	53
Şekil 6.3. Numunenin eğilme analizinde toplam deformasyon.....	54
Şekil 6.4. Numunenin eğilme analizinde maksimum uzama miktarı .....	54
Şekil 6.5. Numunenin eğilme analizinde maksimum kayma gerilmesi.....	55
Şekil 6.6. Numunenin ömrü.....	56
Şekil 6.7. Numunenin eğilmeli yorulma analizinde emniyet faktörü.....	56
Şekil 6.8. Numunede oluşan hasar miktarı.....	57
Şekil 6.9. Çark dişlideki bir diş üzerinde oluşan maksimum uzama miktarı.....	58
Şekil 6.10. Pinyon dişlideki bir diş üzerinde oluşan maksimum uzama miktarı.....	58
Şekil 6.11. Çark dişlideki bir diş üzerinde oluşan bileşik gerilme.....	59
Şekil 6.12. Pinyon dişlideki bir diş üzerinde oluşan bileşik gerilme .....	60

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Yorulma olayının başlangıcını etkileyen faktörler.....	13
Tablo 3.2. Yorulma testlerinde yük uygulama tipleri.....	22



# YENİ TİP DÖNER EĞİLMELİ YORULMA TEST CİHAZININ TASARLANMASI

## ÖZET

Bu çalışmada, dişli aşınma deneylerini ve döner eğilmeli yorulma deneylerini aynı anda yapabilen tek bir cihaz tasarlanmıştır. Gerek dişli aşınma tezgahı olan (FZG) tezgahı ve gerekse döner eğilmeli yorulma test cihazının çalışma prensiplerinin birbirine çok yakın olması dolayısı ile bu cihazlardan (FZG) tezgahı tasarlanmış ve bu tezgah üzerinde yapılan bir tasarım değişikliği ile bu tezgahın aynı anda döner eğilmeli yorulma tezgahının yapacağı işi tek başına yapma olanağı sağlanmıştır. Tasarımı yapılmış olan bu yeni test cihazının, gerekli mukavemet hesaplanmaları yapılarak, Solidworks programı kullanılarak test cihazının elemanlarının çizimi yapılmış ve cihaz modellenmiştir. Kritik parça olan flanşlı mil üzerinde ANSYS programı kullanılarak gerilme analizi yapılmış ve tasarım doğruluğu kanıtlanmıştır. Böylelikle hem döner eğilmeli yorulma ve hem de dişli aşınma deneylerinin yapılabileceği tek bir yeni tip döner eğilmeli yorulma test cihazı tasarlanmıştır. Tasarlanan bu cihazın kullanılması ile hem tezgah maliyeti yarıya indirilmiş olacak, hem de tezgahların yer kaplaması yönünden ciddi şekilde tasarruf edilmiş olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Dişli çarklarda aşınma, döner eğilmeli yorulma, FZG tezgahı, ANSYS.

# **DESIGNING A NEW TYPE ROTARY BENDING FATIGUE TEST DEVICE**

## **ABSTRACT**

In this work, a single device is designed which can perform gear wear tests and rotary bending fatigue tests at the same time. Since the working principles of the gear wear bench (FZG) and the rotary bending fatigue test equipment are very close to each other, (FZG) was designed from these devices and A design change made on this machine has made it possible to do the work that the rotary tilted fatigue machine will do on its own by this same machine. By making the necessary strength calculations of the new designed test device, Using the Solidworks program the elements of the test device were drawn and modeled. Stress analysis was performed on the critical part flanged shaft using the ANSYS program and the design accuracy was proven. Thus, a single new type of rotary bending fatigue tester has been devised in which both rotary bending fatigue and gear wear tests can be performed. With the use of this designed device, both the machine cost will be reduced by half and the worktops will be saved considerably due to space occupation. With the use of this designed device, both the machine cost will be reduced by half and the worktops will be saved a little field.

**Keywords:** Abrasion in gearwheels, rotary bending fatigue, FZG workbench, ANSYS.

## 1. GİRİŞ

Tekrarlanan ya da yükün çevrimsel uygulamaları ile zorlanan malzemelerin mukavemeti azalır. Çekme mukavemetinin ve akma mukavemetinin çok altındaki gerilme değerlerinde bile malzemede kırılma meydana gelebilir, bu olaya yorulma denilmektedir. Birçok makine parçaları ve yapı elemanları kullanıma esnasında tekrarlanan gerilmeler ve titreşimler altında çalışmaktadır. Tekrarlanan gerilmeler altında çalışan metalik parçalarda, gerilmeler parçanın statik dayanımından küçük olmalarına rağmen belirli bir yineleme sayısı neticesinde çoğunlukla yüzeyde bir çatlama ve bununla birlikte yorulma adı verilen kopmaya neden olurlar.

Dişli çarklar, güç ve hareket iletiminde kullanılan önemli makine elemanlarıdır. Bir makinenin düzenli ve doğru çalışması hareket iletimi ile doğru orantılıdır. Sistemde kullanılan bir dişlide arıza oluştuğunda üretimi durdurmaksızın o dişliyi değiştirebilmek gerekir ki bu durum özellikle sürekli üretim hatlarında kullanılan dişli çarklar için söz konusudur.

Makine elemanlarında yorulma, makine elemanının, tekrarlı yüklerle taşınması gereken yükler altında kırılması şeklinde tarif edilmektedir. Klasik hesap yöntemlerinde mukavemet; tasarım, kullanım şartları ve diğer etkenler dikkate alınarak elemanların mukavemeti, elastisite teorisine göre yapılır. Fakat yorulmadaki zaman bağımlı tekrarlı yükler altında meydana gelen kırılmalar, bu hesaplamaların yeterli olmadığını ortaya koymuştur. Çünkü tekrarlı dinamik yüklemelerdeki hesaplamalarda yorulmanın dikkate alınması gerekir. Yorulmanın meydana geliş biçimi tam olarak bilinmemekle beraber, plastik şekil değiştirmelerin de önemli olduğu kabul edilmektedir. Yorulmanın, çatlağın teşekkülü, çatlağın yayılması ve malzemenin kopması gibi üç kademede meydana geldiği düşünülmektedir. Yorulma davranışına etki eden faktörlerin çok sayıda olmaları ve karmaşık etkide bulunmaları nedeniyle bu konudaki her türlü çalışma girişimleri sınırlı kalmış ve uzun yıllar yorulma ile ilgili standartlar hazırlanamamıştır. Yorulma kırılması gevrek türde olduğundan, kırılmanın malzemenin

neresinde ve ne zaman oluşacağını önceden bilmek zordur. Geçmişte birçok kazalara neden olan malzeme yorulması konusu üzerinde yoğun çalışmalar yapılmış olup, halen bu tür çalışmalar devam etmektedir. Farklı araştırma merkezlerinin özel makine ve numuneler kullanarak konu ile alakalı çalışmaları sürdürmektedir.

Yorulma test makinelerinin en temel özelliği test sırasında istenen şekilde ve mertebede gerilme oluşturulabilmektedir. Test sırasında, uygulanan ağırlıkta oluşacak değişim, makinenin %2'lik kritik çalışma kapasitesini aşmaması gerekir. Makinelerde uygulanan basınçların kontrolünü ve de değişimini gösterecek düzeneğin bulunması gerekir.

Dişli çarklarda oluşan aşınmalarla ilgili birçok araştırma ve deneyler yapılmış olup ve halen devam etmektedir. Diş yanlarının teması şeklinde çalışan dişlilerde, farklı yükler ve sürtünme sonucu oluşan ısınmalar, kullanılan yağlama yağının viskozitesini etkilemektedir. dolayısıyla aşınmaların gürültü ve titreşimlerin artması sonucu performans düşmelerine neden olmaktadır. Dişli sistemlerinin endüstri alanında da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmasıyla çeşitli deneysel ve analitik yöntemlerle diş yüzeylerindeki gerilme türleri ve hasar şekilleri araştırılmaktadır. Senelerdir devam eden bu incelemeler, dişin mukavemet değerini arttırmaya yönelik, uğradıkları bozulma nedenlerini ve çeşitlerini, bunlara karşı alınması gereken önlemleri kapsamaktadır. Ekonomik ve teknolojik nedenler, dişli ebatlarının küçük olmasını zorlamıştır. Bu sebeple dişlilerde aşınma ve sürtünmeden dolayı oluşan kayıplar ciddi bir problem olarak önemli şekilde maddi kayıplara neden olmuştur..Dişlilerin pek az kırıldığını, genellikle aşınarak hasara uğradığını görülmüştür.

Birçok makine parçası yorulma davranışı gösterir. Dişliler de bunlardan biridir. Yorulma aşınması (pullanma) ve diğer yorulma etkileri Hertz basıncının maksimum olduğu tek hat kavrama çizgisi boyunca gerçekleşir.

Gerek dişli aşınma tezgahı (FZG) ve gerekse döner eğilmeli yorulma tezgahının çalışma prensiplerinin birbirine çok yakın olması dolayısı ile bu tezgahlardan (FZG) tezgahı üzerinde yapılacak bir tasarım değişikliği ile bu tezgahın aynı anda iki tezgahın yapacağı işi tek başına yapma olanağı sağlayacaktır. Böylelikle hem döner eğilmeli yorulma ve hem de dişli analizlerinin yapılabileceği tek test cihazı elde edilerek, hem tezgah



maliyeti yarıya indirilmiş olacak, hem de tezgahların yer kaplaması yönünden ciddi şekilde tasarruf edilmiş olacaktır.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

(Sun et al. 1994), plazma nitrürasyonu ile yüzey sertleştirme işlemi gören AISI 440C martenzitik paslanmaz çeliğin, kayma, yuvarlanma ve kayma-yuvarlanma etkisindeki, değişik ağırlıklardaki aşınma performansını inceleyerek, deneylerde kullanılan iki disk aşınma deney cihazının testleri sonucunda;

- Aşınma direncini, nitrürasyonu işleminin arttırdığı gözlenmiştir.
- Nitrürleme işlemi gören disklerde, aşınma oranının sırasıyla yuvarlanmada, kayma-yuvarlanmada ve kayma temasında geçildiğinde arttığı görülmüştür.
- Çoğunlukla uygulanan ağırlık arttığında, nitrülenmemiş olan diskin daha erken aşındığı görüldüğünden, nitrürleme işleminin aşınma direnci oranını arttırdığı daha net bir biçimde gözlenmiştir.

(Kukureka et al. 1995), asetal dişli çark malzemesi yağsız kayma-yuvarlanma etki koşullarında ağırlık, kayma miktarı ve yuvarlanma hızının tribolojik etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde iki disk aşınma deney makinesi kullanılmıştır. Değişik yükte, yuvarlanma hızında ve kayma oranında deneyler yapmışlardır. Çalışma koşulları altında, aşınma oranında büyük farklılıklar gözlenerek, aşınmanın hafif ve şiddetli olmak üzere iki kısma ayrıldığı görülmüştür. Aynı koşullarda dişlilerle de testler yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Disk ve dişli deneylerinin aşınma oranlarının ve mekanizmalarının benzediği gözlenmiştir. İki disk sonuçlarının kayma-yuvarlanma etkisindeki mühendislik elemanlarında aynen uygulanabileceği vurgulanmıştır.

(Glodezet al. 1997), dişli kenarlarında çukurlaşma direncinin tespit edilmesi için yeni bir model ortaya konmuştur. Çukurlaşmaya giden metal yorulması sürecinin hesaplama simülasyonu için kısa çatlaklar teorisi kullanılmıştır. Düz dişlilerin temas noktalarındaki stress yoğunluğu ve stres yoğunluğu faktörü ile çatlak uzunluğu arasındaki fonksiyonel

ilişki iki silindir eşdeğer modelini kullanan sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenmiştir. Eşdeğer silindirleri, en kötü yükleme durumu olan bir diş çiftinin birleşiminde iç noktadaki dişlilerin yanaklarının yarıçapları gibi eşit yarıçaplara sahiptir. Hesaplanan sonuçlara göre ve bazı temel materyal parametrelerinin dikkate alınmasıyla, dişli yanaklarının ömürleri, yüzeysel çukurlaşmanın beklendiği durumda başlangıç durumdan kritik çatlak uzunluğuna kadar çatlak yayılmasını gerektiren birçok stress döngüsü kullanılarak belirlenebilir. Model deneysel olarak da test edilmiş ve gerçek bir çift düz dişliye uygulanmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması sonucunda uyumlu bir durum ortaya çıkmıştır. Kırık mekanik modelle dişli ömrü tahminlerinde daha güvenilir bir yöntem geliştirmek için daha fazla teorik ve deneysel araştırmaya ihtiyaç vardır.

(Glodezet al. 1999), düz dişli çarkların diş temas noktalarındaki yüzey yorulma süreci için yeni bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Simülasyonlarıyla yüzey altı çatlaklarını görme imkânı bulunmaktadır. Simülasyon için sonlu elemanlar metodu ile birlikte çatlak büyüme teorisini kullanmışlar. Aynı zamanda düz dişli çiftinin gerçek modelini geliştirmek için deneysel testler de yapmışlar. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması ile birbiriyle güzel uyuşan sonuçlar elde etmişlerdir.

(Chen et al. 2000), PA 66 dişli çark malzemesinin yağsız ve kayma-yuvarlanma etkisindeki tribolojik davranışı iki farklı disk aşınma deney makinesiyle araştırılmıştır. Testlerin yapımında farklı ağırlık ve kayma oranları altında yapılmıştır. Burada yuvarlanma hızının kayma hızına olan oranı, kayma oranı belirlemektedir. Şayet iki yüzey temasının teğetsel hızları  $v_1$  ve  $v_2$  ise, kayma hızı  $(v_1 - v_2)$  yuvarlanma hızı ise  $(v_1 + v_2)/2$ 'dir. Ayrıca dişli çarklarla da aynı deneyler yapıp sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

(Başaran 2001) çalışmasında, çeşitli malzemelerden imal edilmiş, farklı özelliklere sahip diskler vasıtasıyla yapılan basınç, aşınma, çatlama ve yüzey yorulma deneylerinin sonuçları, geometrik benzeşim kurularak dişlilere aktarılmaya çalışılmıştır. Dişli çarklarda meydana gelen yüzey hasarlar ve pullanma hasarı oluşum süreçleri 1930'lu yıllardan bu yana bir çok deneysel ve teorik çalışmaya konu olmuş, bu hasarlar daha bilimsel metotlarla incelenmeye başlanmıştır.

(Wright and Kukureka 2001), dişli çark sistemi ile yaptıkları aşınma deneyleri ile iki pim disk ve disk aşınma deneylerini karşılaştırdıkları görülmüştür. Dişliler ve disklerde yapılan bu deneylerde alınan değerlerin değişik olmasına karşın trendlerinin eşit olduğu fark edilmiştir. Ancak, pim disk ve dişli aşınma sonuçlarını karşılaştırdıklarında fazlalık bir ahenk olduğu gözlenmiş ve pim diskin deney sonuçlarında yuvarlanma-kayma etkisindeki dişli çarklarda kullanılmaması vurgulanmıştır. Birçok dişli çark malzemelerinin aşınma çalışmalarının dişli çarklarda yapılabilindiği gibi disklerle de yapılacağı vurgulanmıştır.

(Dempsey and Abdollah 2002), farklı bir çalışmada ise dişlilerdeki hasarı belirlemek için bir tanı aracı geliştirilmiştir. Dişliler üzerindeki hasar yoğunluğunu belirlemek için izleme ünitesine iki farklı ölçüm teknolojisi olan dişli hasar analizi ve titreşimi monte edilmiştir. Bu entegre sistem bireysel ölçüm teknolojilerine göre daha gelişmiş bir algılama ve karar verme imkanı sunmuştur. Bu tanı aracı, NASA Glenn Düz Dişli Yorulma Testi Ekipmanı ile yapılan metal yorulması testlerinden elde edilen titreşim ve yağ hasar verilerinin toparlanmasıyla deneysel olarak geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu test düzeneğinde yapılan deneyler süresince çukurlaşma olsun ya da olmasın deneysel veriler toparlanmıştır. Elde edilen sonuçlar iki ölçüm teknolojisinin birleştirilmesinin düz dişlilerde çukurlaşmaların tespit edilmesi adına faydalı olacağını ortaya koymuştur.

(Aslantaş 2003), yapmış olduğu bir çalışmada, küresel grafitli dökme demirden imal edilmiş düz dişlilerin diş yüzeylerinde meydana gelen karıncalanma hasarlarının deneysel ve nümerik olarak analizini yapmıştır. Çalışmasının deneysel kısmında yorulma ve dişli numunelerini farklı östemperleme şartlarında ısıtma işlemine tabi tutmuştur. Östemperlemenin mekanik, yorulma ve karıncalanma oluşumu üzerindeki etkisini bulmaya çalışmıştır.

(Hamdi et al. 2003), yapılan başka bir çalışmada, arayüz fiziğinin anlaşılması için kullanışlı ve tamamlayıcı iki deneysel yaklaşım sunulmuştur. Çalışmada kesme işlemi ile farklı çark hızlarında parçacık davranışını ve aşınma mekanizmasını anlamak için yüksek hızlı çizik testi cihazı kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca spesifik aşınma enerji hesaplaması için de bir yaklaşım sunulmuştur.

(Eş 2004) çalışmasında, 16MnCr5 çelikten yapılmış disklerin işlem görmemiş yüzey ve yüzeyi sementasyonla sertleştirilmiş, yağlı ve kuru kayma-yuvarlanma koşullarında aşınma davranışı araştırılmıştır. Aşınma deneyleri değişik kayma-yuvarlanma oranlarıyla ve değişik yükler altında disk test cihazıyla yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda yüzeyi sertleştirilmiş olan disklerde kayma oranının artmasının sonucunda aşınmanın kademeli olarak şiddetlendiği görülmüştür. Ayrıca yüzeyi sertleştirilmiş diskler ile sertleştirilmemiş diskler arasında aşınma farkının olduğu gözlenerek, sertleştirilmiş yüzeylerin aşınma oranının daha düşük olduğu görülmüştür. Yüzeydeki sertleştirme işlemi aşınma direncini arttırdığı görülmüştür. Yağlı kayma-yuvarlanma temas koşulları bakımından da aşınmanın çok daha az olduğu kuru kayma-yuvarlanma koşullarında da tam tersi olduğu saptanmıştır

(Senthilvelan and Gnanamoorthy 2005), borlamanın en önemli karakteristik özelliği yüzeyinden elde edilen bor tabakasının çok yüksek sertliğe, geliştirilmiş aşınma direncine ve düşük sürtünme katsayısına sahip olmasıdır. Sert bir yüzeyden nispeten daha yumuşak bir iç kısma hızlı geçişten ötürü arayüzde çatlakların oluşma olasılığı vardır. Bu çatlaklar kabarmaya sebep olabilir. Dolayısıyla da borlamanın avantaj getiren etkileri ağır yükler altında sınırlıdır. Bu çalışmada karbürleme, borlama ve bor karbürleme işlemlerine tabi tutulan AISI 8620 çelik düz dişli yüzeylerinin çukurlaşma ve aşınma davranışları incelenmiştir.

(Kumru 2005) çalışmasında, tekrarlı gerilmeler altında çalışan metalik parçalarda, gerilmeler parçanın statik dayanımından küçük olmalarına rağmen, belirli bir tekrarlanma sayısı sonunda genellikle yüzeyde bir çatlama ve bunu takiben kopmasına neden olurlar. Yapı parçalarının yorulma dayanımını etkileyen pek çok parametre vardır. Bunlar, gerilme (yük), parçanın geometrisi ve özellikleri ve dış çevreyle ilgili parametrelerdir. Günümüzde kullanılan yorulma deney makineleri çekme, çekme-basma, çevresel eğme, ileri-geri eğme ve burma yanında bileşik zorlamaları da mümkün kılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda standart bir yorulma testi ve numune boyutları bulunamamış, mümkün olduğunca gerçek koşulların oluşturulmaya çalışıldığı belirlenmiştir.

(Kim 2006), çalışmasında, aşınmanın özellikleri ve dayanıklılık incelenerek düz plastik güç aktarımı dişlilerine yönelik deneysel bir inceleme yapılmış ve dişlinin iç kısımdaki

dişine matkap yardımıyla bir delik açılarak ya da çelik bir pim yerleştirilerek dayanıklılığının artırıldığı bir yöntem sunulmuş, bu yöntemin başarısı kanıtlanmıştır.

(Mao 2007) çalışmasında, dişli geometrisine ilişkin doğru veriler elde etmek için diş profili CAD programları yerine sonlu elemanlar analizi yardımıyla Pythonkomut ara yüzü kullanılarak matematiksel olarak üretilmiştir. Gerçek haddeleme ve sürgülü temas simülasyonları en güncel doğrusal olmayan sonlu elemanlar teknikleri kullanılarak elde edilmiştir. Şaftın dengesiz oluşundan ve düzgün monte edilmeyişinden kaynaklı yaşanan bir araç şanzıman dişli yüzeyi hatası üzerine bir araştırma yapılmıştır. Dolayısıyla aşınmaya yönelik bir çözüm önerisi dişli mikro-geometri modifikasyonu yaklaşımı kullanılarak sunulmuştur; örn: uç kabartma, yanak genişliği kaplama ve kurşun düzeltme.

(Düzcükoğlu ve İmrek 2008) çalışmalarında, düşük temas oranıyla düz dişliler üzerinde yapılan diş genişliği değişiklikleri verilmiştir. Yapılan değişiklikler esasında tek ve çift diş profilleri boyunca Hertz yüzey basıncını sabit tutmaya bağlıdır. Bu amaçla, tek çark dişlilerinin bulunduğu alan boyunca diş genişliklerinde ayarlamalar yapılmıştır. Böylece yapılan değişikliklerle tek çark dişlilerinin bulunduğu alan boyunca Hertz basıncı tarafından oluşan negatif etkilerin minimize edilmesi ya da tamamen ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

(Sakin vd. 2008) çalışmalarında, aksiyal vantilatör kanatları, deniz araçlarının pervane kanatları ve rüzgar türbin kanatları gibi makine elemanlarının yorulma biçimini basitleştirerek aynı zamanda 16 numuneyi test edebilme özelliği olan "çok numuneli" yorulma deney makinesi tasarlamış ve üretilmiştir. Numune boyutları 25x250x3 mm olan numune örnekleri, dönen iki adet dört bir kenarı eşit kesit biçimindeki esas mil üzerine birer uçlarından bağlanarak, numunelerin boşa kalan diğer ucuna bağlanan metal ağırlıklar ile gerilmeyi oluşturacak olan yük uygulaması yapılmıştır. Deney metodu "kontrollü eğilme -gerilme yorulma deneyi" şeklinde sınıflandırılmıştır. Yorulma deneyinde kullanılması için hazırlanmış olan numunelerin, değişik hacimsel yoğunluklardaki polyester reçinesi, cam keçe ve cam dokuma kullanılmıştır. RTM yöntemi ile elde edilen ve yaklaşık %44 fiber oranına sahip cam takviyeli polyester kompozitlerinin (CTP-GFRP) yorulma deneyi testleri yapılarak, S-N eğrilerini çıkarmışlardır. Test sonucunda en yüksek yorulma ömrü, kompozit plakalar 0/90° ve

$\pm 45^\circ$  yönlerinde kesilmiş,  $800 \text{ gr/m}^2$  ve  $500 \text{ gr/m}^2$  ağırlığındaki cam dokuma malzemesi kullanılan ve  $0^\circ$ - $90^\circ$  yönlü kompozit malzemelerden tespit etmişlerdir. Bu cihazın düşük frekansların ve düşük eğilme gerilmesi altında uygulanmak zorunda olduğu, yorulma deneylerinde ise test sonucunun daha önceki çalışmalarla entegrasyon içerisinde olduğu ve oldukça kullanışlı olduğu görülmüştür. Bu cihaz kullanımıyla da test zamanının önemli bir ölçüde azaltıldığı görülmüştür.

(Düzcükoğlu ve İmrek 2010), yine başka bir çalışmalarında, metal dişlilerde dişli üretim işlemi ve kesme aleti boyutları dişli geometrisini ve dişli performansını etkilemektedir. Polimer bazlı dişlilerde, enjeksiyon kalıplama işlemi sayesinde herhangi bir diş geometrisine sahip dişliler daha ekonomik olarak geliştirilmektedir. Bu çalışmada, 0.25 mm ve 0.75 mm yarıçapında kavisli dişlilerle yapılan enjeksiyon kalıplama Naylon 6/6 dişlisinin performansı üzerinde dişli kavis yarıçapının etkisi araştırılmıştır. Yapılan sonlu 6\*eleman analizine göre düşük kavis yarıçapı olduğunda yüksek kavis kökü gerilimi ve dişli dişi bükülmesi oluşmaktadır. Dişli performansını değerlendirmek için güç emme tipi bir dişli testi teçhizatı kullanılmıştır. Servis sırasında tekrarlanan dişli yüklemesi sırasında histerezis etkileri ve sürtünme nedeniyle dişlilerde sıcaklık artışı yaşanmaktadır. Sıcaklık artışı kavisin yarıçapına bağlıdır. Düşük yükler altında, düşük kavis yarıçapına sahip dişliler kök bölgesinde çatlak oluşumundan ötürü başarısız olurken, yüksek kavis yarıçaplı dişlilerde adım bölgesinde oluşan mikro çatlaklar yüzünden başarısızlık meydana gelmektedir.

(Subaşı ve Karataş 2010), çalışmalarında, endüstride yaygın kullanımı olan AISI 4140 çelik malzemesi incelenerek, metal olan malzemeler değişik sertlik büyüklüklerinin yorulmadaki etkisini gözlemeyi amaçlanmıştır. AISI 4140, CNC tezgâhlarında tornalama işleminin yapılmasıyla standart yorulma test numuneleri oluşturulur. Bu numunelerden 45 adedi sertleştirilmemiş, diğer numuneler ise 40, 45, 50 HRC değişik sertlik oranlarında olacak biçimde  $45^\circ$ er şeklinde üç numune bölük biçimde ayrışımı yapılarak dört değişik numune gruplaştırma oluşturulmuştur. Bu numune bölümlerinin yorulma seviyelerini testler yapılarak sonuçlar elde edilmiş ve sertleştirilme işlemi görmemiş numunelerin yorulma dayanım miktarı 463 MPa şeklinde tespit edilerek; diğer sertlik değerindeki numunelerin yorulma dayanım miktarları sırayla 783, 792, 739 MPa olarak bulunmuştur. En iyi 45 HRC sertlikteki malzemenin yorulma dayanımı elde edilmiştir.

(Sakin ve Er 2010) çalışmalarında, 1100-H14 alüminyum alaşımı plakaların yüksek çevrimdeki yorulma davranışları incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, oda sıcaklığında haddeleme doğrultusunun düzlemsel eğilmeli yorulma ve çekme özelliklerine etkisini incelemektir. Bunun için özel olarak ankastre tip düzlemsel-eğme yapan test makinesi tasarlanıp imal edilmiştir. Yorulma testleri için, alüminyum plakalar haddeleme yönüne dik ve paralel olarak iki değişik yönde kesildiler. Değişik sehim genlikleri kullanılarak tam değişken yüklemeli ( $R=-1$ ) ve sehim-kontrollü yorulma testi uygulanmıştır. Alüminyum plakalar için S-N eğrileri elde edilmesi için, testlere  $10^7$  yük tekrar sayısına kadar devam edilmiştir. Numunelerin mekanik özelliklerinin tespiti için yorulma testlerinin yanı sıra çekme testleri de gerçekleştirildi. Çalışma sonunda, çekme ve akma mukavemetinin oda sıcaklığında haddeleme yönünden ortalama %2 etkilendiği görülmüştür. Fakat haddeleme yönünün yorulma mukavemetine etkisi düşük çevrimli olan bölgede %30'dan daha büyük iken, yüksek çevrimli yorulma bölgesinde ise sıfıra kadar inmiştir. Özellikle de yüksek çevrimli yorulma (YÇY,  $\approx 10^7$ ) bölgesindeki yorulma testleri sonucunda, değişik tekstür yapısına sahip numunelerde yorulma belirtilerinin azalması, istikrarlı çatlak büyümesi haddeleme yönünün ve mikro-yapının benzerliği yorulma mukavemetini etkilememesinin bir kanıtı olarak gösterilmektedir. Sonuçlara göre, 1100-H14 alüminyumun yüksek yorulma mukavemeti gerektirmeyen tasarımlarda ve düşük çevrimli bölgede kullanılması tavsiye edilir. Ayrıca pratik uygulamalarda tasarımcıya yardımcı olabilmek amacıyla çekme ve yorulma mukavemetleri arasındaki ilişkiyi gösteren ampirik formüller de verilmiştir.

(Sakin vd. 2010) bu çalışmada, alüminyum kanatlara alternatif olabilecek cam/polyester kompozitler ile döküm alüminyum malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiş ve kıyaslamalar yapılmıştır. Testlerde ticari ismi Etial-141, Etial-145 ve Etial-160 olan külçeler kum kalıba dökülerek işlenmiş ve üç farklı alüminyum plaka elde edilmiştir. Kompozitler için ise 300-500-800  $\text{gr/m}^2$  ağırlığındaki cam dokumalar ile 225-450-600  $\text{gr/m}^2$  cam keçeler kullanılarak RTM metodu ile ( $V_f \approx \%44$ ) üç farklı yapıda cam/polyester plaka imal edilmiştir. Hazırlanan numunelere, üç noktadan eğme ve çekme testlerinin yanı sıra amaca uygun olarak; tam değişken ( $R=-1$ ) ankastre tip düzlemsel-eğme yorulması testleri uygulanmıştır. Yorulma mukavemet sınırı olarak ise  $10^6$  yük tekrar sayısı esas alınmıştır.



### 3. YORULMA HASARI VE YORULMA TEST CİHAZLARI

Değişken zorlamalar altında malzemenin iç bünyesinde meydana gelen ve kopasına yol açan değişikliklere "yorulma" denir. Ancak değişken zorlamaların darbeli veya dinamik zorlamalardan ayırt edilmesi gerekir. Değişken zorlama yükün veya gerilmenin zamana göre yönünü veya değerini değiştirdiği zorlamadır. Darbeli zorlama ise, yükün ani olarak uygulandığı zorlamadır. Her iki zorlamada malzemenin iç bünyesinde meydana gelen ve kopmasına yol açan değişiklikler farklıdır (Sakin 2004).

Uygulamada statik zorlamalara ender olarak rastlanır. Makinelere ve dolayısıyla makine parçalarına genellikle büyüklüğü ve yönü düzenli veya düzensiz olarak sürekli değişen kuvvetler ile eğme ve burulma momentlerinin etki ettiği bilinmektedir. Değişen zorlamalardan dolayı söz konusu malzemelerde akma sınırının çok altındaki gerilmelerde kırılmalar oluşabilir. Bu tür kırılmalara yorulma kırılması adı verilir. Tasarım sırasında mukavemet bilgisinin temel denklemleri yardımıyla sadece anma gerilmelerinin hesaplanmasının yeterli olmadığı; gerilmelerin kesitteki dağılımlarının ve zamanla değişimlerin de dikkate alınması gerektiği belirli aşamalardan sonra anlaşılmıştır (Saka 1993).

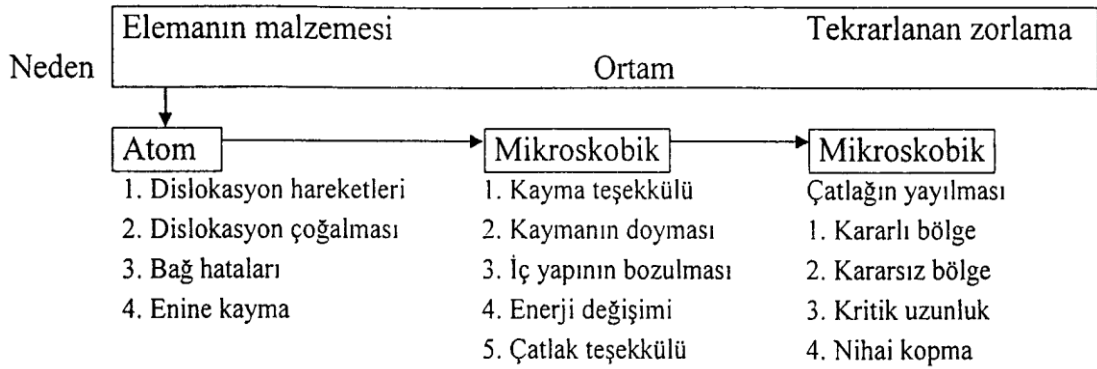
Konstrüktörler tasarımlarında malzemelerin ekonomik olarak kullanımını sağlamak zorundadırlar. Mukavemet bilgilerinin gelişmesi, giderek daha düşük güvenlik katsayılarının seçimi ile malzeme değişikliğine gitmeden de makine ve yapı elemanlarının daha düşük kesitli olarak boyutlandırılabilmesini mümkün kılmıştır. Ancak bu durumda da gerilmelerin akma sınırını aşmamasına yeterince özen gösterildiği halde işletme sırasında makine parçalarında yine kırılma gözlenmiştir. Herhangi bir şekil değiştirme yaratmadan ortaya çıkan bu kırıkların, yüksek yüklerin bir kez ve tek yönde uygulanması ile oluşan kırılma yüzeylerinden; görünüşleri bakımından tamamıyla farklı oldukları saptanmıştır. Bu gözlemlere dayanarak kısa süre sonra yüklerin veya momentlerin büyüklüğü ve yönünde zamanla değişmelerin söz konusu olduğu

durumlarda, statik deneylerle saptanan mukavemet değerlerinin malzemenin davranışını belirlemede yetersiz kaldığı anlaşılmıştır (Saka 1993).

Böylece bütün bu deneyimler; sonsuz sayıda tekrarlanmasına rağmen kırılmaya neden olmayan en yüksek gerilme, yorulma dayanımı diye adlandırılan kavramın doğmasına neden olmuş ve deneysel olarak da yorulma dayanımının statik dayanım değerinden çok daha düşük düzeyde olduğu saptanmıştır. Ancak işletme yüklerine göre hesaplanan gerilmeler kullanılan malzemenin düzgün yüzeyli ve parlatılmış deney parçaları yardımıyla bulunan yorulma dayanımının çok altında kalmasına rağmen, makine parçalarının gene hasara uğradığı gözlenmiştir. Bunun üzerine yapılan deneylerle, şekil, yüzey durumu, kuvvet iletimi, makine parçasının bulunduğu ortam ve malzemenin iç yapısı gibi değişik iç ve dış etkenlerin yorulma dayanımını değiştirdiği dolayısıyla bu etkenleri dikkate almadan bulunan yorulma dayanımı değerlerinin mukavemet hesaplarında aynen kullanılamayacağı anlaşılmıştır (Saka 1993).

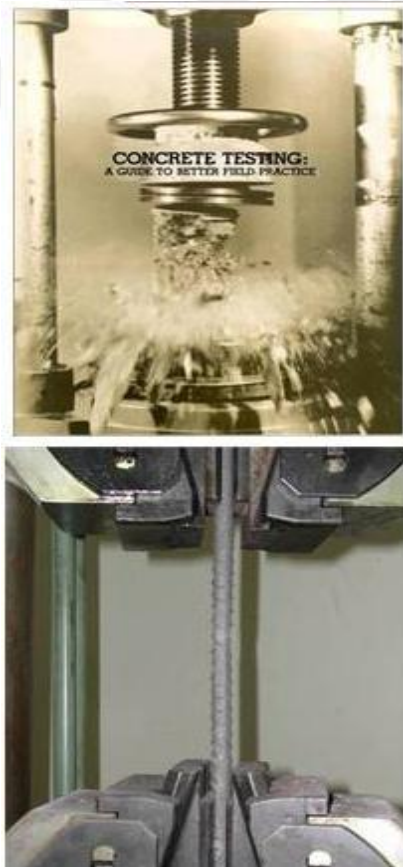
Yorulma ya yüzey düzgünlüğünü bozan çentik, keskin köşe, girinti, çıkıntı ve de benzeri gibi yüzey kusurlarından ya da iç yapı içinde eş dağılımı bozan kalıntı, kılcal çatlak, keskin uçlu çökelti ve parçacıklardan kaynaklanabilir. Önce bir kılcal çatlak oluşur. Kılcal çatlak hemen kırılmaya yol açmaz; uygulanan çevrimsel gerilimin her çevrimiyle birlikte çelik içinde çok yavaş olarak ilerler. Gerilim ne denli yüksek ise, çatlak ilerlemesi o denli büyük ve hızlı olacaktır. Çatlağın bu tür ilerlemesi bir sürtünme de oluşturduğundan, yorulma kırılması gösteren yüzeyin bu bölümü düzgündür. Sonunda çatlak öyle bir yere dek ilerler ki çeliğin kesit alanının geri kalan çatlama bölgesi uygulanan gerilimi taşıyamaz duruma gelir ve olağan çekme dayanımı aşıldığında da çelik kırılır (Aztekin 2004).

Atom mertebesinde bir hatanın civarında meydana gelen plastik şekil değiştirmeler kayma şeritlerinin oluşmasına sebep olurlar ve tersinir olmadıklarından değişken yükün etkisi altında mikroskobik seviyede bir çatlak meydana getirirler. Yük sürekli olarak değiştiğinden çatlak yayılması başlar ve kalan kesit alan yükü taşıyamayacak bir değere ulaştığında kopma meydana gelir. Yorulma olayının başlangıcını etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde verilmiştir (Sakin 2004).



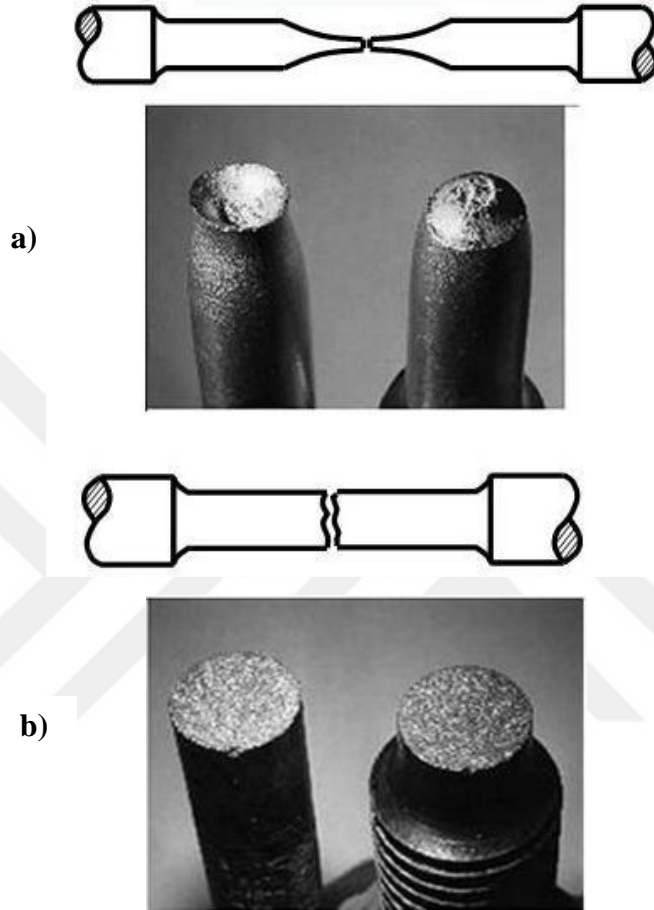
Tablo3.1. Yorulma olayının başlangıcını etkileyen faktörler (usak.edu.tr)

Deneysel çalışmalarda, malzeme yavaşça artan yükler altında test edildiğinde, belirli bir sınır gerilmede dayanımı sona erip kopmaktadır. Bulunan bu gerilme değerine, malzemenin statik dayanımı denir (usak.edu.tr).



Şekil 3.1. Yorulma deneyi (usak.edu.tr)

Ancak aynı malzemeyi, zorlayan gerilme değerleri zaman ile farklılık gösterirse, malzeme çekme deneyindeki kopma değerinin altında bir gerilmeye, Sünek de olsa plastik şekil değiştirmeden kırılması olayına yorulma denir (usak.edu.tr).

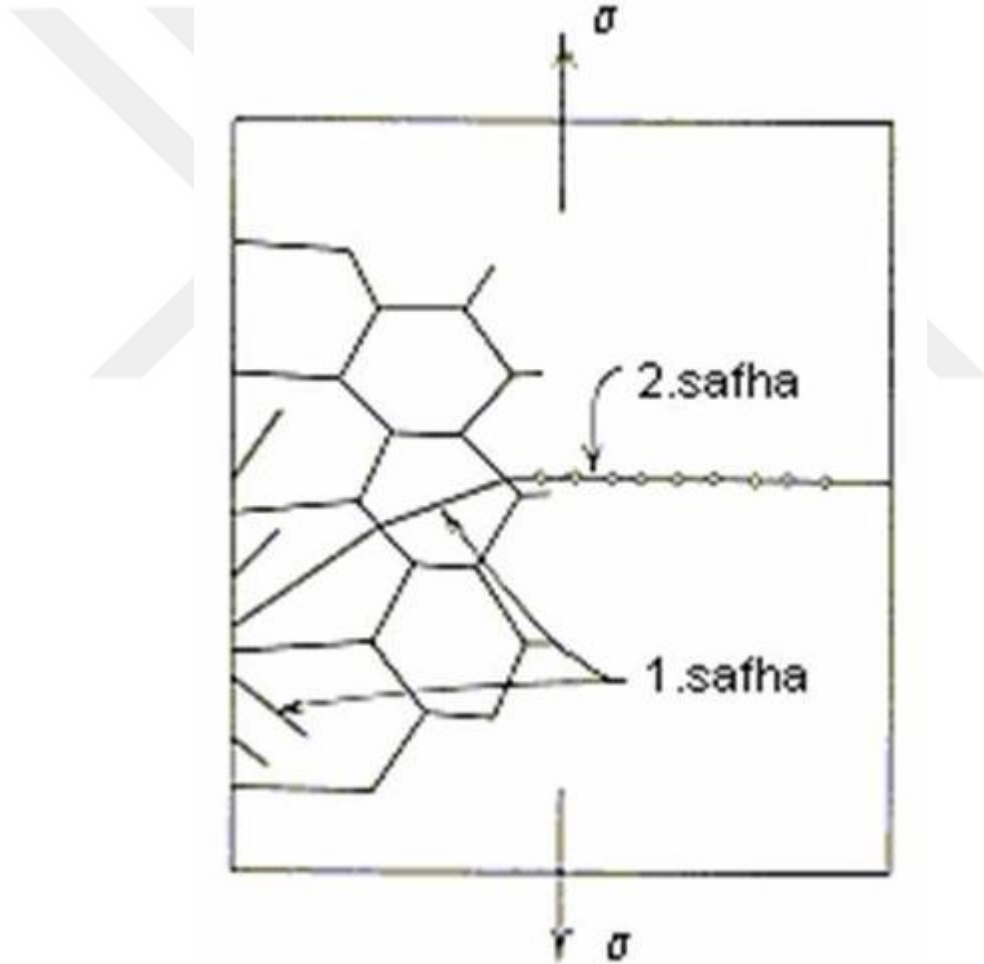


Şekil 3.2. a) Sünek malzeme b) Gevrek malzeme (usak.edu.tr)

Boşaltma ve Yüklemenin periyodik şekilde çok sayıda yinelenmesi neticesinde cisim içinde oluşan mekanik olaylar ve karmaşık termik sebebiyle, cisimde yıpranma, çözülme ve ayrışmalar oluşur. Bu olayın sebebi yükün şiddetinden çok onun, periyodik olarak uzun bir süre değişmesidir. Uygulamada statik zorlamalara (yüklerle) çok nadir olarak rastlanır. Özellikle metalik malzemelerin kırılmasının en önde gelen etken olması sebebiyle yorulma olayı çok önem arz etmektedir. Yorulma kopmasına uğrayan parçalara örnek olarak dişliler, bağlantı çubukları ve miller gibi hareketli parçalar gösterilebilmektedir. Makinelerdeki hasarların yaklaşık %80'nin yorulma kopmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu tür hasarlar, seramik (cam hariç) ve polimer malzemelerde ortaya çıkabilmektedir. Yorulma olayı üç aşamada

değerlendirilebilir. Genellikle yüksek gerilme yığılmalarının olduğu alanlarda veya kristal yapıdaki hatalı noktalardan çatlak başlaması görülür (usak.edu.tr).

Çatlak, çoğunlukla yüzeyden başlayıp, kayma hatları ile orta kısımlara iletilir. Ayrıca, malzeme içinde mikro çatlaklar da varsa ve çatlak ucunda oluşan gerilme yığılması çatlak ilerletebilecek bir seviyede ise çatlak ilerler. Çatlak ilerlemesi için uygulanan gerilme yeterli değilse malzeme yorulmaz. Gerilme çatlak ilerlemesini sağlayacak kadar büyük ise çatlak gevşek yerlerden ilerler. Böylece yıpranma yavaş yavaş tüm kesite yayılır. Ayrıca büyük ve haber verici bir uzama veya büzülme görülmez (usak.edu.tr).



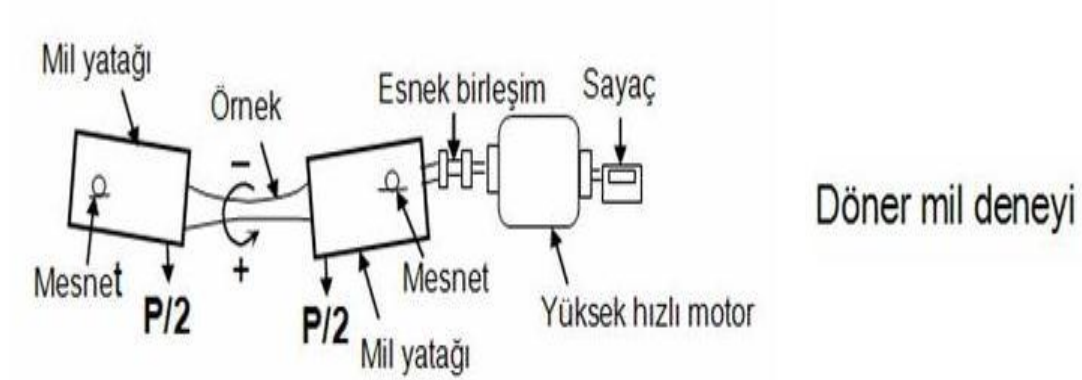
Şekil 3.3. Yorulma olayında çatlak oluşması ve ilerlemesi (usak.edu.tr)

Yıpranma sebebiyle ayrışma yeteri derecede devam ettikten sonra kesitin geride kalan bölümü ağırlığı kaldıramaz duruma gelir ve malzeme birden kopar. Yorulma olayı

malzeme üzerinde büyük bir plastik şekil farklılığı oluşturmadığından ve işaret vermediğinden elastik limitin altında birden kırılması sebebiyle risklidir. Bu tarz gevrek kırılma olaylarına örnek olarak kötü yolda giden arabaları, uçak kanatlarını, çelik köprüleri gibi yerlerde karşımıza çıkabilir. Makine parçalarının çalıştıkları ortam sıcaklığı oda sıcaklığından daha düşükse gevrekleşme sıkıntısı oluşur. Makine parçalarının çalışma sıcaklığı, malzemenin çentik darbe geçiş sıcaklığından yüksek olmalıdır. Sıcaklığın oda sıcaklığının üzerine çıktığı anda malzemenin çekme dayanımı, yorulma dayanımı ve akma sınırı değeri düşer. Kaynak dikişlerinde, boşluk ve çatlak gibi mikro yapı ve iç hatalar bozuklukları meydana gelir. Ayrıca dikişlerde oluşan çıkıntı ve girintiler gerilme yığılmalarını oluşturur. Ayrıca, soğuma ve ısınmaların sonucunda iç gerilmeler meydana gelir. Bunlar kaynak dayanımını dolayısıyla da yorulma dayanımını azaltır. Korozyonlu alanda bulunan malzemelerin yüzey kalitesinin bozulduğu görülür. Yüzey üzerinde meydana gelen çukurcukların neticesinde yorulma dayanımı azalır. Korozyon ve gerilme birlikte bulunması durumunda ise çatlak ilerleme hızı artar ve buna bağlı olarak süresiz yorulma dayanımı söz konusu olamaz. Özellikle de çelik malzemelerdeki mukavemet değerleri ısıtma işlemlerinin sonucunda oluşturulan iç yapılarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Mukavemet arttırmada ısıtma işlemlerinin etkisi iki biçimde olur. Mikro yapı değişimi, normalize edilmiş durumda perlit ve ferritten oluşan iç yapı dönüşüm sertleştirilme işlemi sonucu martenzit, beynit gibi daha dayanıklı mikro yapılara dönüşür. Martenzitin iç yapısı sert olmasına rağmen tokluğu az olduğu için çoğu kez tercih edilmemektedir. Hem tok hem de dayanımı yüksek bir mikro yapı temperlenmiş martenzit ve beynitlik yapıdır. Bu yapıları elde etmek için ostemperleme ve ıslah etme işlemleri uygulanır (usak.edu.tr).

Değişik mikro yapı oluşumu ve değişik soğuma neticesinde, sertleştirme işlemi gören elemanlarda iç gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmeler çekirdekte çeki, yüzeyde bası şeklinde olursa, elemanın burulmaya ve eğilmeye zorlanması anında yararlıdır. Yüzeyde çeki iç gerilmesi olması haliyse daima zararlıdır. Malzemelerin yüzeyleri soğuk deformasyona uğrarsa yüzeyin dayanımı ve sertliği artar. Hatta yüzeyde bası iç gerilmeleri de meydana gelir. Bu biçimde malzemelerin yorulma dayanımı iyileştirilmiş olur. Malzemelerin üzerine metalik kaplama yapılmasının sebebi ise genellikle korozyondan koruma, yüzey pürüzlülüğünü azaltma, aşınma dayanımı arttırma, görünümünü güzelleştirme. Elektrolitik metotlar kullanılarak yapılan kaplamalar

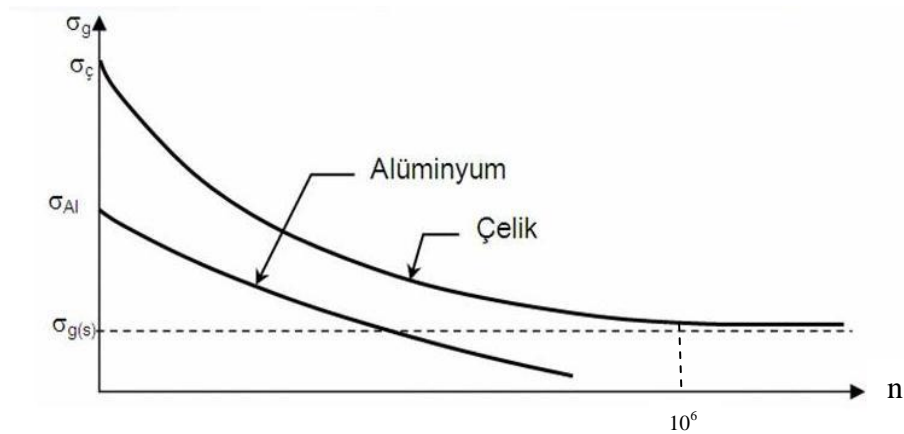
işlemleri elemana hidrojen yayındığından hidrojen gevrekliği oluşabilir. Hatta yüzey üzerinde çeki iç gerilmeleri olduğundan yorulma dayanımı azalır (usak.edu.tr).



Şekil 3.4. Döner mil deneyi (Chen Y.K. et al. 2000)

Şu anda kullanılmakta olan en belirgin yorulma testi, numune örneklerinin dönerken birbirleriyle arka arkaya, aynı genlikte basınç ve çekme gerilmelerine etkisi altında kaldığı döner mil testidir. Bu testlerden alınan  $P$  yükünden  $\sigma_m = -\sigma_a = \sigma_u$  gerilmesi hesaplanılmaktadır (usak.edu.tr).

Periyodik yükleme sonucunda kırılmanın olduğu  $N$  yineleme miktarı ölçülür. Böylelikle  $P$ , yükü dolayısıyla  $\sigma_g$  değiştirilerek  $\sigma_g - N$  eğrisi çizilebilir. Ortaya çıkan eğriye Wöhler eğrisi denir. Testler göstermiştir ki,  $\sigma_g$  genlik gerilmesi azaldıkça, malzemenin  $N$  kırılma sayısı artmaktadır (usak.edu.tr).



Şekil 3.5. Demir esaslı malzeme (usak.edu.tr)

Wöhler eğrisi demir esaslı malzemelerde  $10^6 - 10^7$  tekrarlama sayılarında yatıklaşmaya başlar. Malzemenin yorulma hasarına uğramadığı bu gerilmeye sürekli dayanım gerilmesi, süresiz yorulma dayanımı veya yorulma limiti olarak isimlendirilir. Bu gerilme büyüklüğünün altındaki malzeme, yükleme miktarına bağlı kalmaksızın daimi olarak dayanır (usak.edu.tr).

Gerilme genliği durağan bir şekilde yapılan testlerle alınan kırılma yineleme miktarı değişiklik gözlenir. Bu sebepten ötürü Wöhler eğrisi çizilirken istatistiki ortalama alınır. Bu tür araştırma ortaya çıkan yorulma büyüklükleri genel olarak %50 kırılma olasılığındaki büyüklüklerdir. Sürekli dayanım gerilmesi,  $\sigma_0$  sabit gerilmesi ile birleşince,

$$\sigma_u(s) = \sigma_0 + \sigma_g(s)$$

$$\sigma_a(s) = \sigma_0 - \sigma_g(s)$$

gibi iki adet sınır gerilme alınmış olur. Bu sınır gerilmelerine malzemenin sürekli dayanımı denir. Malzemeyi bu iki sınır arasındaki değişen ağırlıklarla, yükleme miktarı ne kadar çok olursa da koparmanın olasılığı yoktur. Sürekli dayanım sınırlarının dışındaki hallerde eleman sonlu bir n sayısından sonra kesinlikle geçer, yani elemanların kuvvetlere karşı göstermiş olduğu dayanıklılık belirli bir süre içindir. Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı üzere, sürekli dayanım sınırları belirli bir ortalama gerilme için bulunmuştur. Bu ortalama gerilme değiştirilecek olursa asimptotik genlik gerilmesi ve dolayısıyla malzemenin sürekli dayanım sınırları da farklılık gösterir. Bu bağıntıdaki en karakteristik durum, ortalama gerilme yükseldikçe asimptotik genlik gerilmesinin azalmasıdır. Başka bir söyleyişle sürekli dayanım sınırları birbirlerine yaklaşır (usak.edu.tr).

### 3.1. Yorulma Deneyi Test Cihazları

Günümüzde metallerde yorulmayı inceleyen cihazlar sabit frekanslı veya değişken frekanslı olarak yapılmaktadırlar.  $10^4$  devire kadar yorulma ömrünü veren zorlamalarda, genellikle yassı numuneler ve 500 dev./dak.'lık frekansa sahip cihazlar kullanılmaktadır.  $10^6$  veya daha fazla devire kadar yorulma ömrünü veren zorlamalarda da genellikle yüzeyleri eksene paralel parlatılmış yuvarlak deney çubukları ve 15000 dev./dak. ya



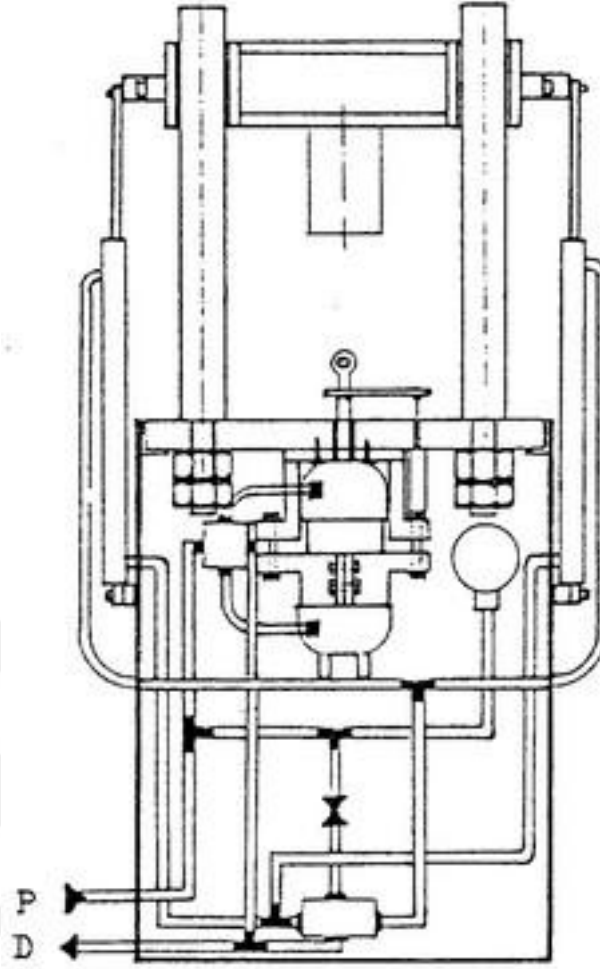
kadar olan frekanslar seçilebilir. Genellikle sabit frekanslı ve yuvarlak deney çubuklarıyla yapılan yorulma deneylerinde  $\sim 3000$  dev./dak.'lık frekans seçilir.  $10^6$  devirden fazla yorulma ömrü içerisinde oları zorlamalar için çelikler,  $10^7$  devirden fazla yorulma ömrü veren zorlamalar için de alüminyum gibi yumuşak metaller seçilir (Saka 1993).

Yorulma deney cihazlarını, endüstriyel ve laboratuvar amaçlı cihazlar olarak genelde ikiye ayırmak mümkündür. Bu cihazlarda yorulma zorlamasını veren frekanslar, büyük kütleli malzemeler için çevresel eğme ve burma zorlaması şeklinde, yassı parçalar da ise eksenel eğme gibi zorlamalar uygulanmaktadır. Endüstriyel amaçlı cihazlar; bitmiş, hizmete sunulmuş iş veya ürünler üzerinde yorulma dayanımını tespit etmeye çalışırlar. Laboratuvar amaçlı cihazlar deney çubukları üzerindeki çalışmaları belirlerler (Saka1993).

### **3.1.1. Endüstriyel Amaçlı Yorulma Deney Cihazları**

Bu tür cihazlar; otomobillere, uçaklara ve makine parçalarına veya diğer hizmete sunulmuş ürünler üzerinde istenilen kısımlara sabit veya değişken frekanslar tatbik ederek, çelik parçalarda  $10^4$ ,  $10^5$ ; kaplama ve ısıl işlem gibi özel işlem görmüş ürünlerde ise  $10^6$  ve  $10^7$  gibi çevrim sayılarına ulaşılmaya çalışılır. Bu ürünler üzerinde sonradan yapılan tahribatsız malzeme muayeneleri ile yorulma çatlağının oluşup oluşmadığı araştırılır ve sonuçlar değerlendirilir. Bu makineler; çevresel ve eksenel eğme, basma ve çekme gibi etkileri numunelere tek tek ya da beraber tatbik etme özelliğindedirler. Hatta PC ile bağlandıklarından tatbik edilen zorlamaların büyüklüğüne ve özelliğine göre grafikler çizilerek değerler saptanarak değerlendirme yapılır (Saka 1993).

Şekil 3.6'da düşük frekanslı, elektro hidrolik tahrikli bir yorulma test cihazı görülmektedir. Tekrarlanan gerilme ve titreşimler otomotiv ve uçak endüstrisindeki parçalar ile makine parçalarının pek çoğunda yorulma sonucu mekanik hasarlar meydana getirmektedir. Malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için uygulama sonucu elde edilebilecek ölçüm sonuçlarına ihtiyaç vardır. Dolayısıyla sözü edilen ölçümler de ancak bu tür test cihazları kullanılarak sağlanabilir.



Şekil 3.6. Yorulma test cihazının genel görünüşü (Akdoğan 1989)

Sistem bir çerçeve, bu çerçeveye oturtulmuş bir tabla, bu tablaya bağlı iki düşey sütun ve bu sütunların üzerinde yatay durumda bulunan askı kirişinden oluşmaktadır. Tahrik pistonu tablaya bağlıdır. Numuneyi kavrayan çenelerden birisi piston koluna bağlı, diğeri ise askı kirişine bağlıdır. Dolayısıyla numuneye uygulanan kuvvetin reaksiyonu tabla, düşey sütunlar ve askı kirişinin oluşturduğu yapı tarafından taşınmaktadır. Tablanın oturduğu çerçeve ise sadece taşıma görevini üstlenmektedir (Akdoğan 1989).

### 3.1.2. Laboratuvar Amaçlı Yorulma Deney Cihazları

Bu cihazlarla, belirli malzemelerden yapılmış numune deney parçaları üzerinde yorulma ile ilgili aksenal eğme ve çevresel eğme gibi zorlamalar tatbik edilerek kullanılan malzemenin yorulma dayanımı hakkında bilgiler edinilmeye çalışılır. Yorulma testinde

kullanılan fazla seçenekli makineler olmasına karşın, bu makineleri; numuneye uygulanan gerilme çeşitleri yönünden dört temel başlıkta toplanabilir ;

1. Eksenel çekme basma gerilmeleri uygulayan cihazlar
- 2.Eğme gerilmeleri uygulayan cihazlar
  - 2.1.Dönen eğme gerilmesi uygulayan cihazlar
  - 2.2.Düzlemsel eğme gerilmesi uygulayan cihazlar
  - 2.3.Sabit eğme momentli cihazlar
  - 2.4. Ankastre giriş türü (çevresel eğme) cihazlar
- 3.Burulma gerilmesi uygulayan cihazlar
- 4.Bileşik gerilme uygulayan cihazlar

Yukarıda belirtilen her bir grup için değişik araştırma merkezleri ve firmalarca farklı cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihaz grupları içerisinde en fazla tercih edileni eğme gerilmesi uygulayan cihazlar, çalışma prensibi en basit olanlardır. (Anonim 1974)

Genellikle yorulma deneyleri, burulma, eksenel (eğilme ve çekme-basma) ve bileşik zorlamaları meydana getiren deney makinelerinden yapılabilir. Fakat pratikte en çok eksenel zorlama oluşturan deney makineleri kullanılmaktadır. Bunlar eğilme ve çekme-basma deney makineleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Eğilme deneyleri, dönen standart deneme çubuklu eğilme ve titreşimli eğilme deney makinelerinde yapılır. Dönen standart deneme çubuklu eğilme deney makineleri, eğilmeye maruz kalan ve aynı zamanda dönen bir elemanın kesitinde, yükleme sabit olsa dahi, tam değişken gerilmelerin meydana geldiği düşüncesine dayanmaktadır. Bundan dolayı bu makinelerde dönmekte olan standart deney çubuğu sabit bir yükü zorlanmaktadır (Kaymaz 2003)

Yükün değişme tarzına gelince, pratik uygulamalarda en çok periyodik değişen yükler kullanılmaktadır. Titreşimli eğilme ve çekme-basma deney makinelerinde herhangi bir periyodik değişme tarzı meydana getirilebilir. Dönen standart deney makinelerinde yapılan yorulma ile, tam değişken ( $\sigma_0 = 0$ ) zorlama tarzı elde edilir (Kaymaz 2003).

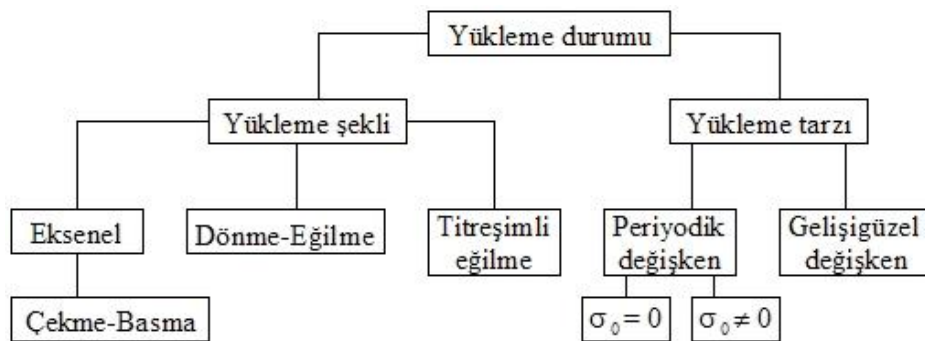
Malzemesi test edilecek olan makine elemanı, çalışma sırasında hangi tarz gerilmelere maruz kalacaksa, o tarz gerilmeleri uygulayan test makinesi seçilmelidir. Bu şekilde yapılmayan deneylerden elde edilen değerler sağlıklı olmaz (Anonim 1974).

Yorulma test makinelerinin hepsinin en temel özelliği test sırasında istenen şekilde ve mertebede gerilme oluşturulabilmektedir. Test sırasında, uygulanan ağırlıkta oluşacak değişim, makinenin %2'lik kritik çalışma kapasitesini aşmaması gerekir. Makinelerde uygulanan basınçların kontrolünü ve de değişimini gösterecek düzeneğin bulunması gerekir (Kaymaz 2003).

Test makinelerinde tekrar miktarını kayıt alan sayaç bulundurulmalıdır. Numunenin kırıldığı anda direkt durabilen bir özellikteki sayaç seçilmelidir (Anonim 1974).

Laboratuvar yorulma deney cihazlarının uygun seçimi için bazı önemli kriterler vardır. Bir sınıflandırma türü, kullanılan numunenin basit ya da karmaşık şekilde oluşuyla ilgilidir. Basit numune kullanılması durumunda standart deney cihazı ve yük çerçevesi kullanılmasına karşılık ikinci durum için uygun sistem daha pahalıdır. Genellikle özel deney donanımları, yatak düzenleri kullanılır. Bu düzenler yorulma laboratuvarı içinde özel hazırlanmış güçlü zemin yapısına ve geniş alanlara ihtiyaç gösterir (Akdoğan 1989)

Sınıflandırmada göz önüne alınabilecek diğer bir kriter ise yükün uygulanma tipine göre dir. Tablo 3.2'de yükün uygulanma tipleri görülmektedir (Akdoğan 1989)



Tablo 3.2. Yorulma testlerinde yük uygulama tipleri(Akdoğan, 1989)

Eğer değişen genlikte yük uygulayan yorulma deney cihazı kullanılmak isteniyorsa bunun için en uygun tip hidrolik - servo test cihazlarıdır. Çalışma koşullarında, gerilmeler basit şekilde, örneğin çekme-basma, bükme veya burulma ile bunların bir arada bulunması şeklinde olabilir. İstenilen bilgilere göre yorulma testinde uygulanan gerilmeler bunlardan biri, ikisi veya daha çoğunun bileşkesi şeklinde olabilir (Akdoğan 1989).

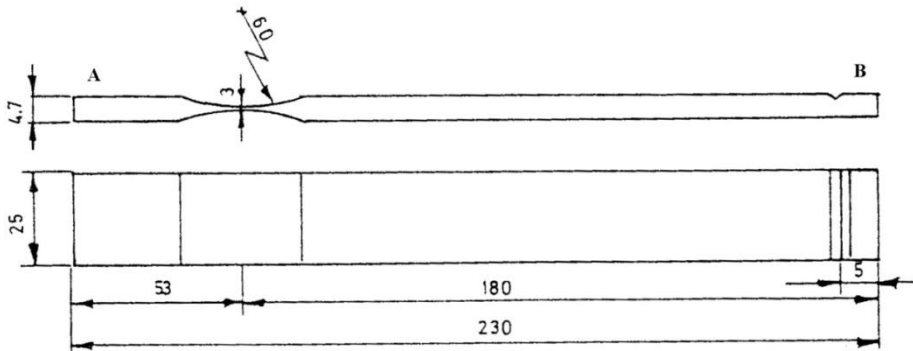
Yorulma testinde kuvvet miktarı deney numunesinin boyutlarına göre sınırlandırılır. Buna rağmen istenilen gerilme seviyesini tutturmak tekrarlı deneylerden sonra mümkün olabilir. Pek çok durumda laboratuardaki yorulma test cihazlarında 50.000 - 100.000 N ( $\cong$  5-10 ton-kuvvet) civarındadır. Çok özel amaçlı olanlarda bu sınır  $10^6$  N'a kadar çıkabilmektedir (Akdoğan 1989).

Yorulma testi cihazları, çalışma prensiplerine göre de elektro mekanik, mekanik, elektro hidrolik, hidrolik, manyetik cihazlar diye sınıflandırılabilirler (Akdoğan 1989).

Kontrol edilebilirlik, bakımından kuvvet, genlik, gerilme, eğilme momenti, burulma, ivme ve benzeri pek çok kriter sınıflandırma için kullanılabilir. Genel sınıflandırmalardan çok daha önemli diğer bir sınıflandırma da deney sistemleri ve çalışması için yapılan harcama ve yatırımlardır (Enerji, teknisyen, v.s.). Bu tür sınıflandırmalar daha da artırılabilir (Akdoğan 1989).

### 3.1.2.1. Eksenel Çekme Basma Gerilmeleri Uygulayan Cihazlar

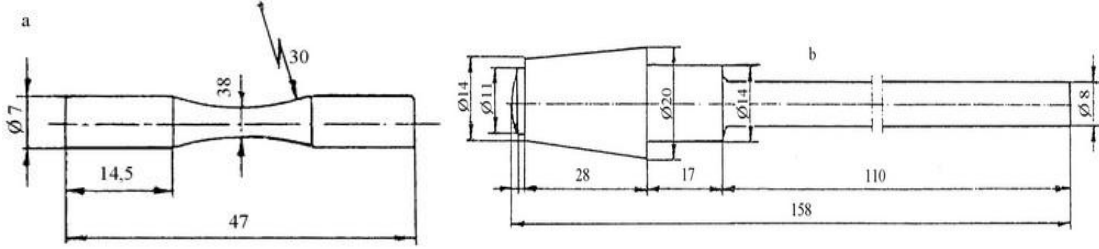
Eksenel eğme özelliğine sabit yorulma deney cihazlarında genellikle şekil 3.7'deki gibi yassı deney çubukları kullanılır. Bu yassı deney çubukları A tarafından bir mengene ile sabitlenerek gövdeye bağlanır. B tarafından biyel başı aracılığı ile yük tatbik edilen bir kiriş durumuna getirilmiş olurlar. Eksenel eğmeli cihazın şematik çalışma prensibi Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Şekil 3.9'da, eksenel çeki bası gerilmeleri uygulayan, sabit genlikli yorulma cihazı görülmektedir.



Şekil 3.7. Yassı yorulma deneyi çubuğu (Saka,1993)

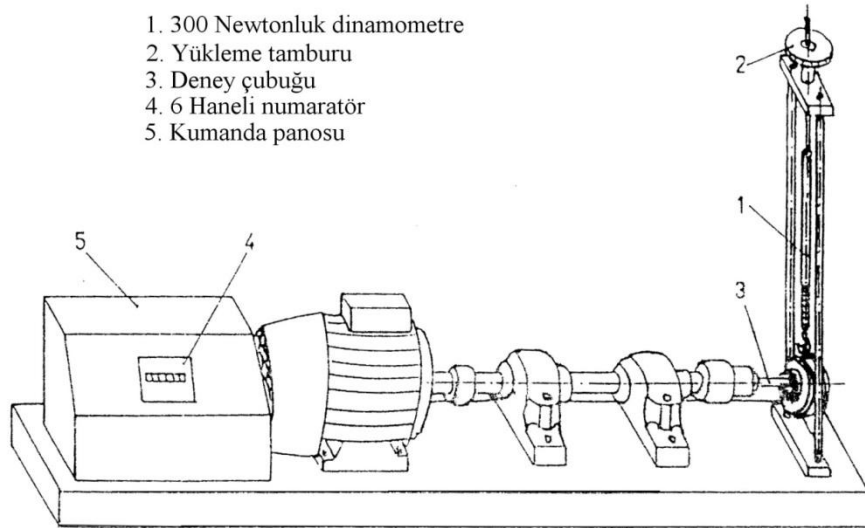


temizlenir. Daha sonra bu yüzeyler keçeye tutularak parlatılır. Yüzeydeki torna kalem izlerinin çentik etkisinin araştırılması için yapılan deneylerde de; Şekil 3.10.b’de görülen deney çubukları kullanılabilir (Saka,1993).



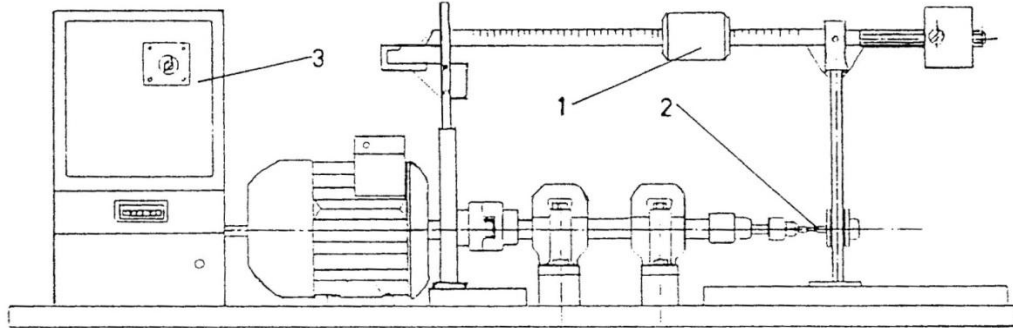
Şekil 3.10. (a, b). Dairesel kesitli deney çubukları (Saka 1993)

Çevresel eğmeli yorulma deney cihazlarında; sabit ve değişken yüklerle deney çalışmaları yapılabilmektedir. Önceleri yorulma deney cihazlarının üzerinde; Şekil 3.11’de görüldüğü gibi zorlama yükünü veren eleman olarak helisel çekme yaylı 300 Newton'luk dinamometreli elemanlar kullanılmaktaydı. Bu dinamometrelerin zamanla yaylarının elastikiyet özelliğini kaybetmesinden dolayı ölçümlerde hata verecekleri kuşkusuzdur. Günümüzde çevresel eğmeli yorulma deney cihazlarının üzerinde, dinamometrelerin yerine zorlama yükünü veren eleman olarak; Şekil 3.12’deki gibi baskül terazili set, hassas ağırlıklar ve su kabı geliştirilerek kullanılan örneklerdir. Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’te eğme gerilmesi uygulayan farklı iki yorulma cihazı gösterilmiştir (Saka 1993; Sakin 2004).



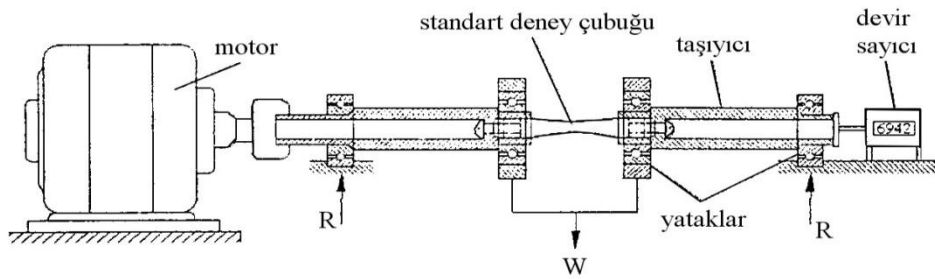
Şekil 3.11. Yorulma deney cihazı ve elemanları (Saka 1993)

1. Baskül terazi
2. Deneç çubuğu
3. Kumanda panosu

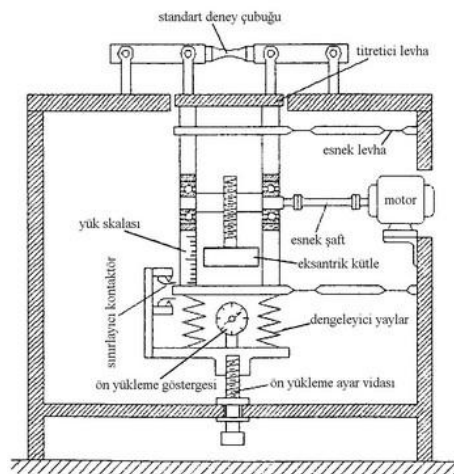


Şekil 3.12. Yorulma deney cihazı ve elemanları (Saka 1993)

Numunenin dört noktasına kuvvet gelen ve dönen eğme gerilmeleri uygulayan yorulma cihazı Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. "Schenk (Simplex)" modeli yorulma cihazı (Saka 1993)



Şekil 3.14. Düzlemsel eğme gerilmesi uygulayan "Sonntag" modeli yorulma cihazı (Sakin 2004)



Mühendislik malzemelerinin eğilmeli, burulmalı ve aksenal yorulma davranışları belirlenebilmektedir.



Şekil 3.15. Samuel Denison Ltd. yorulma test cihazı

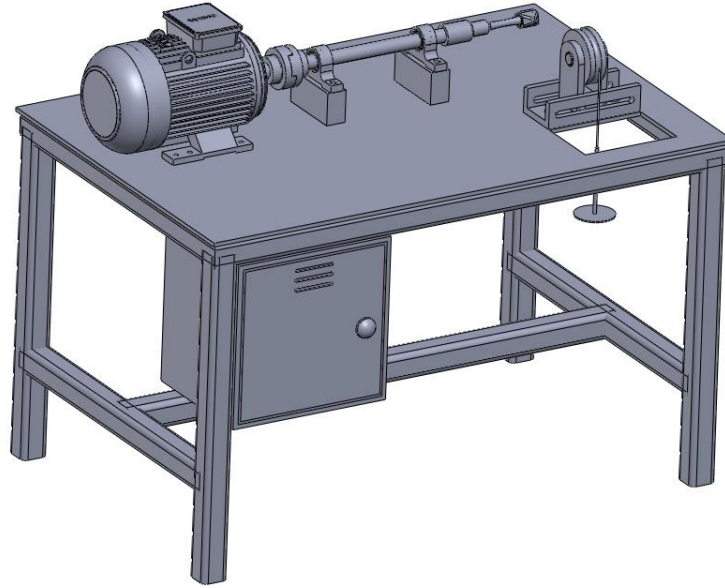


Şekil 3.16. Selçuk Üniversitesi'nde bulunan "döner eğilmeli yorulma seti"



Şekil 3.17. Döner eğilmeli test cihazı

### 3.2. Döner Eğilmeli Yorulma Test Cihazının Çalışma Şekli



Şekil 3.18. Döner eğilmeli yorulma test cihazı (Yıldız ve Solmaz 2012)

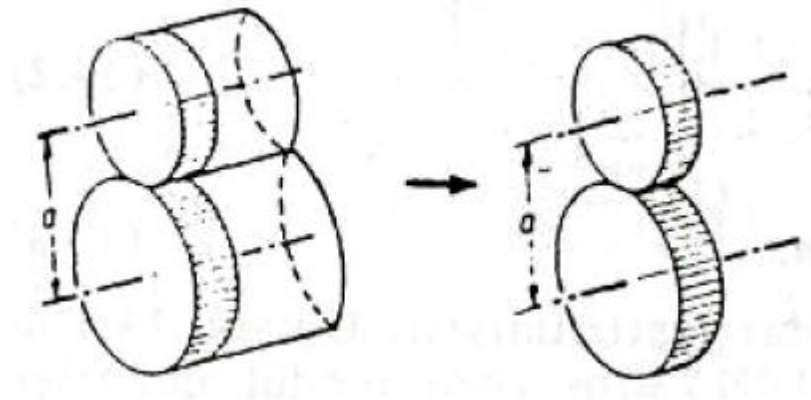
Döner Eğilmeli Test Cihazı devir ayarlayıcısına ve motora aynı anda gelen elektrik enerjisi, devir ayarlayıcı vasıtasıyla istenilen devirde motora bağlanmış olan mili harekete geçirir. Burada rulmanlarla yaltaklanmış olan motor miline bağlı olan numuneyi harekete geçirip numunenin diğer kısmına ise yük askısını şekildeki gibi bağlayarak numune bir yandan dönerken diğer tarafta eğilmeye maruz bırakılmaktadır.

## 4. DİŞLİ HASARLARI VE DİŞLİ HASARI TEST CİHAZLARI

### 4.1. Dişli Çark ve Dişli Çark Mekanizmaları

Devir ve güç aktaran elemanlardan en fazla kullanılan dişli çark mekanizmasıdır ve en az iki dişliden meydana gelen bir sistemdir. Güç aktaran bakımından, mekanizmanın bir döndüren dişlisi ve birkaç da döndürülen dişlisi vardır. Genellikle mekanizmanın küçük dişlisine pinyon büyüğüne de çark denir.

Eksenleri aynı düzlemde birbirine paralel olan iki mil arasında devir ve güç aktaran çarklara alın dişli veya silindirik dişli çarklar denir. Bu dişliler, dişlerin yönü çark eksenine göre paralel olduğu durumda düz silindirik (Şekil 4.1), eğik olduğu halde çift helisel silindirik veya helisel silindirik dişli çark adını alırlar. Ayrıca çarklar, birbirinin içinde veya dışında yuvarlanmalarına göre iç veya dış silindirik dişli çarklar vardır. Pratikte daha çok kullanıldığından dış dişli çarklara yalnız dişli çark, diğerine ise iç dişli çark denir. İç dişli çarklar da düz, çift helisel ve helisel şeklinde olabilirler.



Şekil 4.1. Dişli eksenleri paralel konumda (Akkurt 2000)

## 4.2. Dişli Çarklarda Oluşan Hasarlar

Dişli tasarımı ve yapımına ait yapılan çalışmaların, dişli çarklardaki birçok deformasyonu ayrıntılı bir şekilde uygun bulması gerekir. Amerikan Dişli Üreticileri Birliği (AGMA) ulusal standartlarda diş bozukluklarını 5 temel alanda incelenmektedir.

1. Aşınma
2. Kırılma
3. Yüzey Yorulma Hasarları
4. Plastik Akma
5. İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar

Yukarıdaki deformasyonlar çeşitli türlere ayrılmaktadır. Bir dişli tasarlanması esnasında dişlinin çalışma şartlarında büyük bir olasılıkla ne tür hasarlarla karşılaşacağı bilinmesi gerekir. Tasarımcı, dişlileri, aşınma direncine, uygun kuvvete gibi hasarı önemli bir şekilde etkileyecek olan etkenleri dikkate alarak tasarlaması gerekmektedir. Ayrıca makine yağ seçiminin de ısı işlem derecesinde önemli bir etken olduğu bilinmesi gerekir (Kızılaslan 2007).

### 4.2.1. Aşınma

Aşınma, temas halindeki makine parçalarının sürtünme şeklindeki yüzeylerinde oluşan kopma olayıdır. Bu şekilde, parçaların yüzeyleri başlangıçtaki biçimlerini kaybederek, aralarındaki boşluklar büyüyüp ve bununla birlikte, gürültü ve titreşimler meydana gelir, dinamik kuvvetler büyür, maksimum hassasiyet ve verimde azalma görülür. Aşınma, genel olarak dış etkiler altındaki temas halindeki yüzeylerde oluşan kimyasal ve fiziksel değişimler sonucu oluşur (horsburgh-scott.com).

Dişli yüzeyinde oluşan aşınma çeşitleri çoğu kez çalışma şartlarının etkisinde kalarak değişiklik gösterir. Ancak temelde aşınma, birbirine değen diş yüzeyi arasında yağ tabakasının hiç olmaması veya yetersiz olmasına bağlı olarak oluşmaktadır. İki dişli yüzeyi arasında bulunan yağ tabakasının azlığı durumunda yüzeyler arasında doğrudan temas oluşacak ve aşınma başlamış olacaktır. Aşınma hasarı; adhesiv ve abrasif aşınma olarak iki sınıfa ayrılabilir (Aslantaş 2003).

#### 4.2.2. Kırılma

Dişli yüzeylerindeki kırılma olayı makine parçalarında en dikkat edilmesi gereken riskli ve tehlikeli hasar biçimidir. Hatta asansör, vinç veya helikopter gibi makinelerde büyük tehlikeler meydana gelebilir. Bundan dolayı insanların hayati risk taşıdığı çalışma alanlarında dişlilerin kırılma olayından dolayı emniyet katsayısı değerinin artırılması gerekir. Kırılma olayı; aşırı yük, basit eğilme yorulmaları, jant veya diş kırılmaları gibi değişik biçimlerde ortaya çıkabilir (Aslantaş 2003).

Dişli çark üzerindeki dişlerde eğilmeye etken olan kuvvetlerin, diş profili ile diş kökünün kesiştiği noktalarda ve diş kökündeki kavislerde yüksek gerilme sebebidir. Diş, değmenin olduğu yönde çekme, bunun zıt yönünde ise basma gerilmelerinin etkisi altında kaldığı görülmüştür. Şayet riskli bölgeler üzerinde oluşan çekme gerilmesi, dişli malzemesinin mukavemet sınırını aşmasına izin verirse, bunun neticesinde yorulma çatlakları meydana gelecek ve çalışmanın devamında diş çark gövdesi ile ayrılamaya kadar götürebilecektir. Buna örnek olarak Şekil 4.2.'de diş kökü kavisinde meydana gelen basit yorulma kırılması görülmektedir.



Şekil 4.2. Diş dibi kırığı (etd.adm.unipi.it)

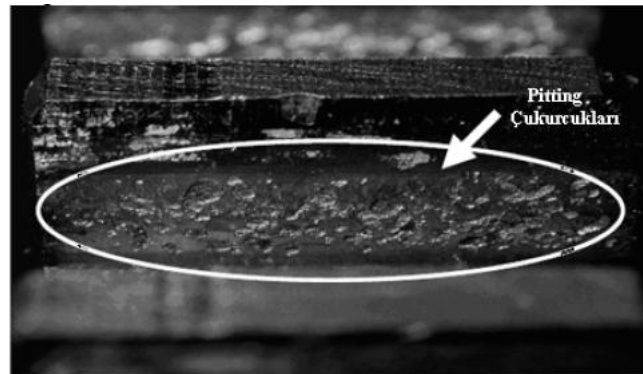
Çatlak, kök kavisinde çekmeye zorlandığı bölümde başlayıp, diş üzerinde dik ya da paralel doğrultuda kırılma oluşuncaya kadar yavaşça ilerlediği görülür. Oluşan kırıkların yüzey üzerinde çoğunlukla, ilerleyen çatlakların ön kısmının oluşturduğu biçim, dalgaların kıyıya vurduğunda kumsal üzerinde bırakmış olduğu izler şeklinde görülür. Bunlar, ilerlemekte olan çatlakların belirli bir zamanda ön kısmının konumunu belirler. Kesit, aşamalı bir şekilde zayıfladıkça, çatlak her yük çevriminde biraz daha ilerleme gösterir

ve dalga izleri daha kaba halinde görülür. Bu biçimdekilerin merkez noktası çoğunlukla kırık bölgesinin merkez noktası üzerinde pozisyon almıştır (Başaran 2001).

Yorulma kırılma hasarları, malzeme mukavemet sınırı üzerinde yinelenen eğilme zorlamaları sonucudur. Eğer dişlerin birbirine dokunduğu noktalardaki izler bütün diş yüzeyince görülüyor ya da dişin bir ucundaki kırılma derin bir iz gözleniyorsa dişli yataklanmaları ile ilgili sorunun olup olmadığı araştırılması yapılmalıdır. Temas şeklinin tam olduğuna emin olunduysa sistem üzerindeki yük miktarı azaltılmalı ya da dişli malzemesi daha dayanıklı olarak tasarlanmalıdır. Şayet temas yerel yüklemelere işaret ediyorsa; millerin paralelliği, dişlilerin birbirine göre konumu ya da uygulanmış ise düzeltme işlemleri ve profil kaydırma kontrol edilmesi gerekir. Hatalı yapılan tasarım, aşırı yük ile çentik, dişli eksenleri arasındaki paralellik bozukluğu, yüzeyde ya da yüzey altındaki hatalar gibi gerilimin artmasına sebep durumlar yorulma kırılmasının bilinen etkenleridir.

#### 4.2.3. Yüzey Yorulması Hasarları

Bu yorulma, malzemenin dayanım sınırı ilerisindeki yinelenen yüzeyde ya da yüzey altındaki oluşan gerilmelerin neticesinde meydana gelen bir hasar tipidir. Yeterli olmayan yağlamanın meydana getirdiği aşınma hasar türlerinden farklıdır. İyi yağlama koşullarında da görülebilmektedir.



Şekil 4.3. Pitting(Kızılaslan 2007)

Fazla basınç altında aşırı miktarda yük tekrarının sonrasında, dişin yüzeyinde ya da yüzeyin altında meydana gelen minik çatlakların büyüüp, birleşmesiyle oluşturdukları

çatlak topluluğunun çevirdiği malzeme parçacığının kopup ayrılmasıyla görülür. Spalling veya pitting olarak adlandırılır (Şekil 4.3.).

#### 4.2.3.1. Pitting

Dişli çark sisteminin çalışmaya başladıktan az bir zaman sonunda görülmeye başlanabilen ve aşağıdaki gibi üç değişik biçimde görülebilen yüzey yorulması hasar türüdür.

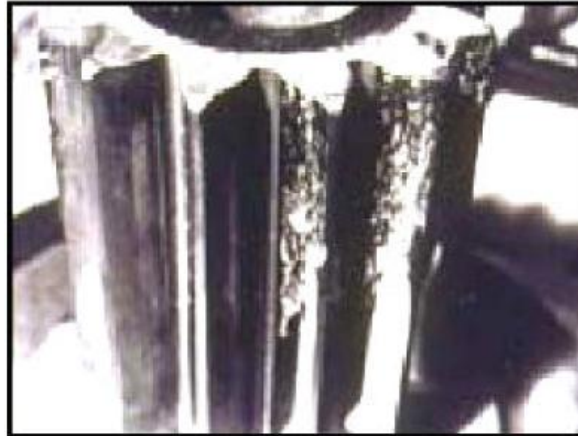
1-Başlangıç pittingi

2-İlerleyen pitting

3-Normal pitting

#### 4.2.3.2. Spalling

Spalling, diş yüzeyinde kopan parçanın ardında oluşan büyükçe alana verilen bir terimdir. Tamamen sertleştirilme işlemi görmüş dişlilerde ve yumuşak malzemelerde bir nokta art arda gelen veya iç içe geçen büyük çukurcukların birleşmesi biçiminde meydana gelir. Görünüşte ilerleyen pitting gibidir. Aşağıdaki resimde spalling oluşmuş dişli resmi gösterilmektedir (Şekil4.4.).



Şekil 4.4. Spalling (atsb.gov.au)

Spalling, diş yüzeyindeki pürüzlü ve kopmaya elverişli alanlarının da etkisiyle yüksek temas gerilmeleri tarafından oluşturulur. Spallinge neden olan başka faktörler ise, yüzeyi

sertleştirme işlemi görmüş dişlilerin yüzey ya da yüzey altı hataları ile hatalı ısı işlemlerin sonunda oluşan iç gerilmelerdir.

#### 4.2.4. Plastik Akma

Plastik akma; beraber çalışan dişlilerin diş yüzeylerindeki yüksek temas kuvvetleri ile kayma-yuvarlanma olayları neticesinde ortaya çıkan istek dışı soğuk şekillenme olayıdır. Diş yüzeyi ve yüzey altındaki malzemenin akarak deforme olması nedeniyle meydana gelen hasar türüdür. Çoğunlukla yumuşak malzemeler kullanılan dişlilerde görülmesine rağmen, ağır yükler altında sement edilmiş olan dişlilerin yüzeyinde de görülebilmektedir (Şekil 4.5).



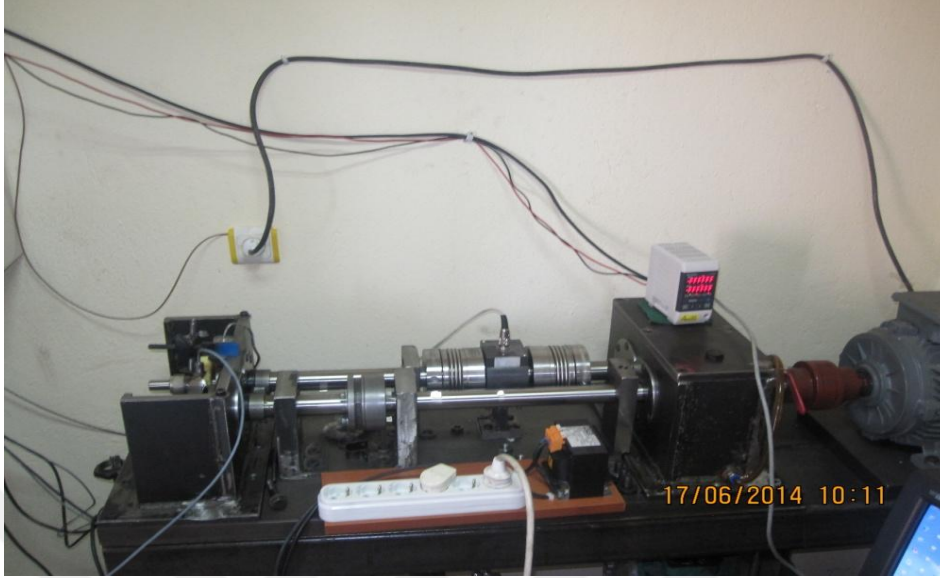
Şekil 4.5. Soğuk akma (sintebros.com)

#### 4.2.5. İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar

Küçük dişli çarklar ve pinyon, genel olarak mile kaynaklı olarak veya dolu malzemenin üretilir. Sayının çok olmasında ise imalat döküm yolu ile oluşturulur. Konik biçimindeki dişli çarkların imalatında da alın dişli çarkların üretiminde kullanılan, form freze ve yuvarlanma ile üretilirler. En sık kullanılan yöntem de yuvarlanma yöntemidir. Alın dişli çarkların üretiminden değişik olarak kullanılan konik takımlardır. Dişli çarkların tasarımında genellikle malzeme olarak ıslah çeliğinden ya da sementasyondan üretilir. İmalattan sonra da dişli çarklarındaki diş yüzeylerini aşınma direncini artırmak için yüzey sertleştirme işlemine tabi tutulur. Dişli çarklarda kullanılan bu üretim işte bu imalat işlemleri esnasında bazı hasarlar meydana gelebilir. Hasarlar sertleştirme ve taşlama sırasında oluşan çatlaklar olabilir.



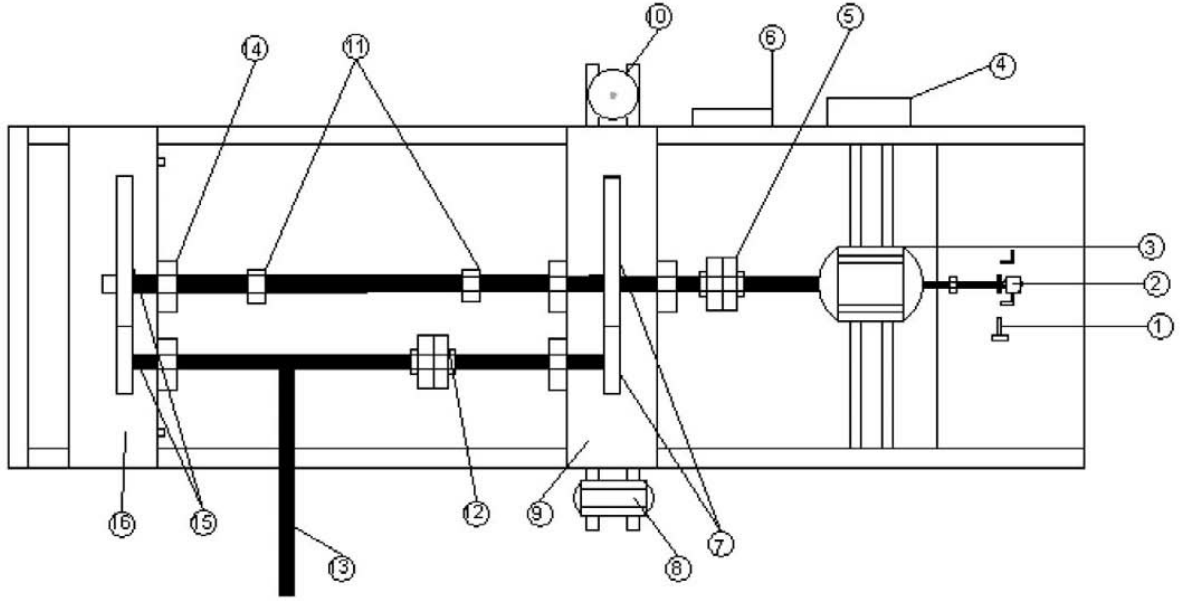
### 4.3. Dişli Aşınma Test Cihazı



Şekil 4.6. Dişli aşınma test cihazı (Uzun ve Yıldız 2014)

“FZG kapalı devre güç dolaşım sistemi,” dişli çarklarda aşınma ve yorulma deneylerinin yapılması için yaygın olarak kullanılmaktadır (Flodin and Andersson (1997,2000), Dhanasekaran and Gnanamoorthy 2008). Şekil 4.7’de şematik olarak gösterilen düzenek aynı çevrim oranını sağlayan iki dişli kutusundan meydana gelmektedir. Dişli kutularından biri Şekil 4.7’de 9 no’lu eleman olup motordan gelen gücü millere ileten dişli kutusudur. 16no’lu dişli kutusunda ise, aşınma deneyine tabi tutulacak deney dişlileri bulunmaktadır. İki dişli kutusu arasında iki adet mil mevcuttur. Millerden biri test dişli kutusunun üzerindeki dişli çarkı taşıyan mildir. Bu mil üzerinde iki adet kardan kavrama mevcuttur. Diğer mil ise, üzerinde burulma momentinin oluşturulduğu tork kaplininin mevcut olduğu mildir. Bu düzende yüklem sistemi hareketsizken yapılır. Sistem sabitlendikten sonra yardımcı dişli kutusu ve test dişli kutusu arasında bulunan mile takılan moment kolunun serbest ucuna ağırlık asılarak tork kaplini bulunan mil burulur. Ağırlıklar moment kolunda takılı iken kaplinin üzerinde bulunan civatalar sıkılarak sistem yüklenir. Takılan ağırlığın kalibrasyonu için strain-gauge düzenek hazırlanarak her ağırlığın hangi burulma momentine karşılık geldiği saptanmıştır. Deney düzeneğindeki motor, dişlileri taşıyan mili tahrik eden 7,5 kW gücünde, hızı dakikada 3000 devire kadar çıkabilen trifaze elektrik motorudur. Deneylerde sabit sıcaklıkta çalışabilmek için ısıtıcı-soğutucu düzenek mevcuttur. Yağın sıcaklığını ölçmek içinde test

dişlilerinin bulunduğu dişli kutusunda iki adet termo-couple kullanılmıştır. Sıcaklık kontrolünde sapma  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'dir. Deney düzeneğinde sıcaklık kontrolü ve tahrik motorunun devir sayısının ayarlanabileceği kontrol panoları bulunmaktadır. Hız kontrol panosu ile 3000 d/d devirle dönen sistem 10 ayrı hız kademesinde çalıştırılabilir. Bu sayede sistemde farklı devirlerde yorulma ve aşınma deneyleri yapmak mümkündür (Tunalıoğlu ve Tuç 2012)



Şekil 4.7. Dişli aşınma test cihazının şematik gösterimi (Tunalıoğlu ve Tuç 2012)

Dişli aşınma test cihazının çalışma şekli, döner eğilmeli test cihazı ile çok benzerdir. Deney numunesinin hareketi, devir ayarlayıcısına ve motora birlikte gelen elektrik enerjisini, devir ayarlayıcı yardımıyla istenilen devirde motor milini harekete getirir.

(İşel 2007) de kendi çalışmasında bahsettiği gibi, redüktör aynı çevrim oranını sağlayan iki dişli kutusundan meydana gelir. Dişli kutuları arasındaki çıkış milinin burulmasıyla sistem yüklenmiş olur. Cihazın yükleme şekli hareketsizken yüklenebilen cinstendir. Test edilecek dişlilerin test kutusuna montajını takiben, yardımcı dişli kutusu ve motor arasında kalan mil parçasına bir adet cıvata takılıp, boyunu ayarlanmış olan hareketsiz desteğe denk getirilerek sistemin hareketsiz kalması sağlanır. Sonra da, test dişli kutusu ve yardımcı dişli kutusu arasındaki tork milinin üzerindeki tork kaplinine bağlı mil ile bir moment kolu aracılığıyla yük asılır. Böylelikle tork mili burulmuş olur. Yük asılı halde,

tork kaplininin üzerinde bulunan cıvatalar sıkılarak kapalı devre tamamlanır ve sabitleme cıvatası çıkartılır. Bu sayede, burulan milin uğradığı açısal deformasyon kapalı devredeki tüm millere ve dolayısıyla dişlilere dağılmış olur. Yükleme için uygulanan burulma momentinin yönünün, motorun dönüş yönünün aksi istikametinde olduğu bilinmektedir.



## **5. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu çalışmada, döner eğilmeli yorulma test cihazı ve dişli test cihazı çalışma prensibi bakımından birbirlerine yakın olduğundan, iki tezgahın çalışma prensibi göz önünde bulundurularak yeni bir cihaz başarılı bir şekilde tasarlanabilirse, her iki cihazın yaptığı işi yapabileceği fikrinden yola çıkılarak yeni bir cihaz tasarlanmıştır. Bu amaçla önce cihazda kullanılan parçaların gerekli hesaplamaları yapılmış, ve daha sonra bu hesaplamalar sonucunda cihazın tasarımını SOLIDWORKS CAD programı kullanılarak elemanlar tek tek modellenmiş ve daha sonra bu elemanlar birleştirilerek cihazın montajı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kritik yük altında çalışan elemanların ANSYS programı vasıtası ile gerekli gerilme analizleri yapılarak konstrüksiyonun tasarım doğruluğu ispatlanmıştır.

### **5.1. Hesaplamalar**

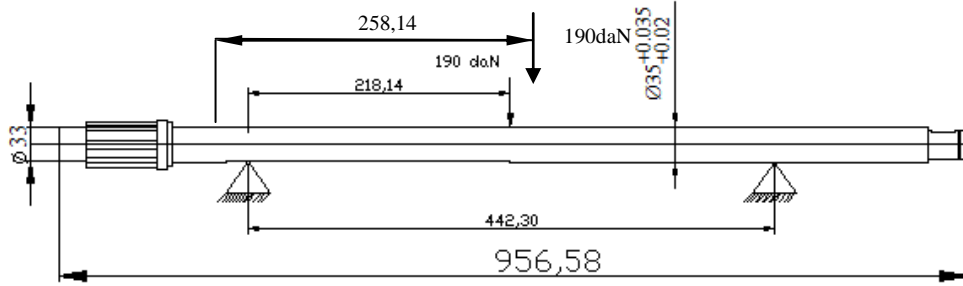
Yeni tip test cihazında kullanılan makine parçalarının gerekli hesaplamaları aşağıda yapılmıştır.

#### **5.1.1. Mil Hesabı**

Tasarım test cihazında kullanılan makine elemanlarından biri olan motor mili ve tork milinin kullanılan malzemesi, motor seçimi belirlenerek yapılan çap hesaplamaları ve gerekli emniyet kontrolleri yapılmıştır.

Seçilen malzeme: St 42-2 çeliği.

### 5.1.1.1. Burulma Momentine Göre Mil Hesabı



Şekil 5.1. Tork milinin şematik gösterimi.

$$\tau_{bem} = \frac{\tau_{dD}}{s} \geq \frac{16Md}{\pi d^3} \text{ daN/cm}^2 \quad (5.1.)$$

$\tau_{dD}$ , St 42-2 malzemesi için Cetvel.2'den;

$$\tau_{dD} = 16 \text{ daN/mm}^2 = 1600 \text{ daN/cm}^2$$

$$s = 10 \dots 14$$

$$s = 12 \text{ alındı.}$$

$$\tau_{bem} = 133,3 \text{ daN/cm}^2$$

$$Md = 71620 \frac{N}{n} \text{ daN.cm} \quad (5.2.)$$

$$N = 7,5 \text{ kW}$$

Gerekli kabuller;

Motor gücü : 7.5 kW

Motor devri: 3000 dev/ dak. olarak seçildi.

1 kW = 1,36 BG olduğundan;

$$N = 10,2 \text{ BG} \quad n = 3000 \text{ dev/dak}$$

bu değerler denklem 5.1.'de yerine yazılıp  $d$  değeri çekilecek olursa;

$$d_{mi} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 71620 \cdot N}{\tau_{dem} \cdot \pi \cdot n}} \text{ (cm)} \quad (5.3.)$$

$$d_{\text{mil}} = \sqrt[3]{\frac{16.711620 \cdot 10.2}{133,3 \cdot \pi \cdot 3000}} \text{ (cm)}$$

$d_{\text{mil}} = 3,05 \text{ cm} \cong 30,5 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$  olduğundan mil çapı burulmaya göre emniyetlidir.

$$d_{\text{mil}} = 35 \text{ mm}$$

### 5.1.1.2. Eğilme ve Burulmaya göre Emniyet Kontrolü

$$\sigma_B \geq \sqrt{\sigma e^2 + 3(\alpha o \cdot \tau b)^2} \leq \sigma_{Bem} \quad (5.4.)$$

$$\sigma_B \geq \sqrt{\left(\frac{10 \cdot M_{\text{emax}}}{d^3}\right)^2 + 3 \cdot \alpha o^2 \cdot \left(\frac{5Mb}{d^2}\right)^2} \leq \sigma_{Bem} \quad (5.5.)$$

d çekilirse;

$$d_{\text{bil}} \geq \sqrt[3]{\frac{5}{\sigma_{Bem}} \sqrt{4M_{\text{emax}}^2 + 3 \cdot \alpha o^2 \cdot Mb^2}} \quad (5.6.)$$

$$Mb = 243,51 \text{ daN.cm}$$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{Bem}}{1,73 \cdot \tau d D} \quad (5.7.)$$

$$\sigma_{Bem} = \frac{\sigma_{eT} \cdot K_b}{K_{\phi} \cdot s} \quad (5.8.)$$

$$\sigma_{eT} = 19 \text{ daN/mm}^2 \quad (\text{Cetvel-2})$$

$$K_b = 0,78 \quad (\text{Cetvel-4})$$

$$K_{\phi} = 1,8 \quad (\text{Cetvel-3})$$

$$s = 2 \dots 3$$

$$\sigma_{Bem} = 329,33 \text{ daN/cm}^2$$

$$\alpha_0 = 0,012$$

$$M_{\text{emax}} = F \cdot L \quad (5.9.)$$

L: Yükün aksel olarak uygulandığı yerden yatağa olan uzaklığı

$$L=258,14 \text{ mm} = 25,81 \text{ cm}$$

$$F_{\text{maks}} = 190 \text{ daN}$$

$$M_{e_{\text{max}}} = 4902 \text{ daN.cm}$$

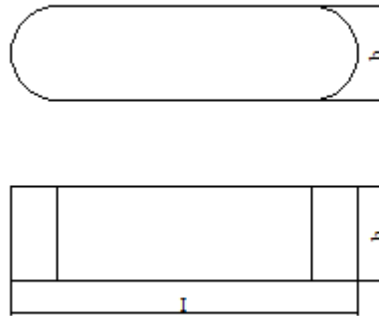
$$d \geq \sqrt[3]{\frac{5}{329.33} \sqrt{4(4902)^2 + 3 \cdot (0,012)^2 \cdot (243.51)^2}}$$

$$d=2,46 \text{ cm}$$

$d_{\text{bil}}=24,6 \text{ mm} < d_{\text{mil}}=35 \text{ mm}$  olduğundan seçtiğimiz mil emniyetlidir.

### 5.1.2. Kama Hesabı

Elektrikli motoru motor miline bağlamak için kullanılabilecek makine parçası olan kamanın ebat ölçüleri hesaplanmıştır.



Şekil 5.2. Kamanın şematik gösterimi.

$$L_{\text{kama}} = 1,3 \cdot d \quad \text{mm} \quad (5.15.)$$

$$L_{\text{kama}} = 41,6 \text{ mm} = 4,2 \text{ cm}$$

$$P = \frac{(\pi \cdot d^2 \cdot \tau_{\text{dem}})}{16 \cdot \mu \cdot b \cdot L} \leq P_{\text{em}} \quad (5.16.)$$

St 37 malzemesi için kamanın basmaya ve kaymaya karşı emniyetli olabilmesi için;

$$P_{\text{em}} = \tau_{\text{em}} \quad \text{alındı.}$$

Burada;

$$d=35 \text{ mm} = 3,5 \text{ cm}$$

$$\tau_{dem} = \frac{\tau_{dD}}{s}$$

$$\tau_{dD} = 1400 \text{ daN/cm}^2$$

(Cetvel-2)

$s=11 \dots 13$ 'den  $s=12$  alındı.

$$\tau_{dem} = 116,67 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{em} = \frac{\sigma_{em}}{2}$$

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{AK}}{s}$$

$$\sigma_{AK} = 2300 \text{ daN/cm}^2$$

$s=1,5 \dots 2,5$ 'den  $s=2$  alındı.

$$\sigma_{em} = 1150 \text{ daN/cm}^2$$

$\tau_{em} = 575 \text{ daN/cm}^2$  bulundu.

Çelik-Çelik malzeme çifti için ve kuru halde

$\mu = 0,065 \dots 0,16$  arasından bir değer alındı.

(Cetvel 9.1.)

Buradan ;

$\mu = 0,1125$  alınıp bütün değerler 5.16.'da yerine konularak  $b$  değeri;

$$b \geq \frac{\pi \cdot 3,5^2 \cdot 116,67}{16 \cdot 0,1125 \cdot 2,6 \cdot 575} \text{ cm}$$

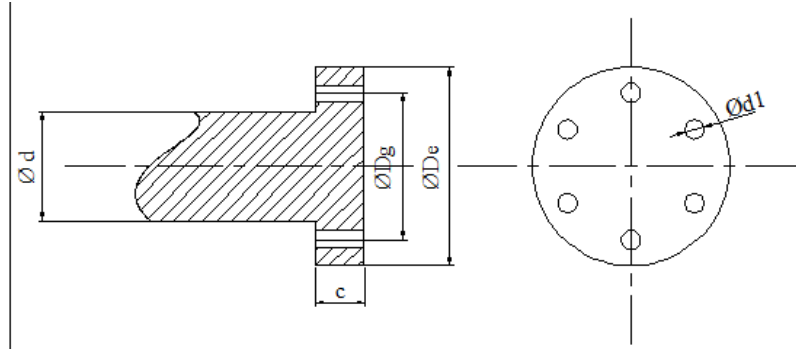
$b = 1,67 \text{ cm} = 16,7 \text{ mm}$  bulundu.

### 5.1.3. Flaş Hesabı

Tasarım test cihazının motor milinin ara elemanı olan flaşlı milin flaş kısmının hesaplaması yapılarak tasarım elemanı tasarlanmıştır.

Denklemler 5.3.'ten mil çapı  $d = 35 \text{ mm}$  alınır.





Şekil 5.3. Flanş şematik gösterimi

### 5.1.3.1. Eksen Çapı

$$d_e = 3,1 \cdot d \quad (5.17.)$$

$$d_e = 108,5 \text{ mm}$$

### 5.1.3.2. Flanş Dış Çapı

$$D = (4,5 \dots 5) \cdot d \quad (5.18.)$$

$$D = 4,75 \cdot d$$

$$D = 166,25 \text{ mm}$$

### 5.1.3.3. Flanş Et Kalınlığı

$$C = 1,25 \cdot d \quad (5.19.)$$

$$C = 43,75 \text{ mm}$$

### 5.1.3.4. Civata Çapının Hesabı

Flanş üzerinde kullanılan civataların hesapları

Denklem 5.2.'den

$$M_d = 243,51 \text{ daN.cm}$$

$$\text{Sürtünme Momenti } M_s = k \cdot M_d \quad (5.20.)$$

k değeri, orta sarsıntılı makineler için= 1,5

Buradan;

$$M_s = 365,26 \text{ daN.cm}$$

$$\text{Çevre kuvveti (F}_\zeta) = \frac{2 \cdot M_s}{d_e} \text{ daN} \quad (5.21.)$$

$$F_\zeta = 67,33 \text{ daN}$$

$$F = \frac{F_\zeta}{\mu} \text{ daN} \quad (5.22.)$$

$\mu = (0,2 \dots 0,25)$  'ten

$$\mu = 0,225$$

$$F = 299,24 \text{ daN}$$

$$\text{Her bir cıvataya gelen kuvvet (F}_1) = \frac{F}{0,7 \cdot z} \quad (5.23.)$$

$z = 6$  alınır.

$$F_1 = 71,25 \text{ daN}$$

Vida diş dibi kesiti  $A_1 = \frac{F_1}{\sigma_\zeta}$  'den

$$\sigma_\zeta = \frac{4 \cdot F_1}{\pi d_1^2} \leq \frac{\sigma_{ak}}{s} \quad s = (1,5 \dots 2) \quad (5.24.)$$

$\sigma_{AK}$  tablodan  $\sigma_{AK} = 25 \text{ daN/mm}^2$

Buradan;

$$d_1 = 2,51 \text{ mm}$$

Cetvel A-11-1'den en yakın değer 3,141 olan M4 seçilmiştir.

\*\* Cıvata çapının 4 mm'den küçük olması gerekir.

Kayma gerilmesine göre kontrolü yapıldığında;

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_1}{\pi \cdot \tau}} \quad (5.25.)$$

$$\tau = \frac{\tau_{AK}}{S} \quad (5.26.)$$

$$\tau_{AK} = \frac{\sigma_{AK}}{2} \quad (5.27.)$$

Buradan;

$d_1 = 3,6 \text{ mm} < 4 \text{ mm}$  olduğundan seçim doğrudur.

#### **5.4. Tasarım ve Montaj**

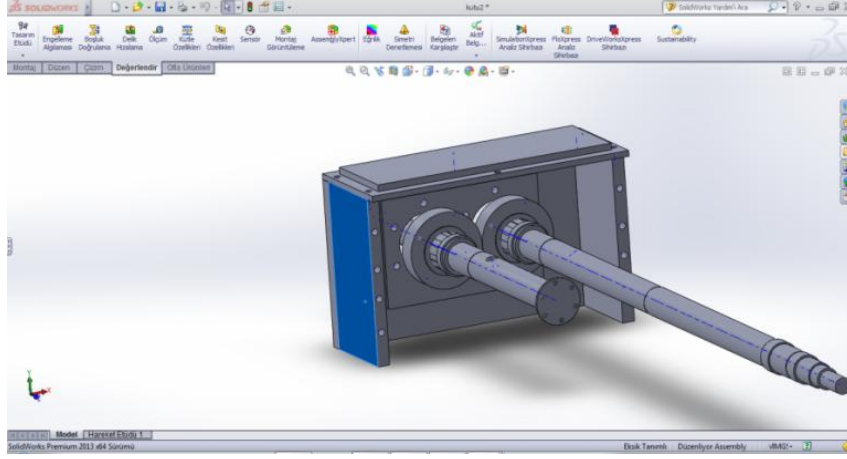
Bu çalışmada, mevcut bulunan iki deney cihazının çalışma prensiplerini üzerinde taşıyan tek bir cihaz tasarlanmıştır. Döner Eğilmeli Yorulma Test Cihazı ile Dişli Aşınma Test Cihazını tek bir cihazda birleştirerek hem yer hem de maliyet olarak tasarruf amaçlanmıştır. Yapılan bu yeni tasarımla üretilecek cihazda hem döner eğilmeli yorulma deneyleri ve hem de dişli aşınma deneyleri kolaylıkla yapılabilir olacaktır.

Tasarlanan bu cihazda, cihazı dişli aşınma cihazından, döner eğilmeli yorulma Test Cihazına dönüştürmek için ise ara bağlantı mili olan flanşlı mil çıkarılıp, deney numunesi tutucusu ve deney numunesi ile numune yatağı ve yük askısı yerleştirilerek sağlanmış olur.

#### **5.5. Tasarım Parçaları**

##### **5.5.1. Kapalı Devre Dişli Kutusu**

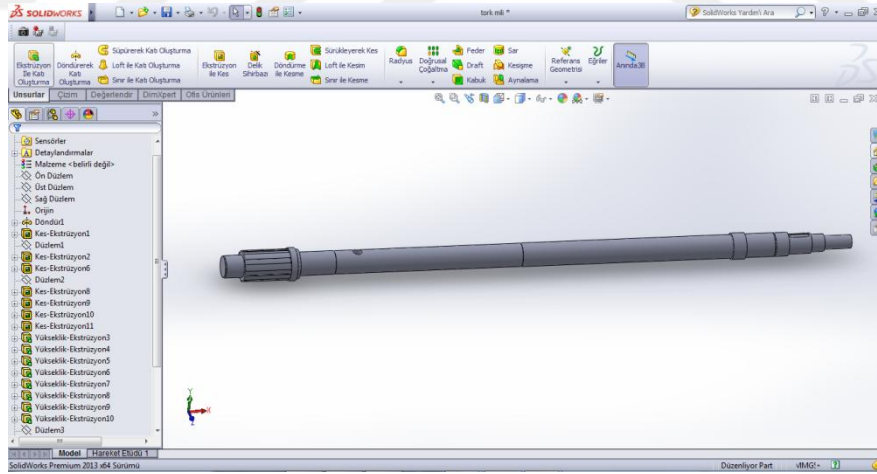
Yeni tip deney cihazında tork miline hareket vermek ve dişli aşınma deneyi yapılmak için tasarlanan bu kutuda motor mili ile tork mili üzerine düz dişli sistemi uygulanmıştır. Kapalı devre dişli kutusunun montaj ve tasarımı aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.4. Kapalı devre dişli kutusu montaj görünümü

### 5.4.2. Tork Mili

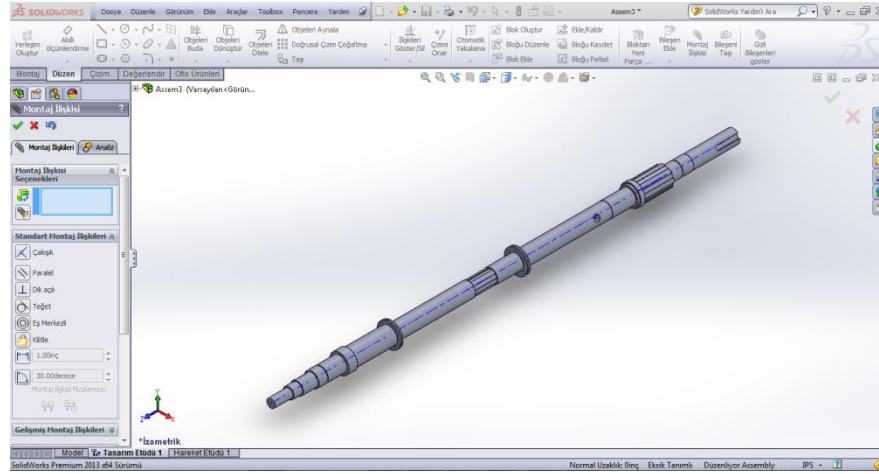
Tork mili, kapalı devre dişli kutusundan başlayıp dişli deney kutusuna kadar uzanacak şekilde tasarlanan bir kademeli mildir. Bunun için ise gerekli hesaplamalar bölüm 5.1.1.'de hesaplanarak SOLIDWORKS CAD'da çizilmiştir.



Şekil 5.5. Tork mili

### 5.4.3. Motor Mili

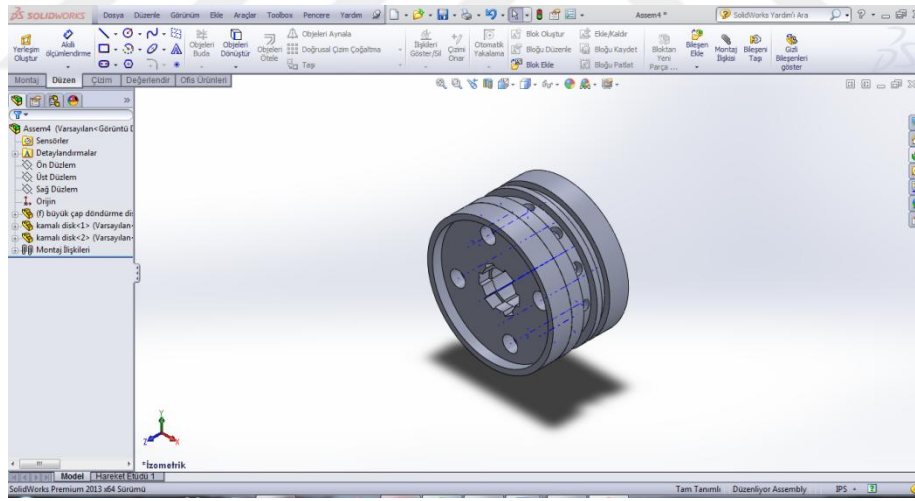
Bu tasarımda motor mili üç parçadan oluşmaktadır. Motordan gelen mil, flanşlı mil ve son dişli kutusuna giden mil.



Şekil 5.6. Motor milı

#### 5.4.4. Tork Kaplini

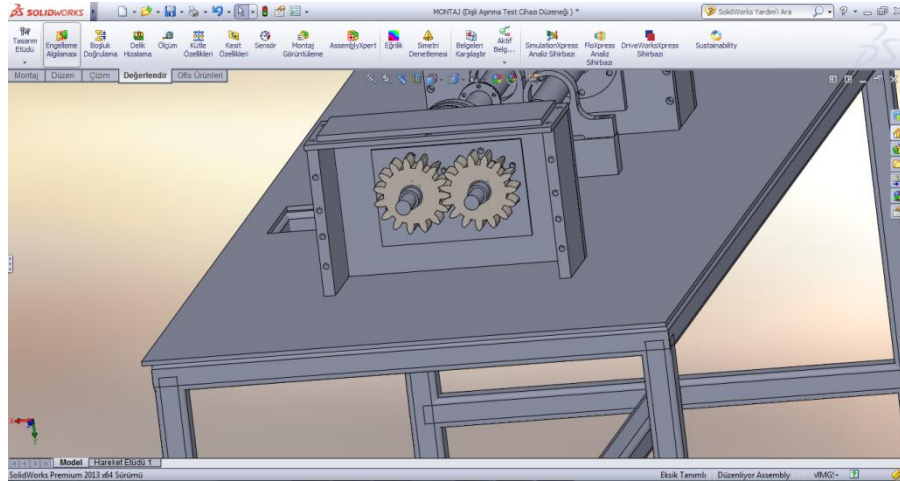
Dişli aşınma deneyinde kullanılan yük kaplinidir. SOLIDWORKS CAD'da çizimi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Tork kaplini

#### 5.4.5. Dişli Deney Kutusu

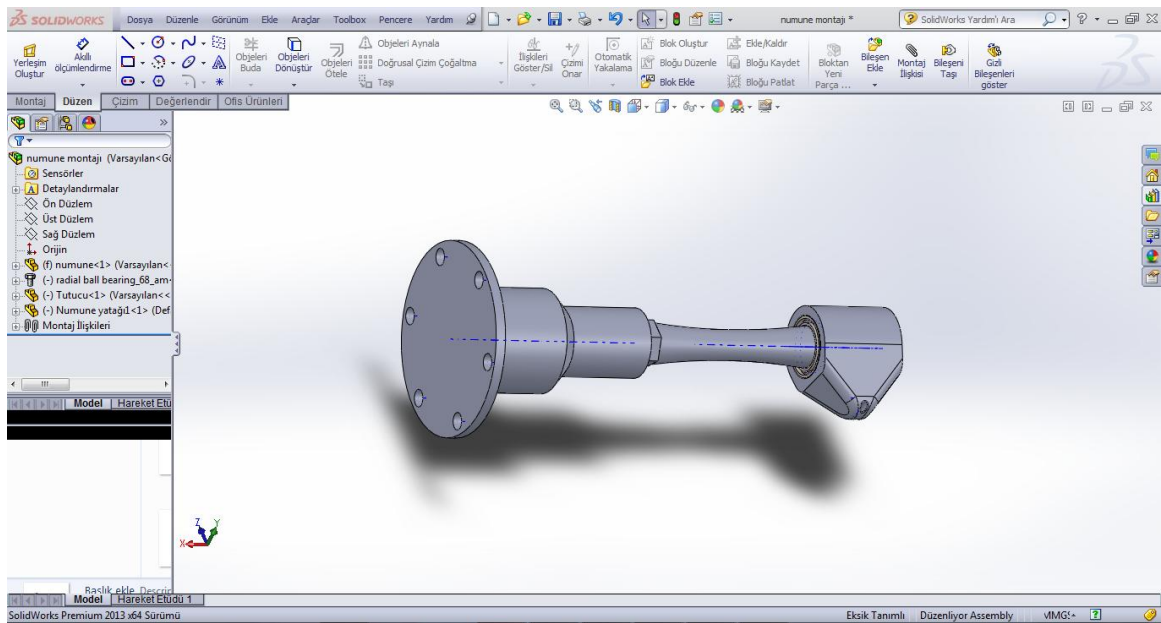
Aşınma testlerinin yapılması için tasarlanan dişli kutusunun Solidworks'teki montaj hali aşağıdaki gibi görüntülenmiştir.



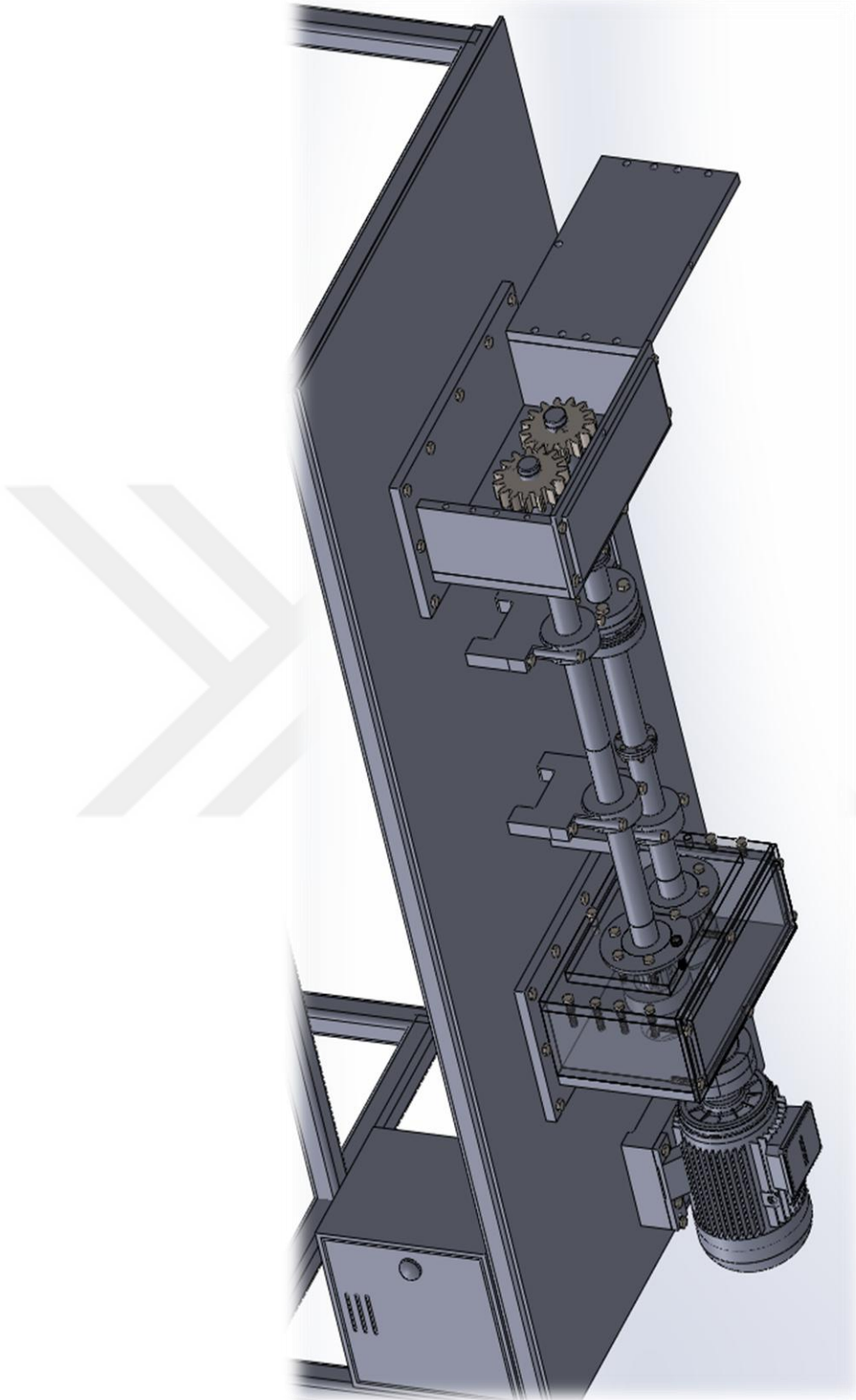
Şekil 5.8. Dişli deney kutusu

#### 5.4.6. Döner Eğilmeli Yorulma Test Numunesinin Motor Miline Montaj Hali

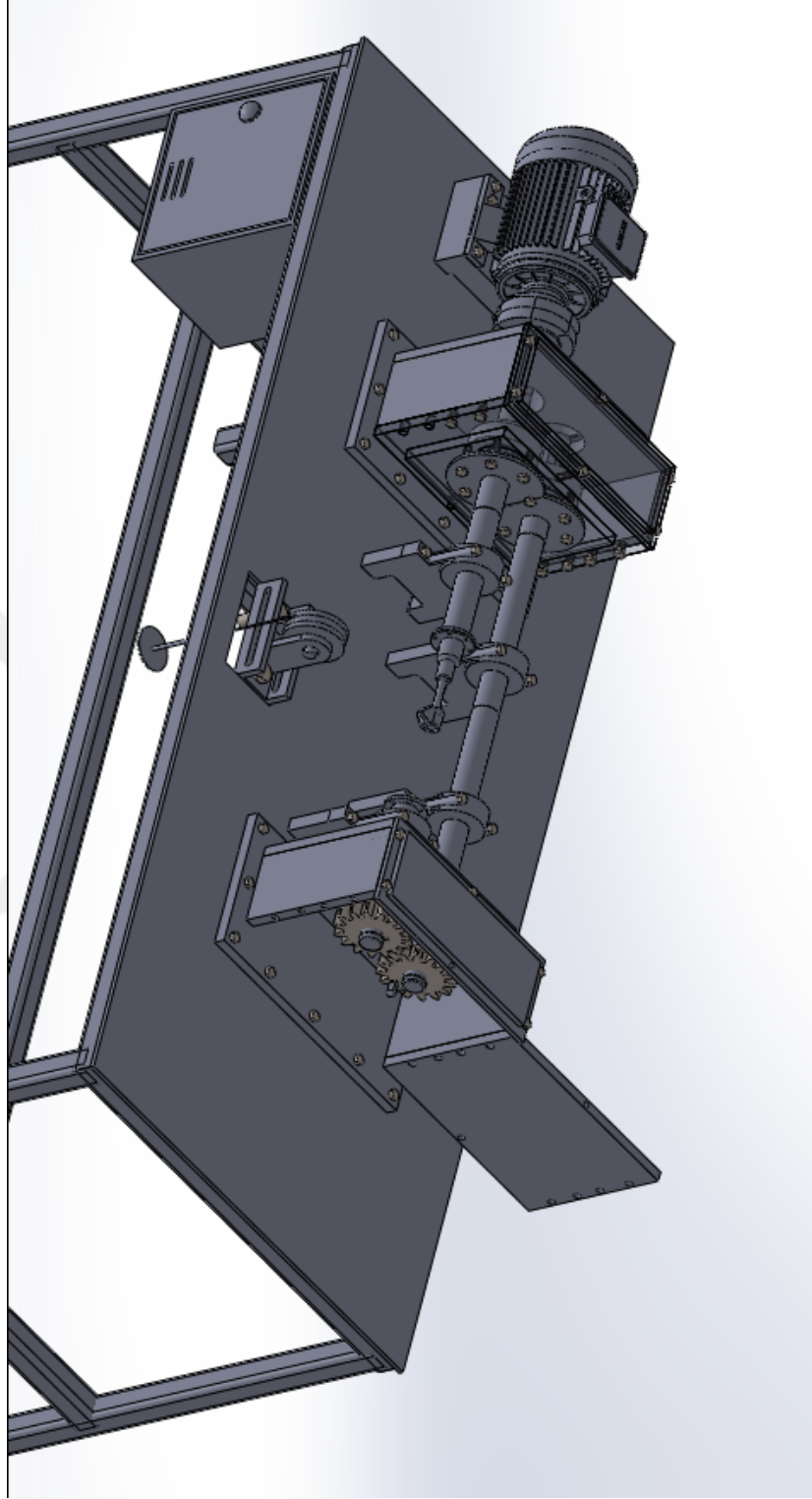
Döner eğilme yorulma deney numunesi standartlarda çizilip buna uygun flanşlı tutucu, yatak SOLIDWORKS CAD'da çizilip uygun rulman seçilerek montaj edilmiş hali Şekil 5.17.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Döner Eğilmeli Yorulma deney numunesinin yatak ve tutucuya montajı



Şekil 5.10. Yeni tip dişli aşınma test cihazı



Şekil 5.11. Yeni Tip Döner Eğilmeli Yorulma Test Cihazı



## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dişli aşınma test cihazı ile döner eğilmeli yorulma test cihazının fonksiyonlarını aynı anda yerine getirebilen tek bir cihaz tasarlanması amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışmada hem döner eğilmeli yorulma test cihazının hem de dişli aşınma test cihazının çeşitli özellikleri, çalışma şekilleri ve bu konu ile ilgili çeşitli çalışmalar araştırılıp incelenmiştir.

Dişli aşınma test cihazında bulunan motor mili üzerinde farklı bir tasarım geliştirilerek mil sistemi üzerinde belirli bir bölgede ara yerde flanşlı mil bağlantısı tasarlanmıştır. Döner eğilmeli yorulma testi yapılmak istenildiğinde tasarlanmış olan numune tutucusu iki ucu flanşlı olan mil sökülerek, motordan gelen mile numune tutucusu bağlanır. Numune, numune yatağı ve tabla üzerinde bulunan boşluğa da yük askısı yerleştirilerek istenilen deney kolaylıkla yapılabilir hale gelir. Böylece tezgah dişli aşınma tezgahından döner eğilmeli yorulma test cihazına dönüşmüş olur.

Bu prensipler göz önünde bulundurularak gerekli hesaplamalar ışığında, belirli kabuller yapıp SOLİDWORKS CAD programlarından yararlanarak çizimler yapılmış ve cihaz modellenmiştir. Yine ANSYS analiz programı yardımı ile modeli oluşturulan ve kritik gerilmenin oluşabilme ihtimalinin olduğu flanşlı ara milin gerekli değerleri girilerek gerilme analizleri yapılmıştır. Yapılan gerilme analizleri sonucunda flanşlı milin hesaplamalarını desteklediği ve herhangi bir hasara uğramadan çalışabileceği görülmüştür.

Böylece tasarlanan bu yeni cihaz ile iki ayrı cihazın kullanılması gereken dişli çark aşınma deneyleri ve farklı malzemelerin döner eğilmeli yorulma deneyleri kolaylıkla yapılabilecektir. Her iki tezgahında yüksek maliyetli olması ve ayrıca laboratuarda fazla yer kaplamaları sebebi ile bu iki farklı deneyin tasarlanmış olan tek bir tezgahta yapılabilmesi, bu tasarımı ön plana çıkaran önemli bir yanı olmakta ve bu

tasarımın kullanılabilir olma ihtimalini arttırmaktadır. Ayrıca tasarlanan bu cihazın parçalarının uygun maliyetli olması ve kolay bulunabilir olması da bu cihazın üretilebilir olmasına pozitif katkı sağlamaktadır.

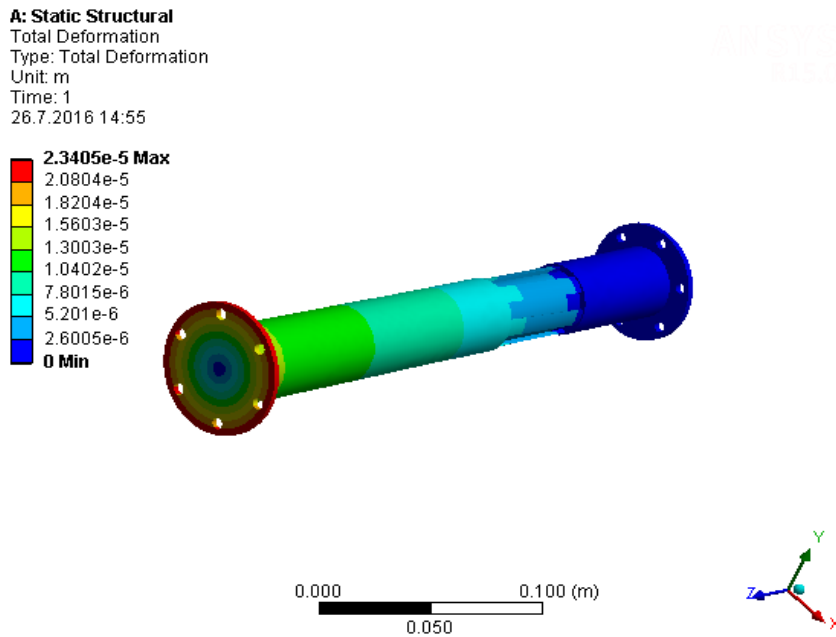
## 6.1. Gerilme Analizi

Tasarlanan Yeni Tip Döner Eğilmeli Yorumla Test Cihazının düzgün çalışıp çalışmadığını kontrol etmek amacıyla bilgisayar üzerinde ANSYS analiz programı kullanılarak gerekli analizler yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

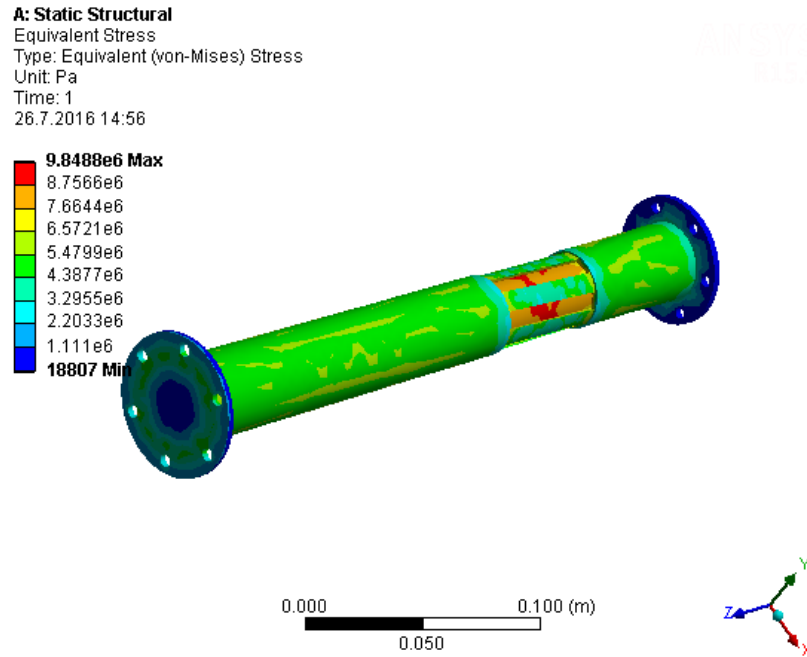
### 6.1.1. Flanşlı Mil Gerilme Analizi

Tasarlanan test cihazının döner eğilmeli yorulma test cihazından, dişli çark aşınma test cihazına çevrilirken kullanılan flanşlı mil üzerinde oluşan gerilme analizi yapılarak sonuçlar alınmıştır.

Flanşlı mil, motor miline bağlanarak üzerine yerleştirilen tork kaplini ile üzerine 120 daN.m lik bir moment altında ve dakikada 3000 devir ile dönen mil üzerinde oluşan toplam şekil değiştirme ve gerilme analizi Şekil 6.1'de ve Şekil 6.2'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Toplam deformasyon



Şekil 6.2. Eşdeğer gerilme

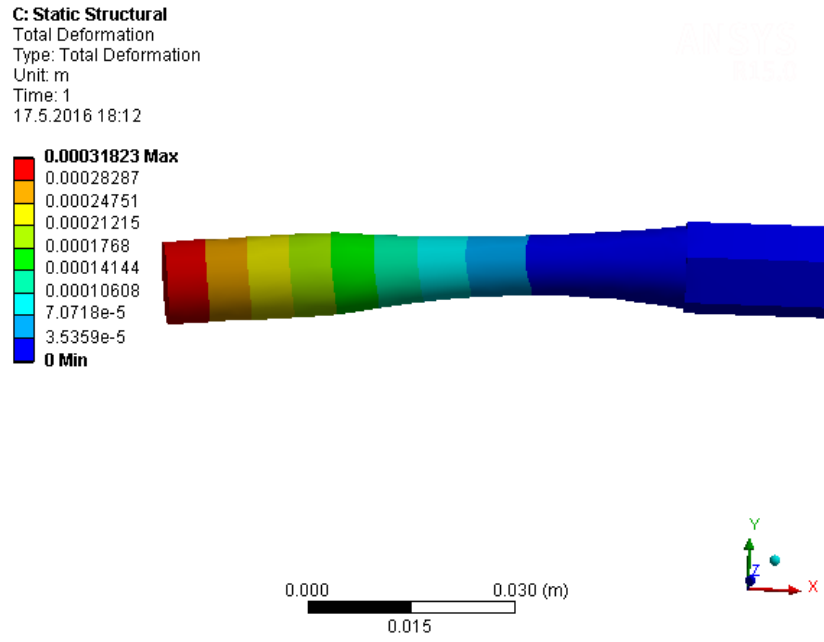
Bu çalışmada tasarlanan Döner Eğilmeli Yorulma Test Cihazı'nın bilgisayar üzerinde ANSYS programı yardımı gerilme analizi yapılarak gerekli sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlarda flanşlı mil üzerinde 9,85 MPa 'lık bir gerilme oluşmuştur. Oluşan gerilme St42-2 çeliğinin akma gerilimi olan 250 MPa 'ın altında olduğu için test cihazı çalışmaya uygun olduğu görülmüştür.

### 6.1.2. Döner Eğilmeli Test Numunesinin Gerilme Analizi

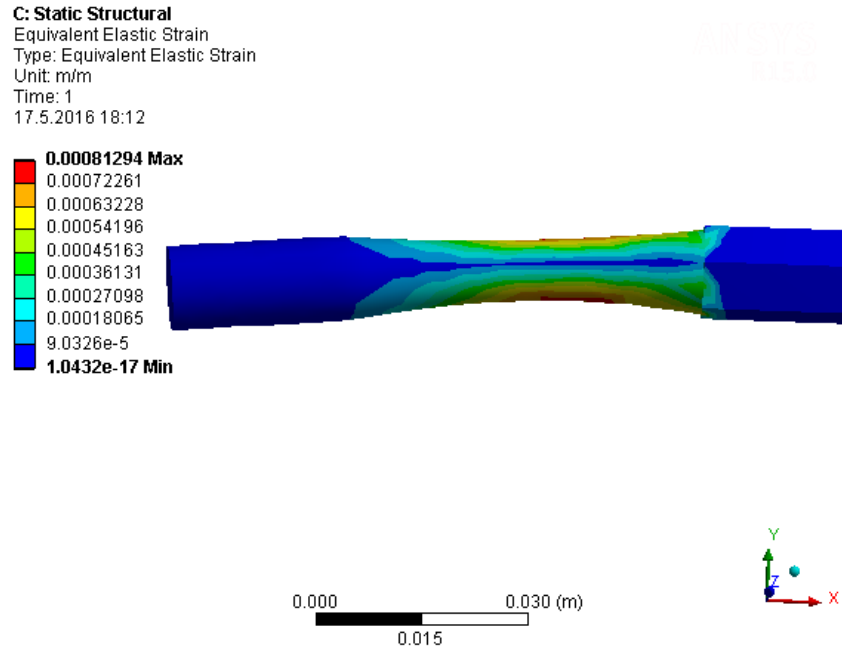
Tasarlanan bu çalışma üzerinde yapılan numunenin gerilme analizi bilgisayar üzerinde ANSYS programı üzerinde yapılarak iki farklı analiz sonucu elde edilmiştir. Analiz, numunenin bir ucu 7.5 kW gücündeki dakikada 3000 devir döndüren motora bağlı olan mile bağlanarak diğer ucuna da 120 daN.m lik yük uygulanarak yapılmıştır.

#### 6.1.2.1. Numunenin Eğilmeye Göre Analizi

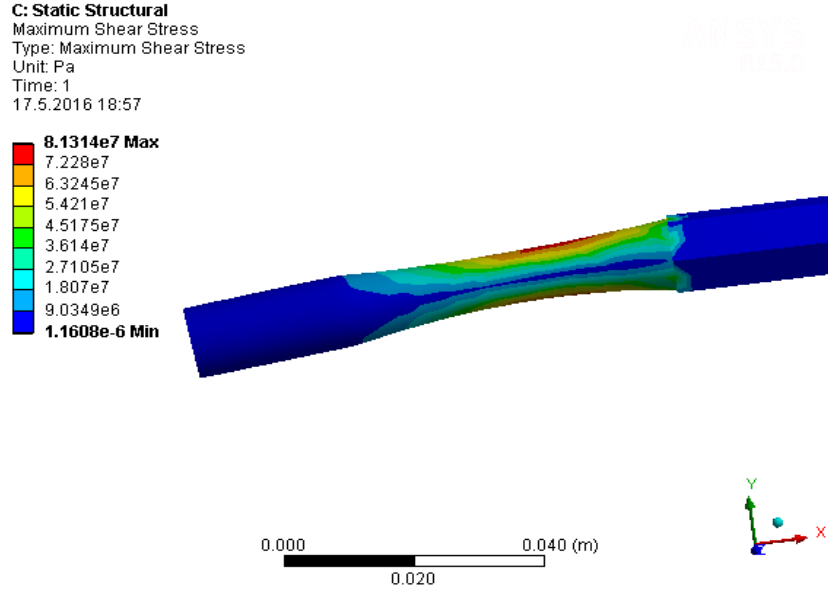
Numunenin eğilme sonucunda oluşan toplam şekil değiştirme miktarı maksimum değeri Şekil 6.3'te gösterilmektedir. Numune çalışılan yük altında maksimum 0,81 mm uzamıştır (Şekil 6.4.).



Şekil 6.3. Numunenin eğilme analizinde toplam deformasyonu



Şekil 6.4. Numunenin eğilme analizinde maksimum uzama miktarı

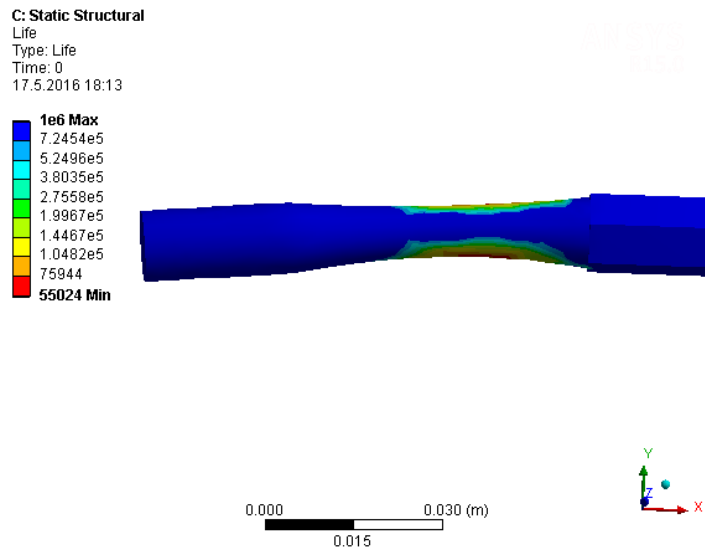


Şekil 6.5. Numunenin eğilme analizinde maksimum kayma gerilmesi

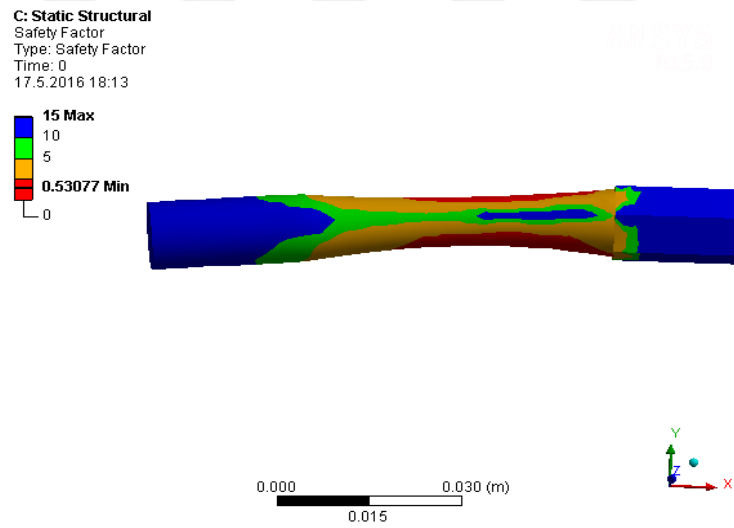
Üzerine etki eden moment sonucunda oluşan maksimum kayma gerilmesi hesaplanarak 81 MPa'lık bir gerilme görülmüştür (Şekil 6.5.). Oluşan bu gerilme numune malzemesi olan St 50-2 malzemesinin akma gerilimi olan 290 MPa'dan düşük olduğu görülerek tasarımın düzgün çalıştığı görülmüştür.

### 6.1.2.2. Numunenin Eğilmeli Yorulma Analizi

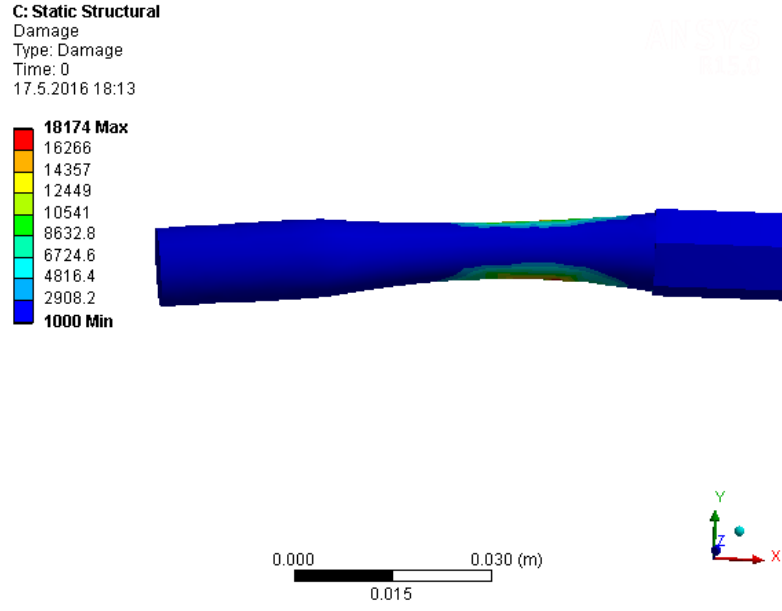
Numunenin yorulma analizi de yapılarak uygulanan yük altındaki yorulma dayanımı ve sonuçları elde edilmiştir. (Şekil 6.6., Şekil 6.7., Şekil 6.8.)



Şekil 6.6. Numune Ömrü



Şekil 6.7. Numunenin eğilme yorulma analizinde emniyet faktörü



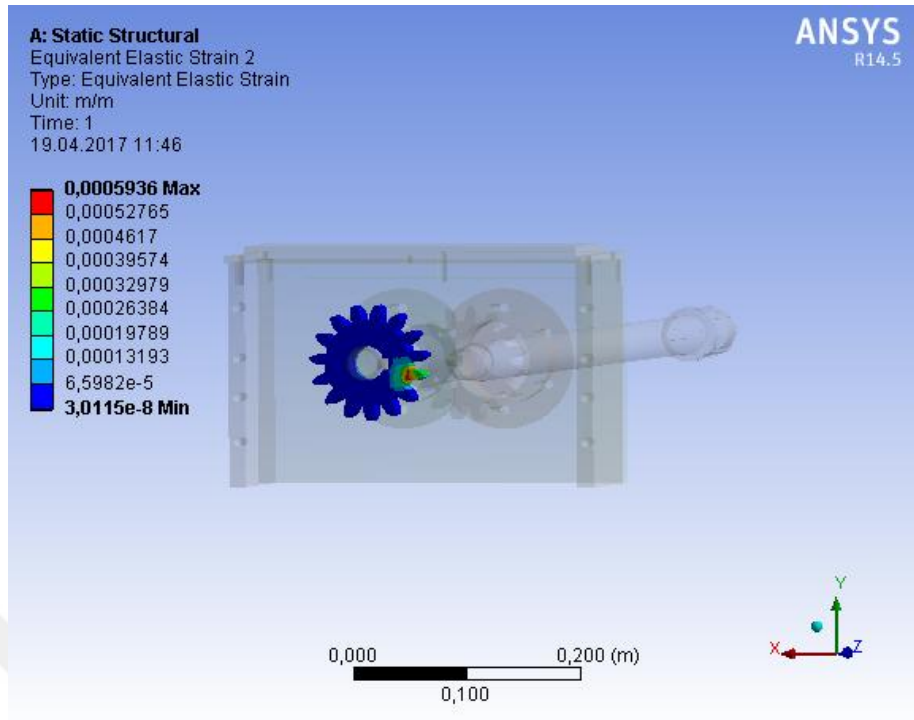
Şekil 6.8. Numunede oluşan hasar miktarı

Yapılan ikinci bir hesaplama olan Eğilmeli yorulma analiz sonuçlarına göre numune üzerinde oluşan yorulma 182 MPa'dır.

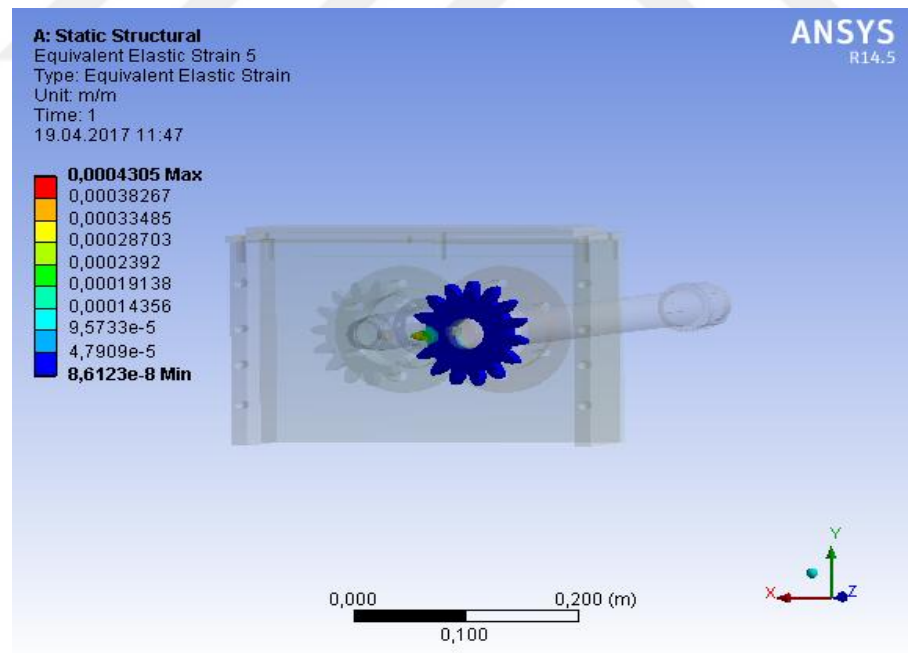
### 6.1.3. Dişli Aşınma Test Numunesinin Gerilme Analizi

Tasarlanan yeni tip Döner Eğilmeli Yorulma Test Cihazının Dişli Aşınma Test Cihazına çevrilerek yapılması planlanan deneylerin bilgisayar üzerinde ANSYS programı yardımı ile gerilme analizi yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Analiz, dakikada 3000 devirle dönen mil üzerine 120 daN'luk yük altında çalışarak sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda dişliler üzerindeki uzama miktarları Şekil 6.14.'te ve Şekil 6.15.'te gösterilmektedir. 1. dişlideki dişin dakikada uzama miktarı 0,59 mm dir. 2. dişlideki maksimum uzama miktarı ise dakikada 0,43 mm'dir.



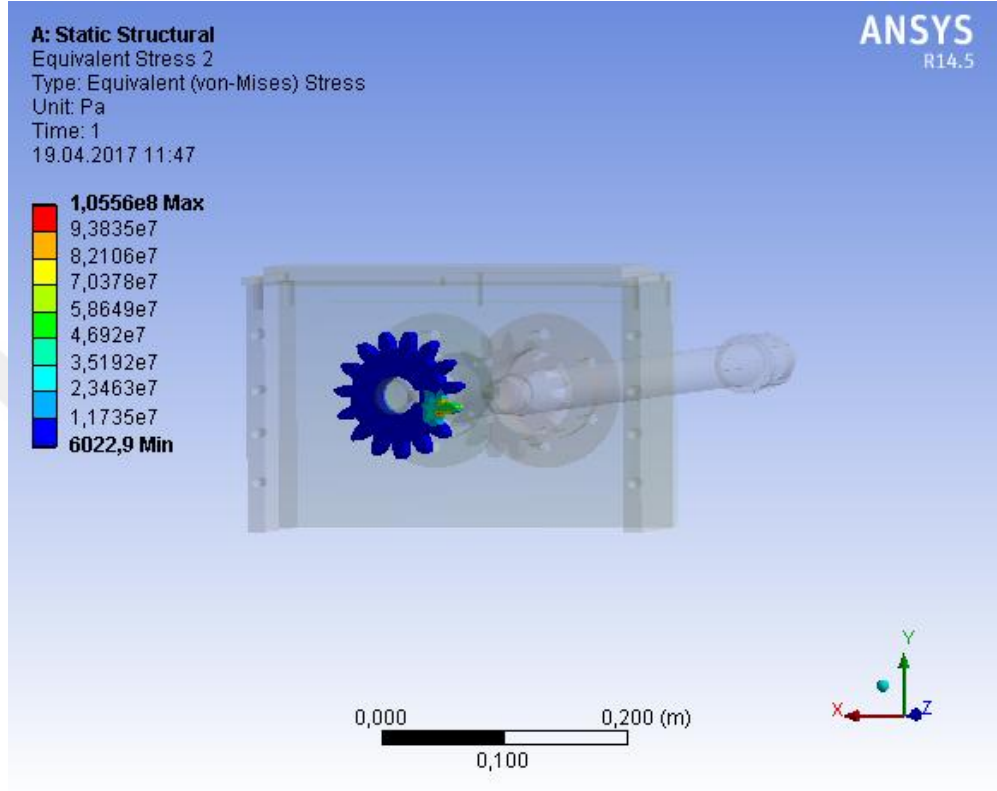
Şekil 6.9. Çark dişlideki bir diş üzerinde oluşan maksimum uzama.



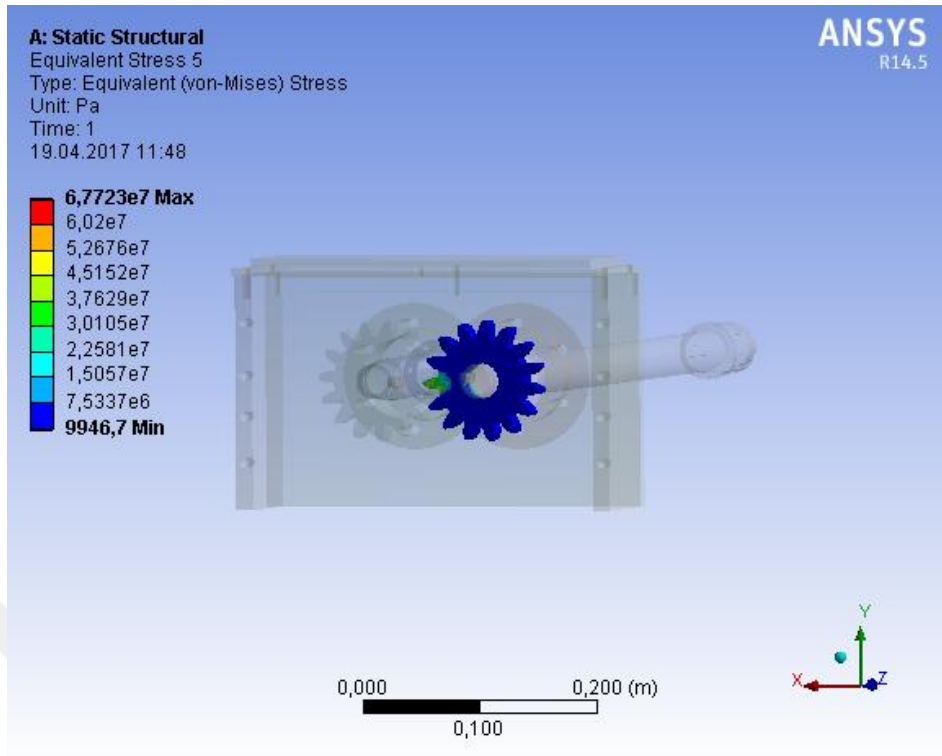
Şekil 6.10. Pinyon dişlideki bir diş üzerinde oluşan maksimum uzama.



Yapılan analiz sonucunda dişlilerde maksimum gerilme sonuçları elde edilmiştir. 1. dişlide oluşan maksimum gerilme Şekil 6.11.'de görüldüğü gibi 105 MPa gibi bir gerilmedir. St 37-2 çeliği için akma gerilmesinin altında olduğu için tasarım uygundur.



Şekil 6.11. Çark dişlideki bir diş üzerinde oluşan bileşik gerilme



Şekil 6.12. Pinyon dişlideki bir diş üzerinde oluşan bileşik gerilme

## KAYNAKLAR

Akdoğan G (1989) Elektro hidrolik Tahrikli, Düşük Frekanslı Bir Yorulma Test Cihazının Tasarım Ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri, Enstitüsü

Akkurt M (2000) Makine Elemanları. Cilt I-II, Bölüm 14, Birsen Yayınevi, İstanbul

Aslantaş K (2003) Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirden İmal Edilen Düz Dişlilerde Yüzey Yorulma Hasarlarının Analizi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Aztekin K (2004) Ostemperleme Koşullarının Alaşimsız Küresel Grafitli Dökme Demirin Yorulma Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Başaran B (2001) Helisel Dişli Çarklarda Pitting Oluşumunun Denetsel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Chen YK, Kukureka SN, Hooke CJ, Rao M (2000) Surface Topography and Wear Mechanisms in Polyamide 66 and Its Composites. Journal of Materials Science, 35: 1269-1281

Dempsey PJ, Abdollah A (2002) Integrating Oil Debris and Vibration Gear Damage Detection Technologies Using Fuzzy Logic. NASA 211126

Dhanasekaran S, Gnanamoorthy R (2008) Gear Tooth Wear in Sintered Spur Gears Under Dry Running Conditions. Wear, vol. 265, p. 81-87

Düzcükoğlu H, İmrek H (2008) A New Method For Preventing Premature Pitting Formation On Spur Gears. Selçuk Üniversitesi, Konya

Düzcükoğlu H, İmrek H (2010) Examination of Pitting and Wear in Borided, Carburized and Borocarbured AISI 8620 Gears. Tribology Transactions: pp. 485-490

Eş M (2004) Dişli Çark Malzemelerinin Aşınma Karakteristiklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

Flodin A, Andersson S (1997) Simulation of Mild Wear in Spur Gears. *Wear*, vol. 207, p. 16-23

Flodin A, Andersson S (2000) Simulation of Mild Wear in Helical Gears. *Wear*, vol. 241, p. 123-128

Glodez S, Winter H, Stuwe HP (1997) A Fracture Mechanics Model For The Wear Of Gear Flanks By Pitting. *Wear*: pp. 177–183

Glodez S, Ren Z, Flaker J (1999) Surface Fatigue Of Gear Teeth Flanks. *Computers and Structures*, Vol. 73, Number: 1: pp. 475-483

Hamdi H, Dursapt M, Zahouani H (2003) Characterization Of Abrasive Grain's Behavior and Wear Mechanisms. *Wear*:pp. 1294–1298

<http://etd.adm.unipi.it/theses/available/etd> (erişim tarihi: 24.01.2015)

[http://makine.usak.edu.tr/uploads/14/MMD\\_5.pdf](http://makine.usak.edu.tr/uploads/14/MMD_5.pdf) (erişim tarihi: 10.01.2015)

[http://sintebros.com.sg/enda\\_ET1311.pdf](http://sintebros.com.sg/enda_ET1311.pdf) (erişim tarihi: 10.01.2015)

<http://www.atsb.gov.au/publications/2000/tr200003399.aspx> (erişim tarihi: 18.01.2015)

<http://www.ciftelltd.com/ekatalog/kaplin1.pdf> (erişim tarihi: 27.01.2017)

<http://www.horsburgh-scott.com/hs/service/spall.asp> (erişim tarihi: 18.01.2015)

İşel B (2007) Dişliler İçin Yüzey Yorulması Test Cihazı Geliştirilmesi ve Yağ sıcaklığının Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Kaymaz İ, Şen S, Yeşildal R (2003) X40CrMoV 5 1 Çeliğinin 20-600°C Arasındaki Yorulma Davranışı. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 5 Sayı:1, Ocak*

Kızılaslan K (2007) Dişliler İçin Yüzey Yorulması Test Cihazı Geliştirilmesi ve Yağ Viskozitesinin Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Kim CH, (2006) Durability Improvement Method For Plastic Spur Gears”, Tribology International: pp. 1454–1461

Kukureka SN, Chen YK, Hooke CJ, Liao P (1995) The Wear Mechanisms of Acetal in Unlubricated Rolling-Sliding Contact. Wear 185: 1-8

Kumru N (2005) Metalik Malzemelerde Yorulma Dayanımını İncelemek İçin Kullanılan Yorulma Makineleri. Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi, C:1, S:4 Sayfa:58-70

Mao K (2007) Gear Tooth Contact Analysis And Its Application In The Reduction Of Fatigue Wear. Wear, :pp. 1288-1288

Saka F (1993) Yorulma Deney Cihazı Projesi ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Sakin R (2004) Bilgisayar Destekli, Çok Numuneli Eğilme Yorulması Test Cihazı Tasarımı ve Cam-Fiber Takviyeli Polyester Kompozitlerde Eğilme Yorulması Davranışının İncelenmesi. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Sakin R, Kumru N, Ay İ (2008) Gerilme-Kontrollü, Çok Numuneli Eğilme Yorulma Test Cihazı Tasarımı ve Kompozitler için Uygulama. Proceeding of 12<sup>th</sup> International Materials Symposium (IMSP'2008), Denizli

Sakin R, Er M (2010) 1100-H14 Alüminyum Alaşımının Düzlemsel Eğme Gerilmeli Yorulma Davranışının incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 25, No 2, :213-223

Sakin R, Kumru N, Ay İ (2010) Eksenel Vantilatör Kanatları için Alüminyum Alaşımı ve Cam/Polyester Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. 13. Uluslararası Malzeme Sempozyumu (IMSP'2010), Denizli

Senthilvelan S, Gnanamoorthy R (2005) Effect Of Gear Tooth Fillet Radius On The Performance Of Injection Molded Nylon 6/6 Gears. Materials and Design: pp 632–63

Solmaz Y, Yıldız K (2012) Döner Eğilmeli Yorulma Test Cihazı. Bitirme Projesi, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Subaşı M, Karataş Ç (2010) AISI 4140 Çeliğinde Sertlik, Yorulma Dayanımı İlişkisi KSÜ, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(1)

Sun Y, Bell T, Wood G (1994) Wear Behaviour of Plasma-nitred Martensitic Stainless Steel. Wear, 178: 131-138

Tunalıoğlu MŞ, Tuç B (2012) İç Dişli arklarda Aşınmanın Deneysel Olarak İncelenmesi. TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 632: s. 49-54

T.S. 1487 (1974) Metallerin Yorulma Deneyi Genel Prensipleri. Ankara

Uzun M, Yıldız K (2014) Investigating the Wear Behaviours of New Type Curvilinear Gears. Iccesen

Wright NA, Kukureka SN (2001) Wear Testing and Measurement Techniques for Polymer Composite Gears. Wear, 251: 1567-1578



## EK-1

CETVEL 2. ÇEŞİTLİ ÇELİKLER İÇİN SÜREKLİ MUKAVEMET DEĞERLERİ (daN / mm <sup>2</sup> )							
Çelik Cinsi	Gösterilişi	Kopma Mukavemeti $\sigma_K$	Akma Mukavemeti $\sigma_{AK}$	Eğilme Tam değişken mukavemet $\sigma_{eT}$	Eğilme Genel Değişken Mukavemet $\sigma_{eD}$	Burulma Tam değişken mukavemet $\tau_{dT}$	Burulma Genel Değişken Mukavemet $\tau_{dD}$
Alaşım-sız Çelikler	St 33-2*	33...50	18	-	-	-	-
	St 34-2	34...42	20	17	-	9	-
	St 37-2	37...45	23	17	26	10	14
	St 42-2	42...50	25	19	30	11	16
	St 50-2	50...60	29	24	37	14	19
	St 60-2	60...70	33	28	43	16	22
	St 70-2	70...85	36	32	50	19	26
İslah Çelikleri	C22	55...65	30	22	42	16	22
	C35	65...80	37	30	45	16	22
	C45	75...90	40	35	53	18	22
	C60	85...105	49	40	60	20	25
	25CrMo <sub>4</sub>	90...105	55	32	47	19	26
	30MnS <sub>5</sub>	80...95	55	40	62	23	27
	37MnSi <sub>5</sub>	100...120	65	45	80	29	42
	34CrNiMo <sub>6</sub>	110...130	90	55	98	34	57
	34CrMo <sub>4</sub>	100...120	65	36	61	24	34
Takım Çelikleri	15Cr <sub>3</sub>	60...85	40	35	56	20	24
	16MoCi <sub>5</sub>	80...110	60	44	84	26	35
	18CkNi <sub>8</sub>	120...145	80	64	108	37	46

**NOT:** Bu değerler, 16...40 mm kalınlıktaki parçalar içindir.

16 mm'den küçük kalınlıklar için bu değerlere 1 daN/mm<sup>2</sup> eklenir.

40...100 mm kalınlıklar için 1 daN/mm<sup>2</sup> indirilir.

(2\*) Yüksek istekler için manasındadır.

## EK-2

CETVEL 9.1. μ Değerleri		
Malzeme Çifti	Kuru	Yağlı
Çelik-Çelik veya Dökme Çelik	0,065...0,16	0,055...0,12
Çelik-Dökme Demir veya Bronz	0,15...0,2	0,03...0,06
Dökme Demir- Dökme Demir veya Bronz	0,15...0,25	0,02...0,01
Çelik-Mağne. Alaşımı	0,05...0,06	.....
Çelik-Prinç	0,05...0,04	.....



## EK-3

CETVEL A-11.1									
Metrik Vida Boyutları									
Normal Çap d=D, mm	Hatve h (P), mm	Ortalama Çap d <sub>2</sub> =D <sub>2</sub> mm	Diş Dibi Çapı d <sub>1</sub> (d <sub>3</sub> ), mm	Diş Dibi Çapı D <sub>1</sub> mm	Vida Yüksekliği t <sub>1</sub> (h <sub>1</sub> ) mm	Temas Yüksekliği t <sub>2</sub> (H <sub>1</sub> ) mm	Yuvarlama r mm	Diş Dibi Kesiti A <sub>1</sub> mm <sup>2</sup>	Gerilme Kesiti A <sub>s</sub> mm <sup>2</sup>
1	0,25	0,838	0,693	0,729	0,153	0,135	0,036	0,377	0,460
(1.1)	0,25	0,938	0,793	0,829	0,153	0,135	0,036	0,494	0,588
1.2	0,25	1,038	0,893	0,929	0,153	0,135	0,036	0,626	0,732
(1.4)	0,3	1,205	1,032	1,075	0,184	0,162	0,043	0,836	0,983
1.6	0,35	1,373	1,171	1,221	0,215	0,189	0,051	1,08	1,27
(1.8)	0,35	1,573	1,371	1,421	0,215	0,189	0,051	1,48	1,70
2	0,4	1,740	1,509	1,567	0,245	0,217	0,058	1,9	2,07
(2.2)	0,45	1,908	1,648	1,713	0,276	0,244	0,065	2,13	2,48
2.5	0,45	2,208	1,948	2,013	0,276	0,244	0,065	2,98	3,39
3	0,5	2,675	2,387	2,459	0,307	0,271	0,072	4,47	5,03
(3.5)	0,6	3,110	2,764	2,850	0,368	0,325	0,087	6,00	6,77
4	0,7	3,545	3,141	3,242	0,429	0,379	0,101	7,75	8,78
(4.5)	0,75	4,013	3,580	3,688	0,460	0,406	0,108	10,1	11,3
5	0,8	4,480	4,019	4,134	0,491	0,433	0,115	12,7	14,2
6	1	5,350	4,773	4,917	0,613	0,541	0,144	17,9	20,1
(7)	1	6,350	5,773	5,917	0,613	0,541	0,144	26,2	28,9
8	1,25	7,188	6,466	6,647	0,767	0,677	0,180	32,8	36,6
(9)	1,25	8,188	7,466	7,647	0,767	0,677	0,180	43,8	48,1
10	1,5	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812	0,217	52,3	58,0
(11)	1,5	10,026	9,160	9,376	0,920	0,812	0,217	65,9	72,3
12	1,75	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947	0,253	76,2	84,3
(14)	2	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083	0,289	105	115
16	2	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083	0,289	144	157
(18)	2,5	16,376	14,933	15,294	1,534	1,353	0,361	175	192
20	2,5	18,376	16,933	17,294	1,534	1,353	0,361	225	245
(22)	2,5	20,376	18,933	19,294	1,534	1,353	0,361	251	303
24	3	22,051	20,319	20,752	1,840	1,624	0,433	324	352
(27)	3	25,051	23,319	23,752	1,840	1,624	0,433	427	459
30	3,5	27,727	25,706	26,211	2,147	1,894	0,505	519	561
(33)	3,5	30,727	28,706	29,211	2,147	1,894	0,505	647	694
36	4	33,402	31,093	31,670	2,454	2,165	0,577	759	817
(39)	4	36,402	34,091	34,670	2,454	2,165	0,577	910	976

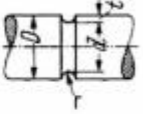
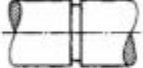
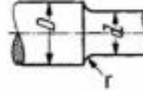
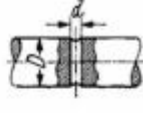

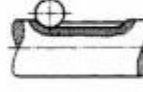
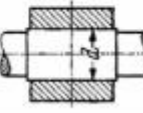
42	4,5	39,077	36,479	37,129	2,760	2,436	0,650	1045	1121
(45)	4,5	42,077	39,479	40,129	2,760	2,436	0,650	1224	1306
48	5	44,752	41,866	42,587	3,067	2,706	0,722	1377	1473
(52)	5	48,752	45,866	46,587	3,067	2,706	0,722	1652	1758
56	5,5	52,428	49,252	50,046	3,374	2,977	0,794	1905	2030
(60)	5,5	56,428	53,252	54,046	3,374	2,977	0,794	2227	2362
64	6	60,103	56,639	57,505	3,681	3,247	0,866	2520	2676
(68)	6	64,103	60,639	61,505	3,681	3,247	0,866	2888	3055



## EK-4

## CETVEL-3

Çentik Faktörü ( $K_{\phi}$ )

Çentiğin Cinsi	Şekli	Çentik faktörü $\beta_k$	
		Eğilme	Burulma
Yuvarlak çentik		1,5 ··· 2	1,3 ··· 1,8
Emniyet halkası yuvası		2,5 ··· 3,5	2,5 ··· 3,5
Faturalı mil		$\sim 1,5$ $r/d = 0,1$ ve $d/D = 0,7$ için	$\sim 1,25$ $r/d = 0,1$ ve $d/D = 0,7$ için
Radyal delik		1,4 ··· 1,8 $d/D = 0,14$ için	1,4 ··· 1,8 $d/D = 0,14$ için
Feder yuvası (Parmak freze ile açılmış)		1,6 ··· 2	1,3
Feder yuvası (Dairesel freze ile açılmış)		1,3 ··· 1,5	1,3 ··· 1,5
Sıkı geçme bağlantısı		1,7 ··· 1,9	1,3 ··· 1,4

Not: Küçük değerler sünek, büyük değerler gevrek malzemeler içindir.

EK-5

CETVEL-4

Çap Düzetme Katsayısı ( $K_b$ )

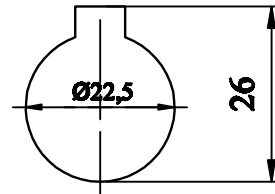
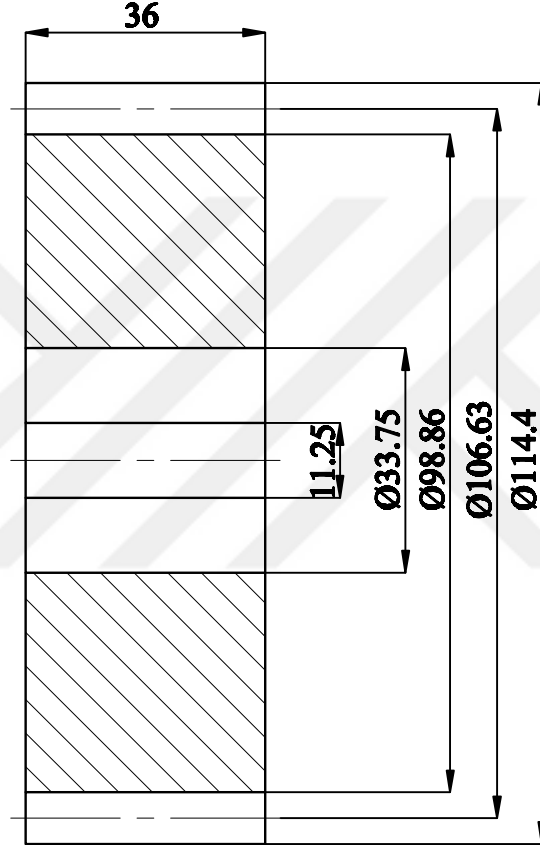
Çap, d (mm)	$K_b$
10	1,00
15	0,98
20	0,95
30	0,90
40	0,85
60	0,80
120	0,75

## ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Elazığ'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Elazığ'da tamamladı. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2013 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2013 yılında, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programına kayıt yaptırdı. Evli ve bir kız çocuğu annesidir.

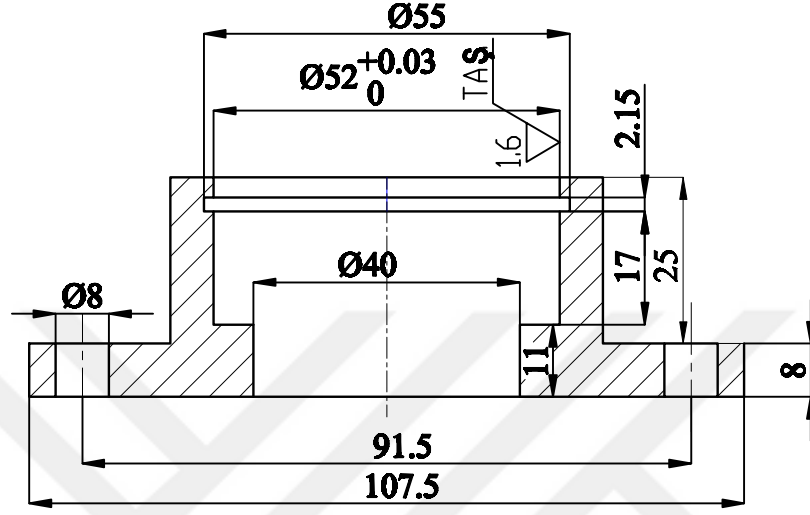


Modül	Mn	6
Diş Sayısı	Z	15
Diş Açısı	$\beta\alpha$	20°
Tashih	-	0
Proje No	B.Ü.M.M.F.01-01	

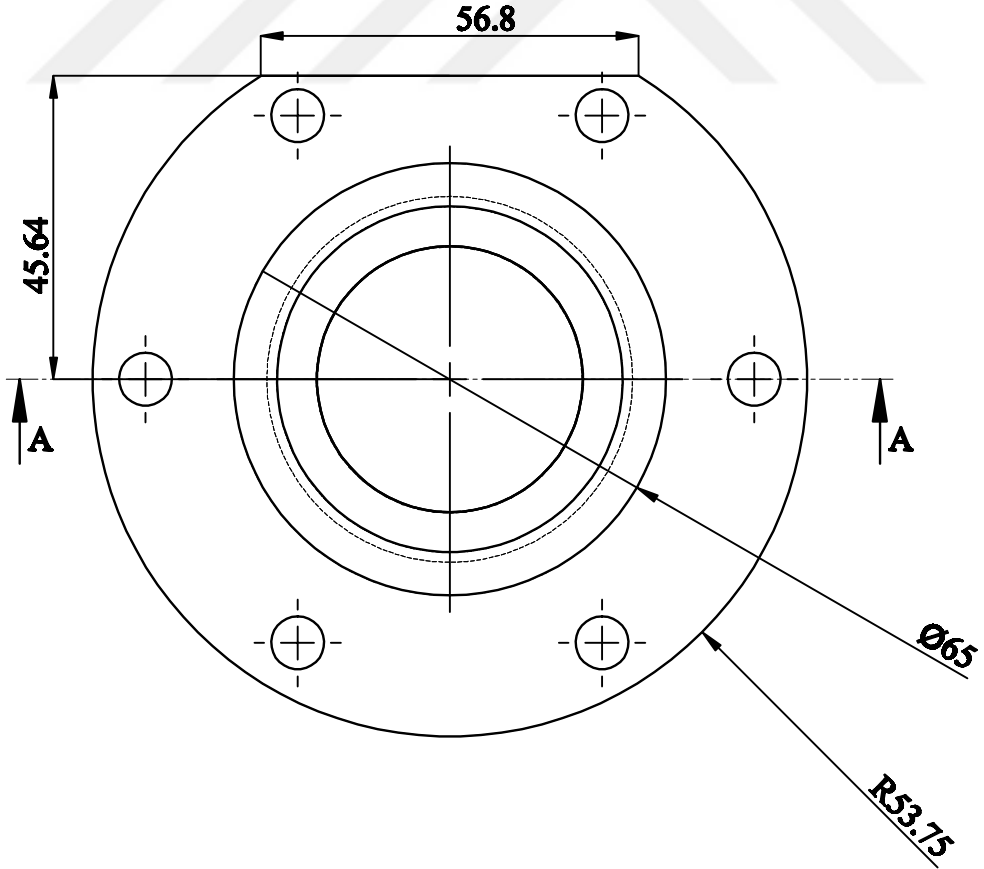


ÖLÇEK 1:1	DIŞLİ NUMUNE		2	BÜ-MMÜ-01-001	
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

0,4/ ( 1,6/ )



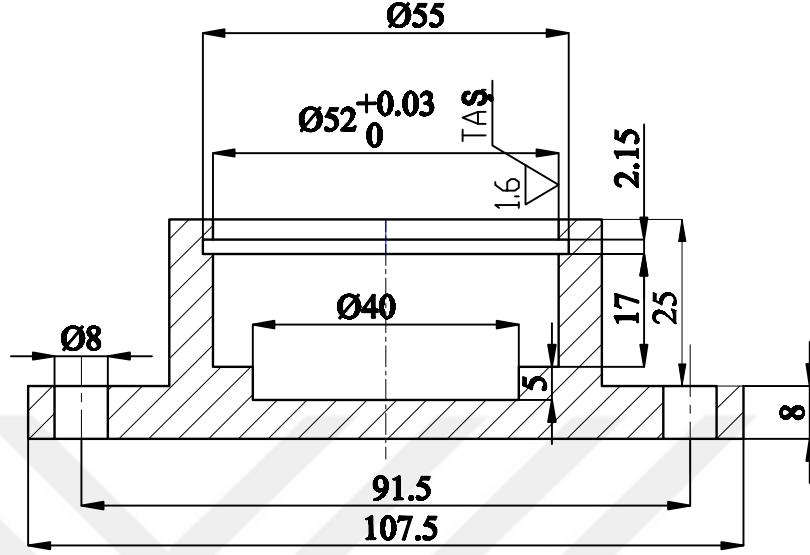
KESİTİ-A



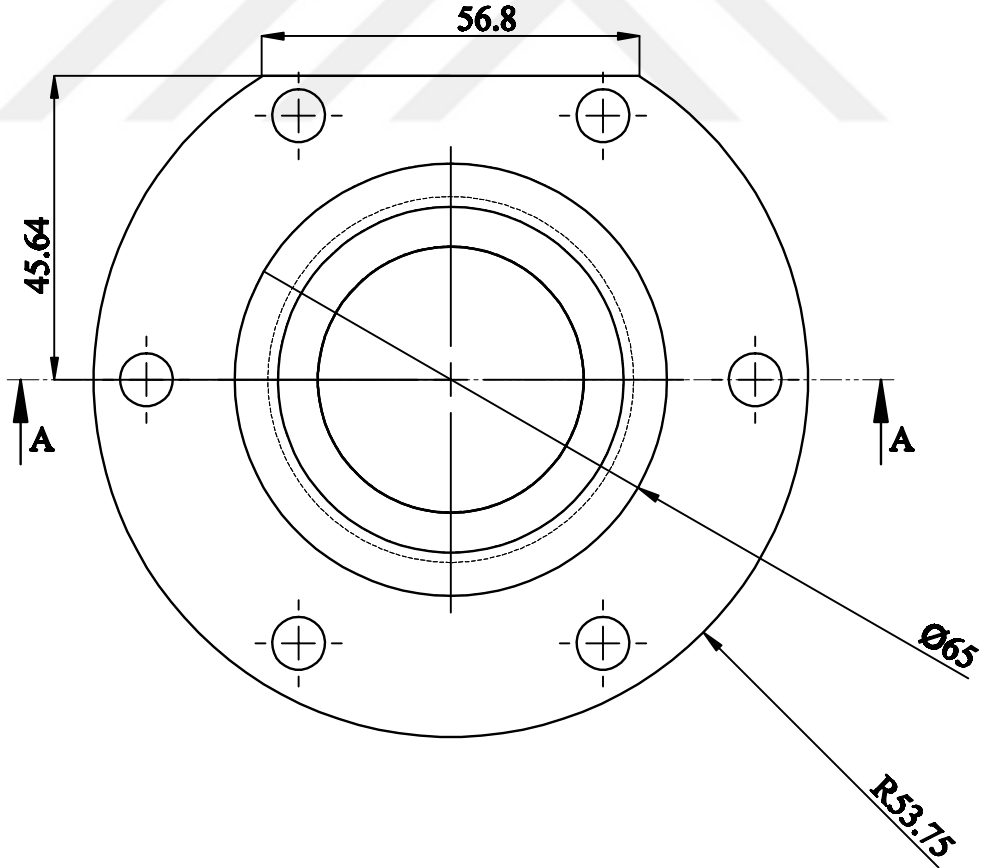
ÖLÇEK 1:1	ÖN KAPAK		5	BÜ-MMÜ-01-002	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME



0,4 / ( 1,6 / )

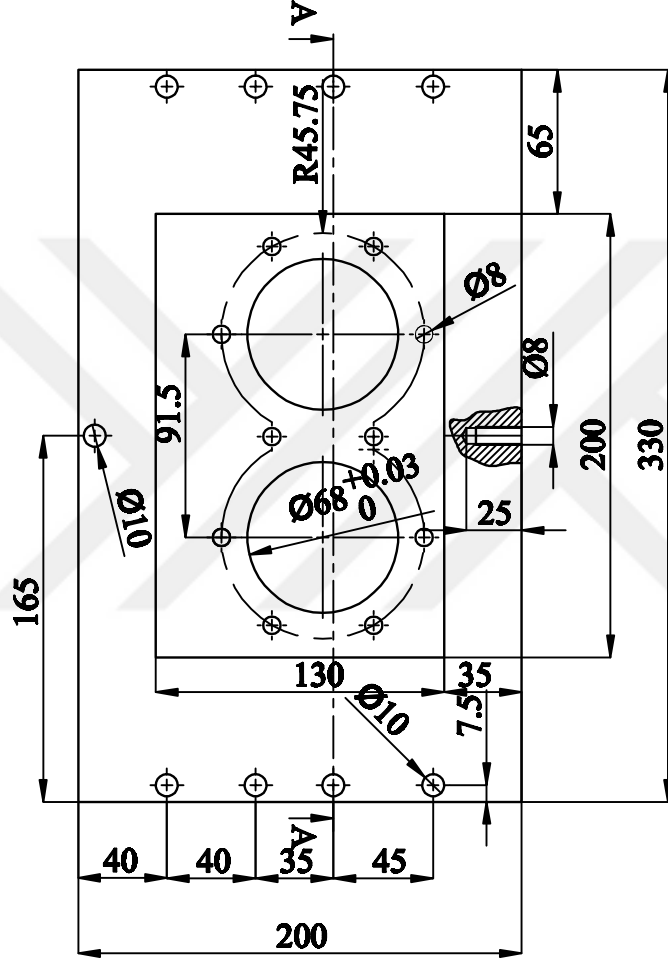


KESİTİ-A



ÖLÇEK 1:1	MOTOR KÖR KAPAK		1	BÜ-MMÜ-01-003	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

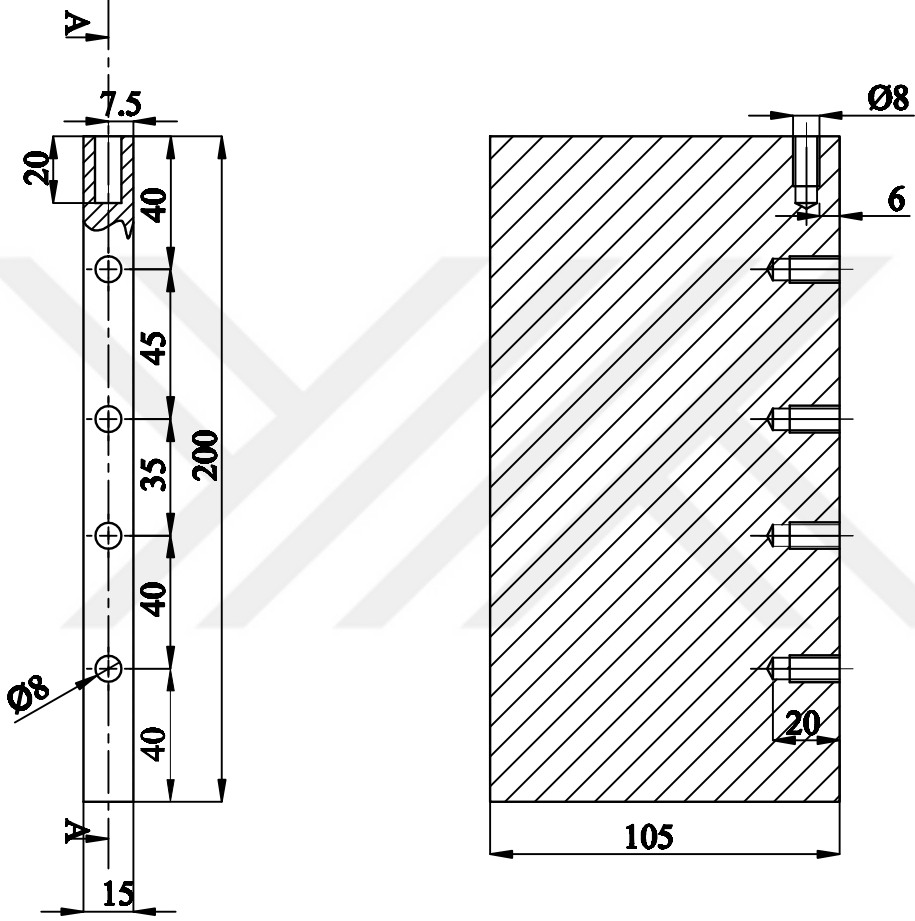
0,4 / ( 1,6 / )



A-A KESİTİ

ÖLÇEK 1:3	DİŞLİ KUTUŞU ÖN KAPAK		1	BÜ-MMC-01-004	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

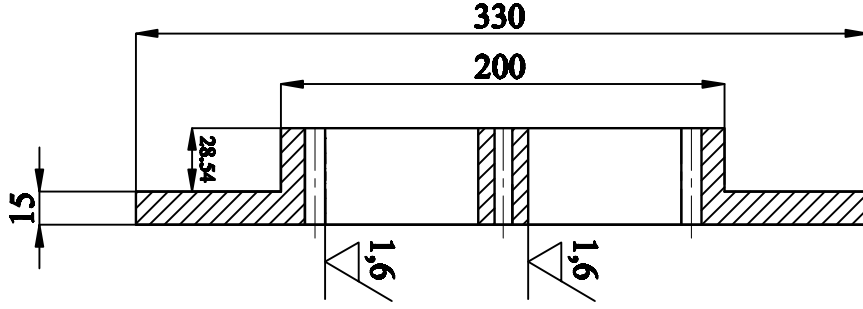
0,4



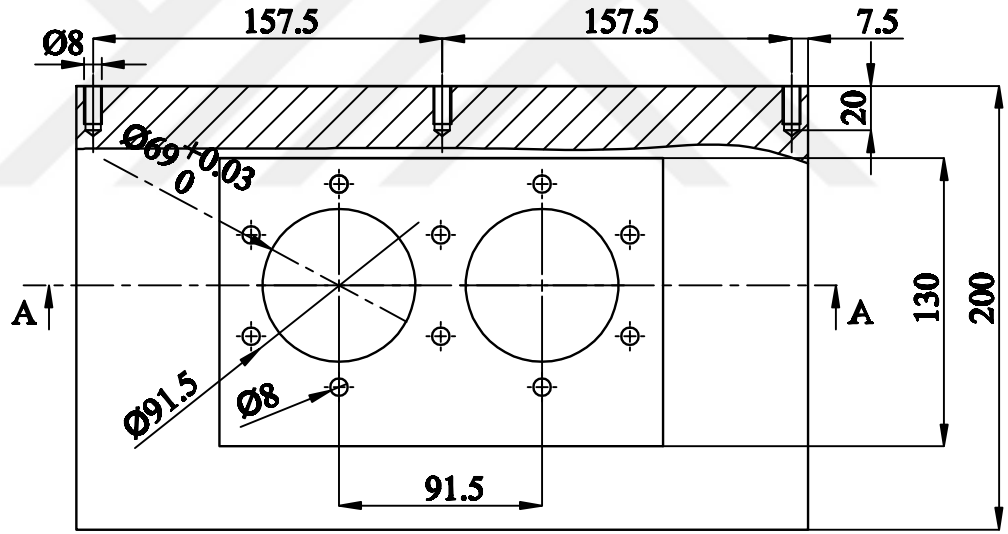
A-A KESİTİ

ÖLÇEK 1:2	MİLLİ KUTUP YANDUVAZI		4	BÜ-MMC-01-005	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

0,4 / ( 1,6 / )

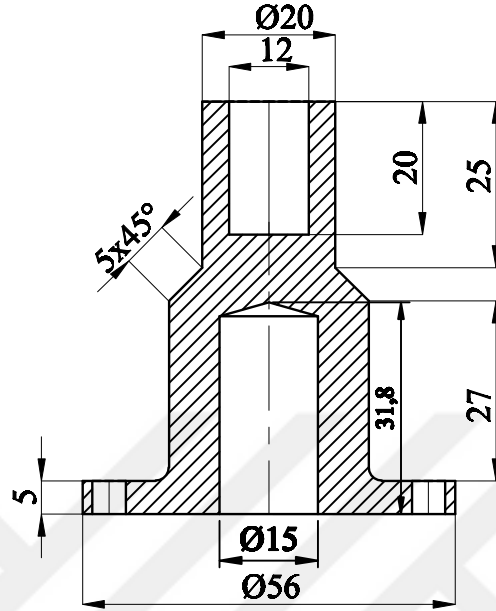


A-A KESİTİ

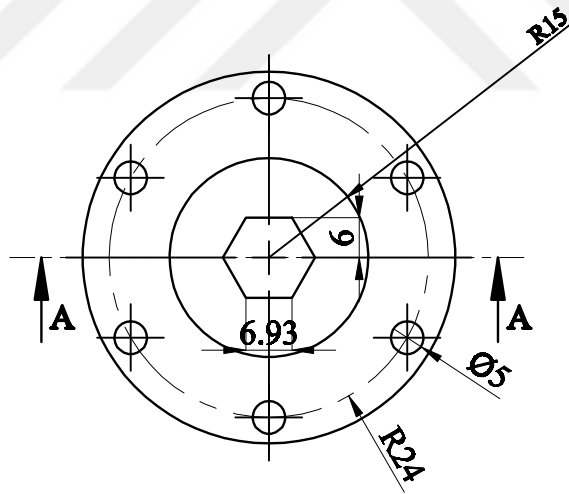


ÖLÇEK 1:3	DİŞLİ KUTUBU ARKA KAPAĞI		2	BÜ-MMD-01-006	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

1,6

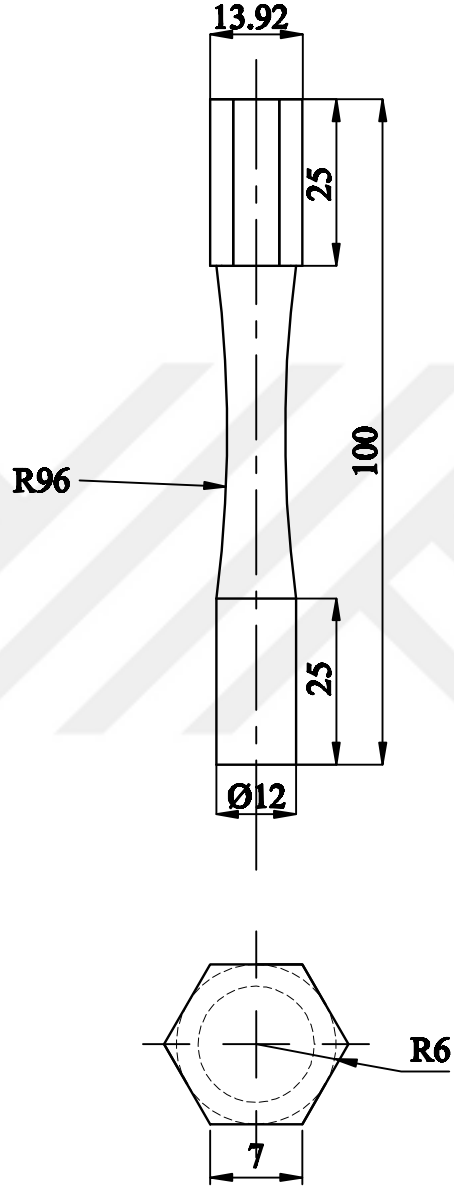


KESIT A-A



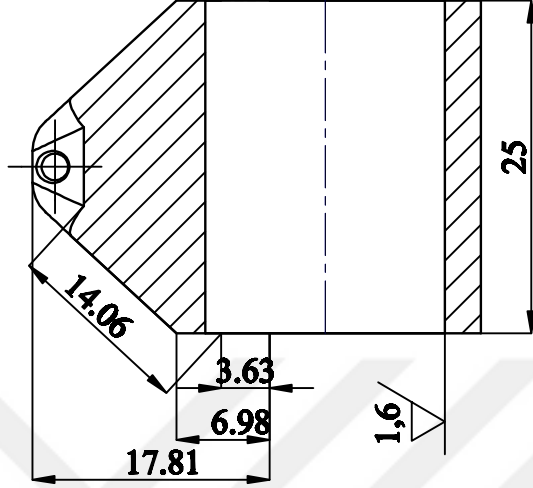
ÖLÇEK 1:1	TUTUCU		1	BÜ-MMÖ-01-007	St 42-2
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

1,6/

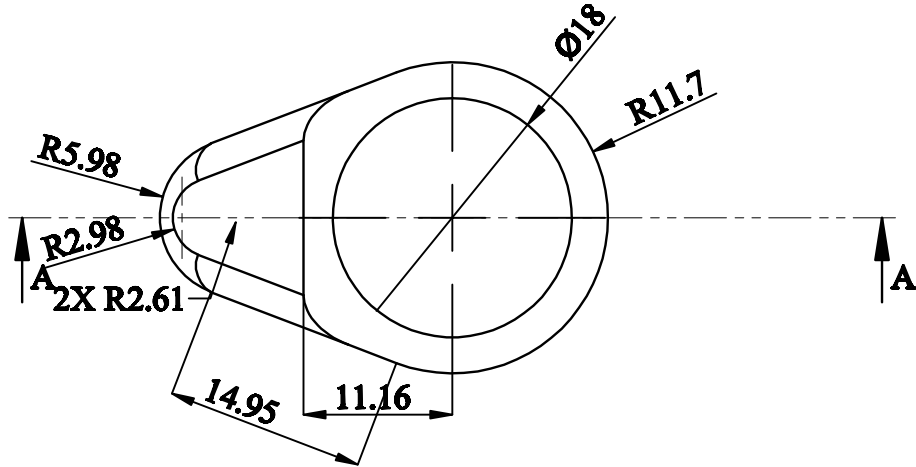


ÖLÇEK 2:1	NUMUNE		1	BÜ-MMÜ-01-008	8- 50-2
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

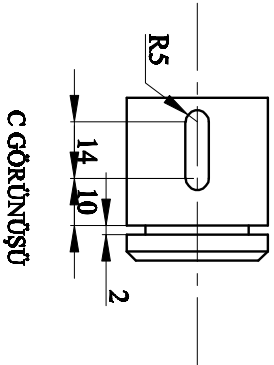
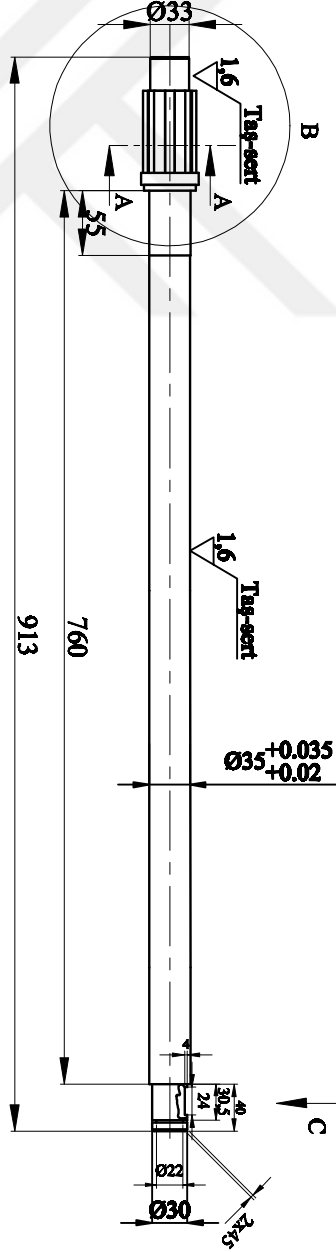
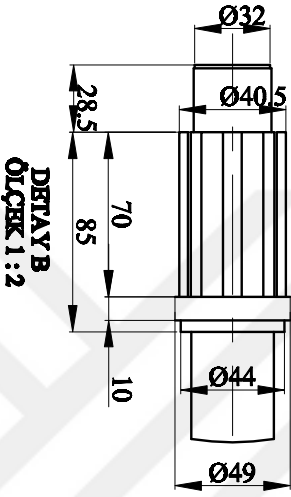
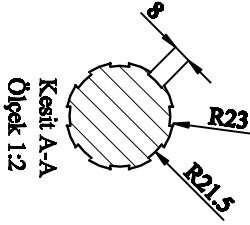
0,4 / ( 1,6 / )



KESİT A-A



ÖLÇEK 2:1	NUMUNE YATAĞI		1	BÜ-MMÜ-01-009	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

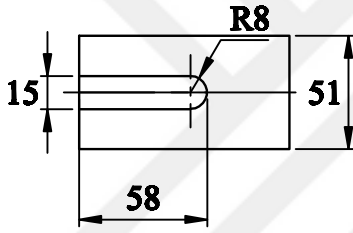
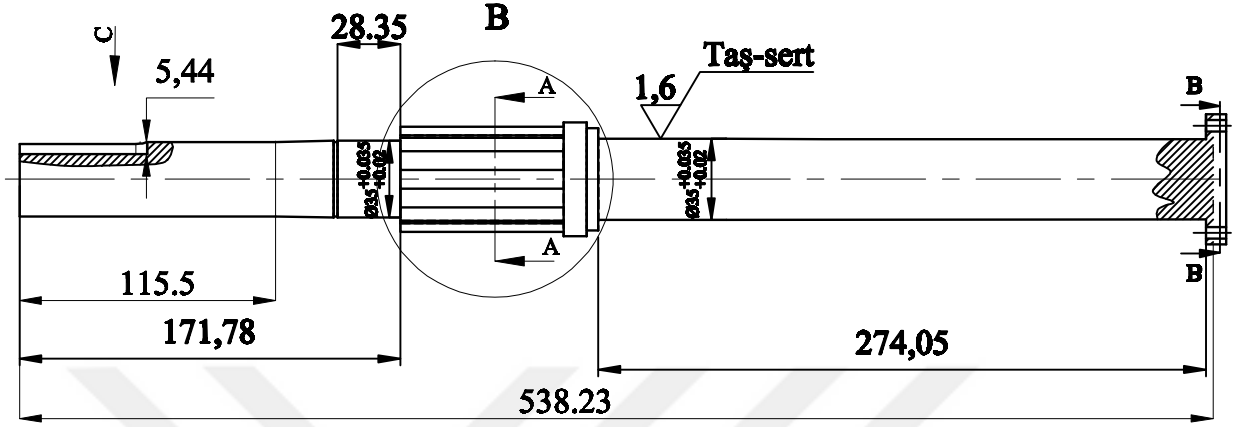


0.4 / 1.6  
( / )

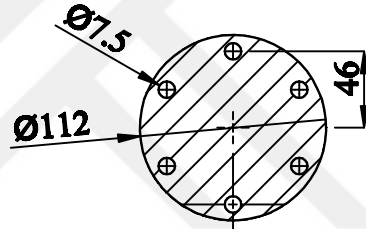
ÖLÇEK 1:4	PROJE NO	PROJE ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM NO	MALZEME
TORK MİLİ				1	BÇ-AMMÜ-01-010	Ss-42



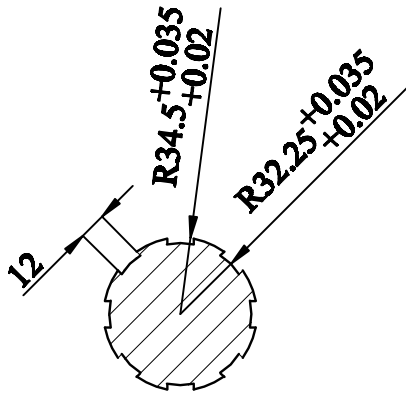
0,4 / ( 1,6 / )



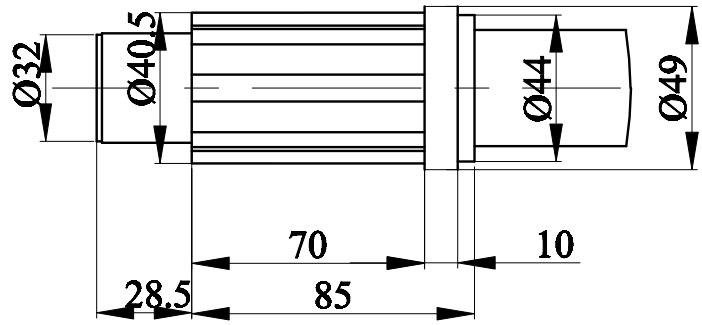
C Görünüşü



B-B Kesiti



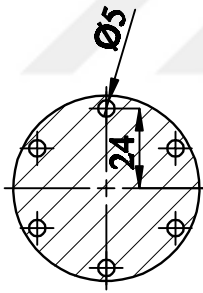
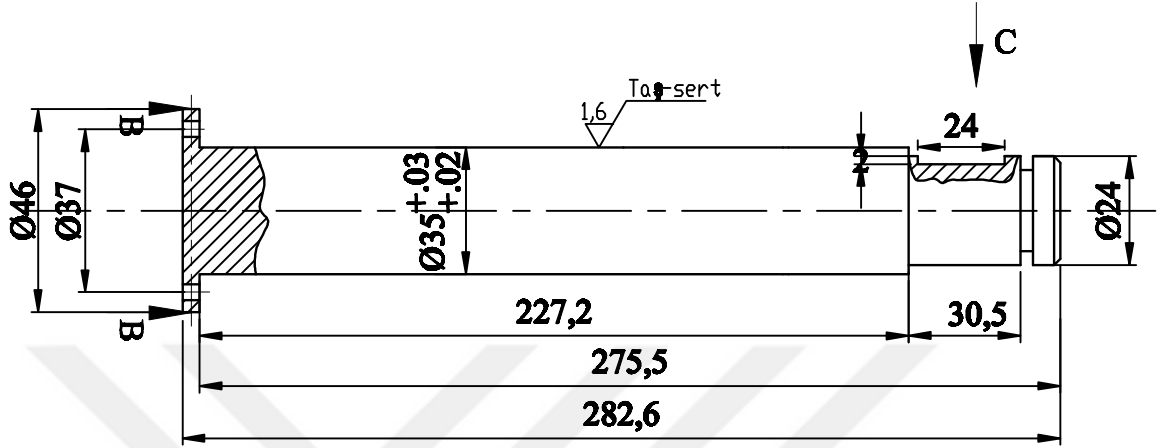
Kesit A-A  
Ölçek 1:2



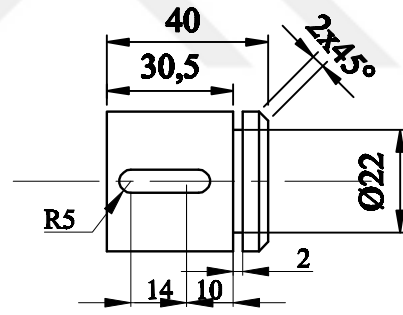
DETAY B  
ÖLÇEK 1:2

ÖLÇEK 1:2	MOTOR MİLİ		1	BÜ-MMÜ-01-011	S-42-2
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

0,4 / 1,6 /  
( $\nabla$  /  $\nabla$  / )

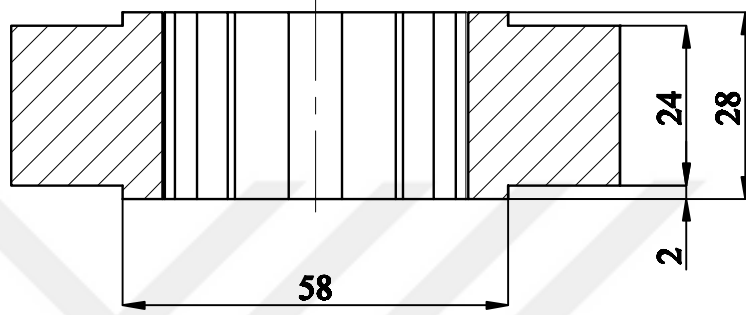


KESİT B-B

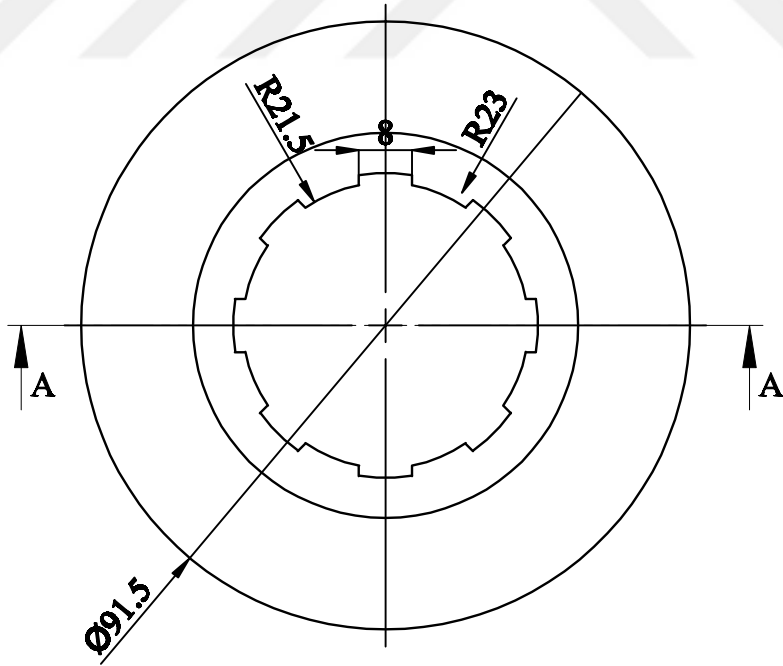


C GÖRÜNÜŞÜ

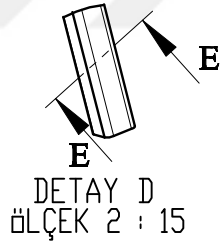
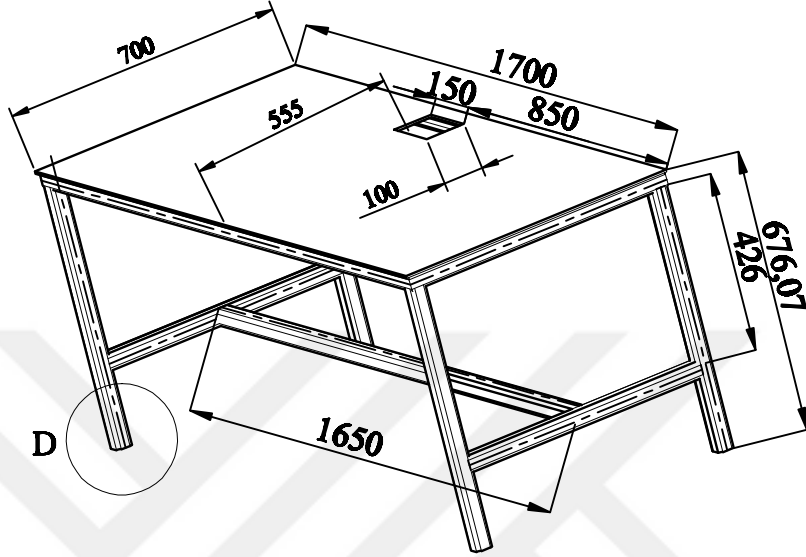
ÖLÇEK 2:3	MOTOR MİLİ		1	BÜ-MMB-01-012	9-42
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME



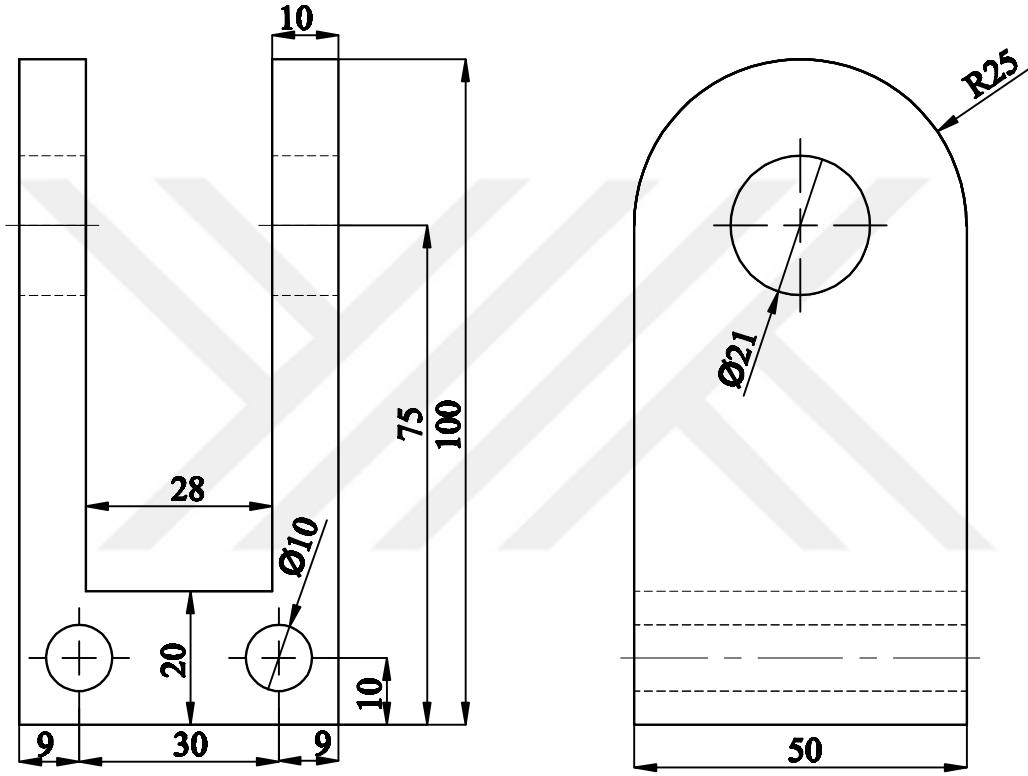
KESİTİ-A



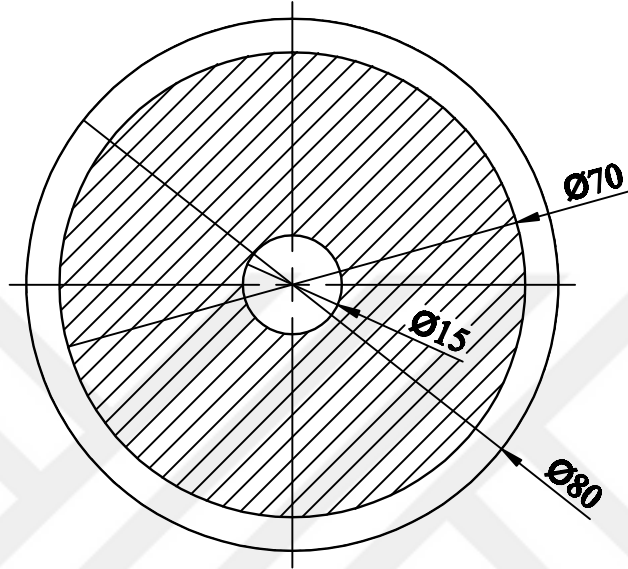
ÖLÇEK 1:1	DÜZ DİSK		2	BÖMMÖ-01-013	
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME



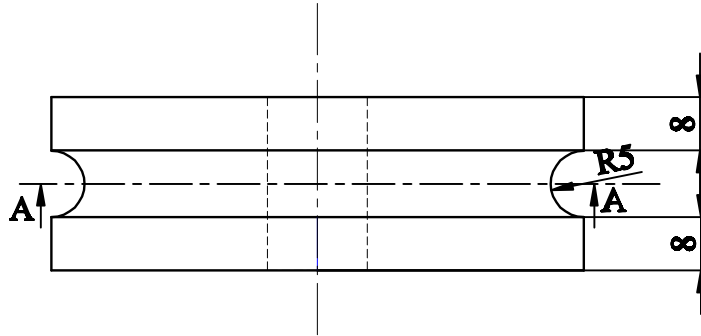
ÖLÇEK 1:10	TABLA		1	BÜ-MMÜ-01-014	
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME



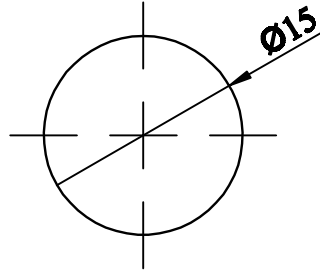
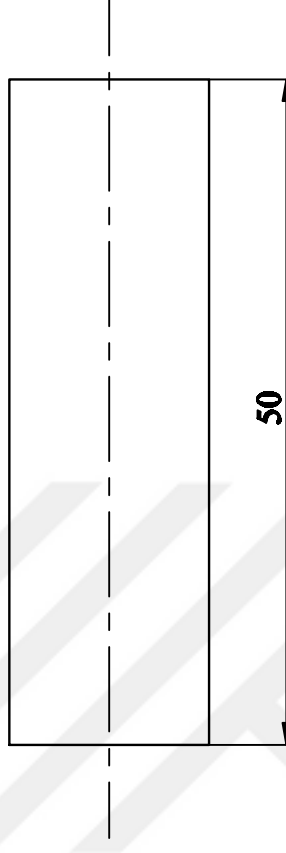
ÖLÇEK 1:1	MAKARALIK		1	BÜ-MMD-01-015	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME



A-A KESİTİ

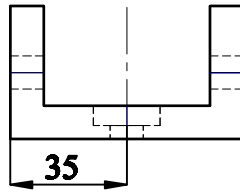
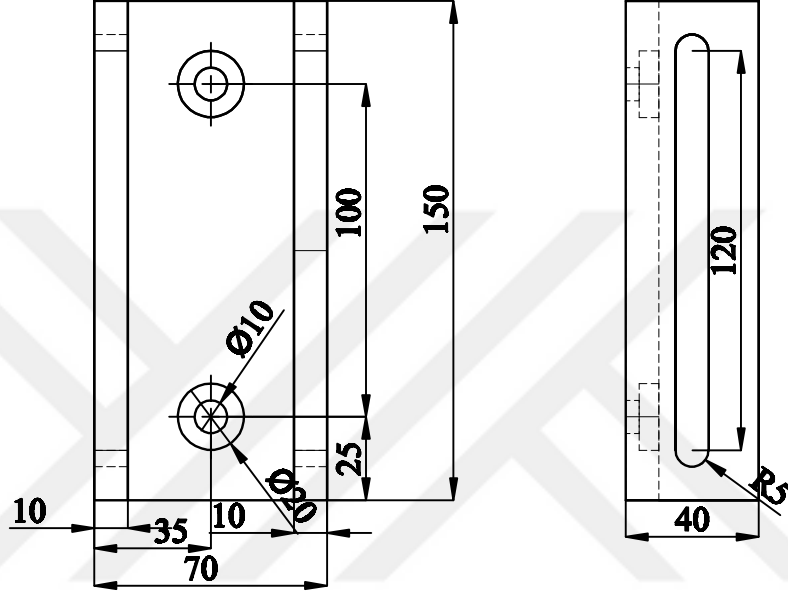


ÖLÇEK 1:1	MAKARA		1	BÜ-MMÜ-01-016	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME



ÖLÇEK 2:1	MAKARA MİLİ		1	BÜ-MMÜ-01-017	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

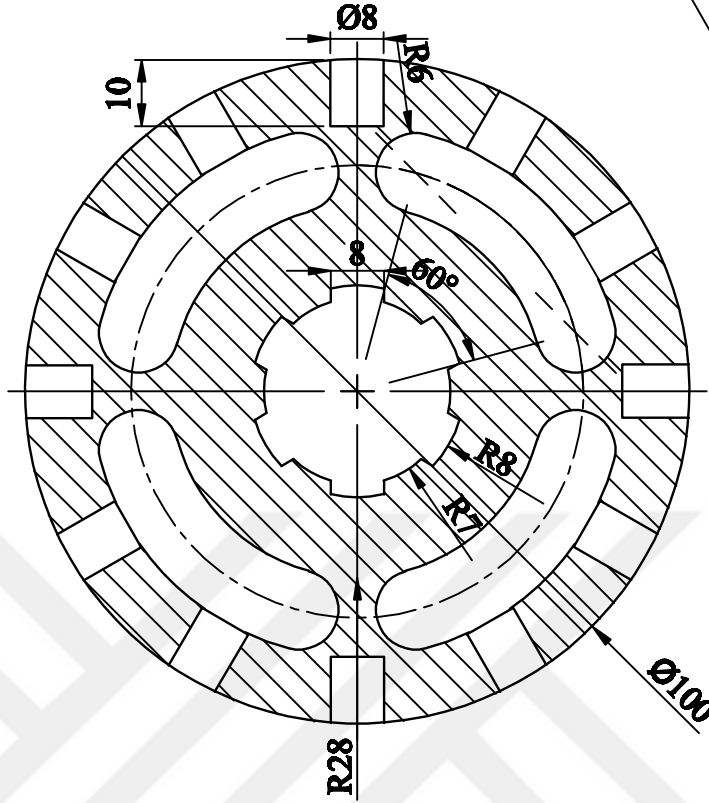
0,4



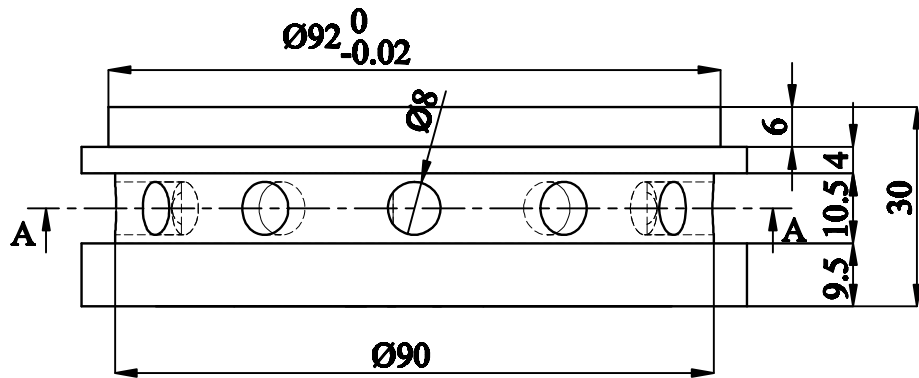
ÖLÇEK 1:2	KIZAK		1	BÜ-MMC-01-018	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME



1,6

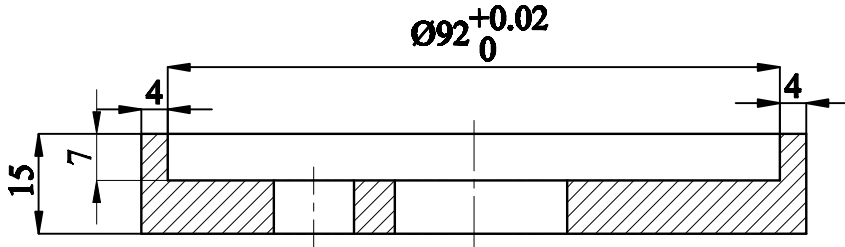


A-A KESİTİ

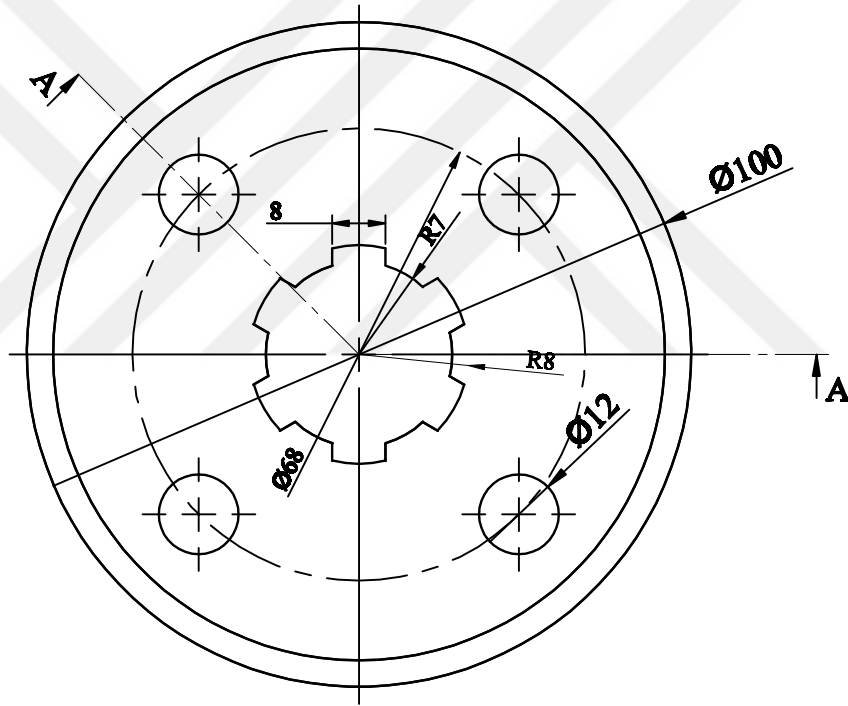


ÖLÇEK 1:1	TORK BÜYÜK ÇAP DÖNDÜRME DİSK		1	BÜ-MMC-01-019	Dökme Demir
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

0,4/  
▽

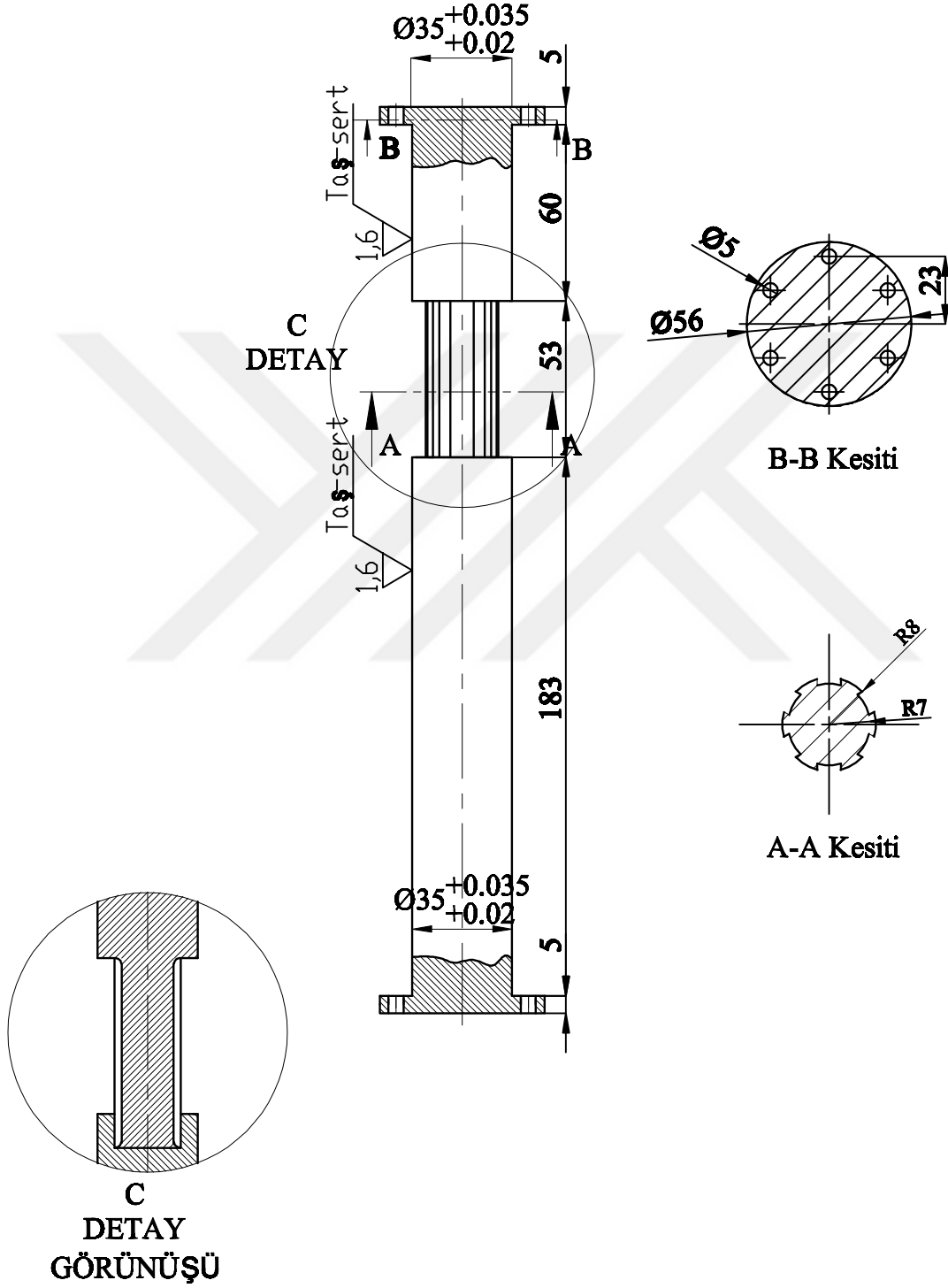


A-A KESİTİ



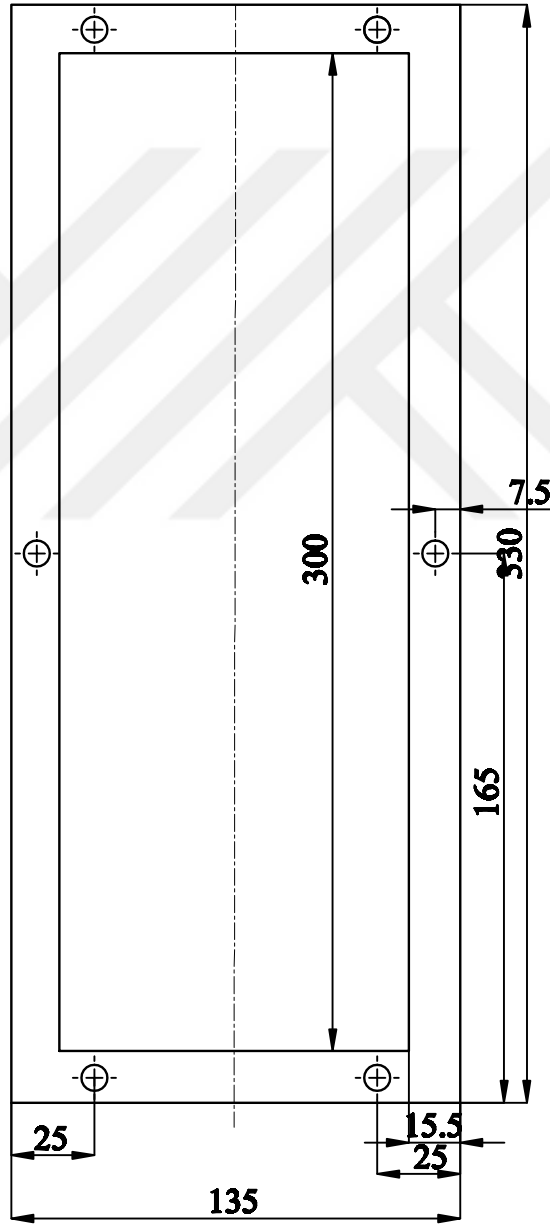
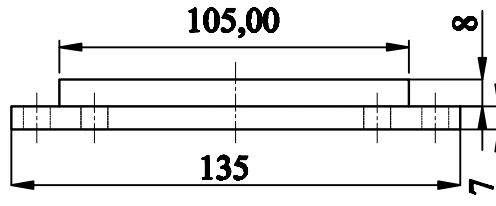
ÖLÇEK 1:1	TORK KAMALI DİSK		2	BÜ-MMC-01-020	Dünya Demir
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

0,4 / 1,6 /  
( / )



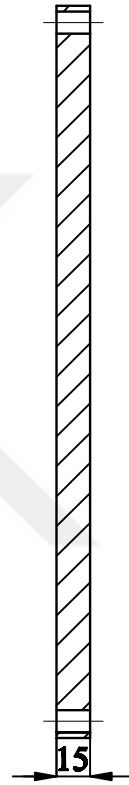
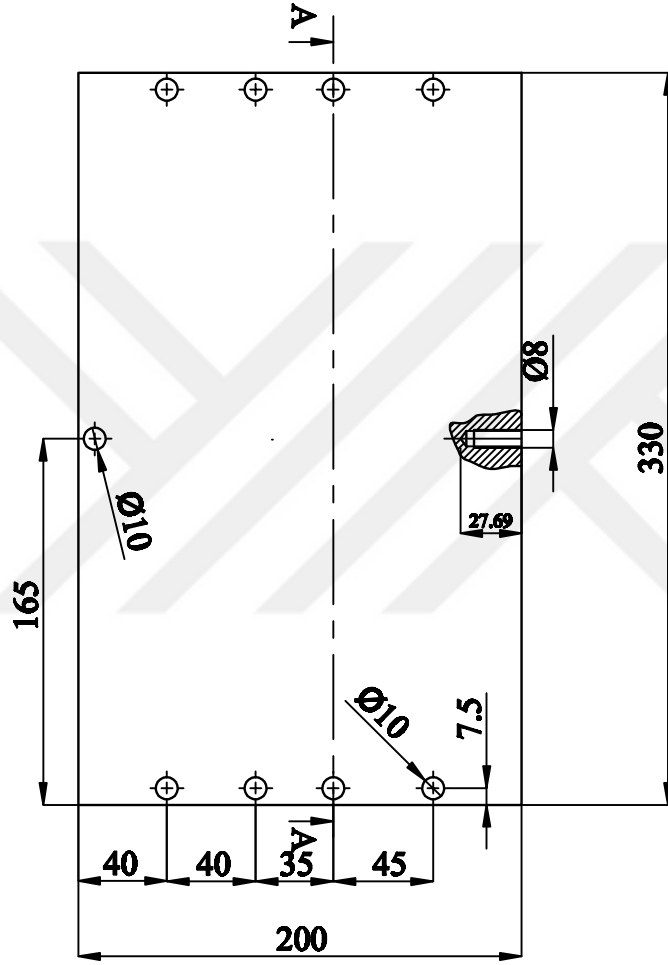
ÖLÇEK 1:2	FLANŞLI MİL		1	BÜ-MMM-01-021	9-42
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

0,4



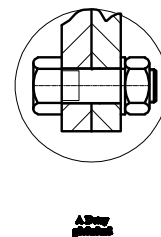
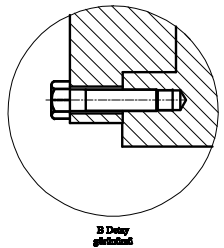
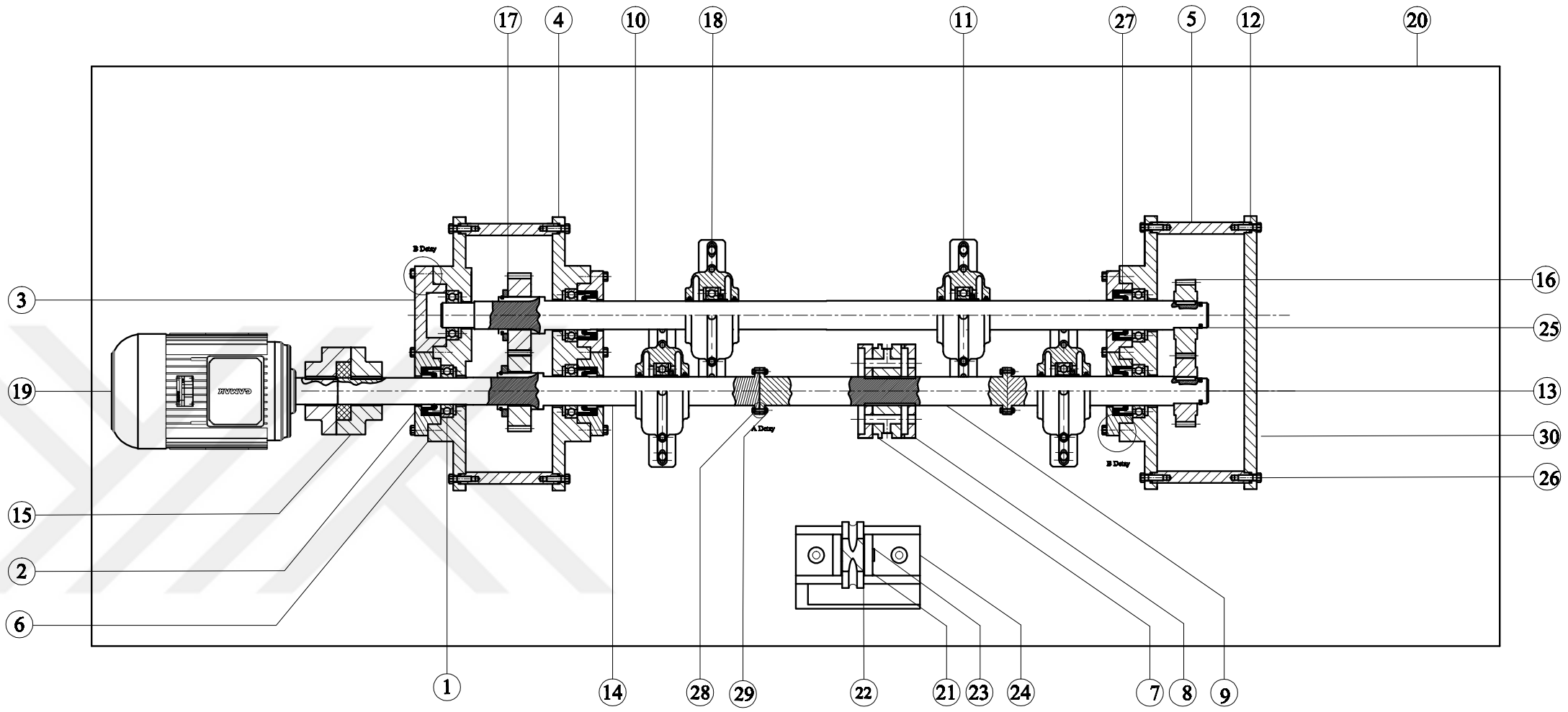
ÖLÇEK 1:2	DİŞLİ KUTUBU ÖRT KAPAĞI		2	BÜ-MMCÖ-01-022	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME

0,4

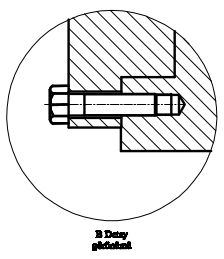
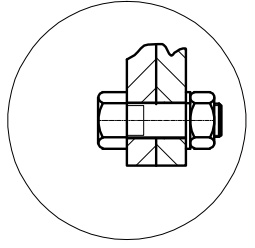
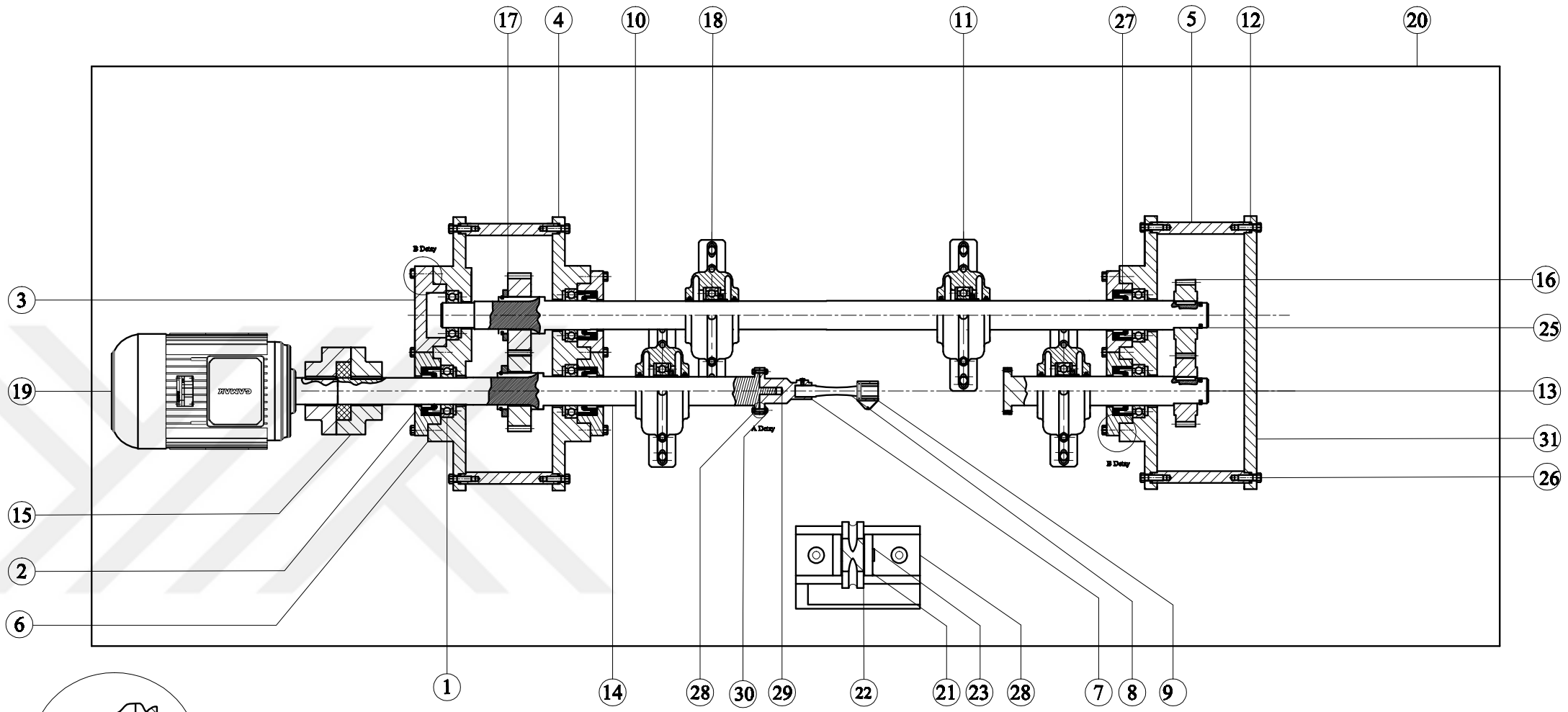


A-A KESİTİ

ÖLÇEK 1:3	DEĞİŞİKLİKLERİ		1	BÜ-MMÜ-01-023	CK15
PARÇA NO	PARÇA ADI	AĞIRLIK	ADET	RESİM ADI	MALZEME



30	Ön kapak	1	B.Ü. MMÖ.01.023	CK15	15	Kaplin	1		Yıldız Tip Kaplin Y95	Parça No	Parça Ad	Adedi	Resim Numarası	Malzeme&Açıklama
29	Somun	2		M4	14	Motor mili	1	B.Ü. MMÖ.01.012	St 42-2	Dişli Aşınma Test Cihazı				
28	Civata	12		M4	13	Motormili	1	B.Ü. MMÖ.01.011	St 42-2					
27	Keçe	10			12	Conta	8			Resim No: B.Ü.-MMÜ.-01-01				
26	Civata	17		M8	11	Yatak	4		CK15					
25	Segman	4			10	Tork mili	1	B.Ü. MMÖ.01.010	St 42-2	A.B.D. Sömestr Numarası Ad -Soyad Mak. Müh. 1 131108107 Kübra SALMAN Danışman Yrd. Doç. Dr. Mahir UZUN				
24	Kızak	1	B.Ü. MMÖ.01.018	CK15	9	Flanşlı Mil	1	BÜ.MMÖ.01.021	St 42-2					
23	Makara mili	1	B.Ü. MMÖ.01.017	CK15	22	Makara	1	B.Ü. MMÖ.01.016	CK15	8	Tork Kamalı disk	2	BÜ.MMÖ.01.020	CK15
					21	Makaralık	1	B.Ü. MMÖ.01.015	CK15	7	Tork Büyük Çap Döndürme Diski	1	BÜ.MMÖ.01.019	CK15
					20	Tabla	1	B.Ü. MMÖ.01.014	CK15	6	Arka kapak	2	B.Ü. MMÖ.01.006	CK15
					19	Motor	1		GAMAK 7,5 kW ELEKTRİK MOTORU	5	Yan duvar	4	B.Ü. MMÖ.01.005	CK15
					18	Civata	16		M10	4	Kutu ön kapak	1	B.Ü. MMÖ.01.004	CK15
					17	Diş Disk	2	B.Ü. MMÖ.01.013	St 37	3	Motor kör Kapak	1	B.Ü. MMÖ.01.003	CK15
					16	Dişli	2	B.Ü. MMÖ.01.001	AFBMA 20.1 - 17-Full,DE,AC,Full 68	2	Ön kapak	5	B.Ü. MMÖ.01.002	CK15
					15	Kaplin	1		Yıldız Tip Kaplin Y95	1	Rulman	10		SKF 3206



Parça No	Parça Adı	Adedi	Resim Numarası	Malzeme&Açıklama
23	Makara mili	1	B.Ü. MMÖ.01.017	CK15
22	Makara	1	B.Ü. MMÖ.01.016	CK15
21	Makaralık	1	B.Ü. MMÖ.01.015	CK15
20	Tabla	1	B.Ü. MMÖ.01.014	CK15
19	Motor	1		GAMAK 7,5 kW ELEKTRİK MOTORU M10
18	Civata	16		M10
17	Düz Disk	2	B.Ü. MMÖ.01.013	St 37
16	Dişli	2	B.Ü. MMÖ.01.001	AFBMA 20.1 - 17-Full,DE,AC,Full_68
15	Kaplin	1		Yıldız Tip Kaplin Y95
14	Motor mili	1	B.Ü. MMÖ.01.012	St 42-2
13	Motor mili	1	B.Ü. MMÖ.01.011	ST 42-2
12	Conta	8		
11	Yatak	4		CK15
10	Tork mili	1	B.Ü. MMÖ.01.010	St 42-2
9	Numune yatağı	1	B.Ü. MMÖ.01.009	SKF 6201
8	Numune	1	B.Ü. MMÖ.01.008	St 50-2
7	Tutucu	1	B.Ü. MMÖ.01.007	St 42-2
6	Arka kapak	2	B.Ü. MMÖ.01.006	CK15
5	Yan duvar	4	B.Ü. MMÖ.01.005	CK15
4	Kutu ön kapak	1	B.Ü. MMÖ.01.004	CK15
3	Motor kör Kapak	1	B.Ü. MMÖ.01.003	CK15
2	Ön kapak	5	B.Ü. MMÖ.01.002	CK15
1	Rulman	10		SKF 3206
31	Ön kapak	1	B.Ü. MMÖ.01.023	
30	Somun	2		M4
29	Sabitleme pimi	1		
28	Civata	2		M4
27	Keçe	10		
26	Civata	17		M8
25	Segman	4		
24	Kızak	1	B.Ü. MMÖ.01.018	CK15

**Döner Eğilmeli Yorulma Test Cihazı**

**B.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Resim No: B.Ü.-MMÜ.-01-02**

Ölçek: 1:7	A.B.D. Mak. Müh. Dan	Sömestr 1	Numarası 131108107	Ad -Soyadı Kübra SALMAN
Yrd. Doç. Dr. Mahir UZUN				