

**T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**TEKRARLI EĞİLME YORULMASINDA ÇATLAK İLERLEME HIZININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa YILMAZ

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı**

Ocak, 2020

**T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**TEKRARLI EĞİLME YORULMASINDA ÇATLAK İLERLEME HIZININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa YILMAZ
(Y1613.080013)**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin Erol AKATA

Ocak, 2020

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ



YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1613.080013 numaralı öğrencisi Mustafa YILMAZ'ın "TEKRARLI EĞİLME YORULMASINDA ÇATLAK İLERLEME HIZININ İNCELENMESİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 14.01.2020 tarihli ve 2020/01 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Tezli Yüksek Lisans tezi 28.01.2020 tarihinde kabul edilmiştir.

	<u>Unvan</u>	<u>Adı Soyadı</u>	<u>Üniversite</u>	<u>İmza</u>
ASIL ÜYELER				
Danışman	Prof. Dr.	Hüseyin Erol AKATA	İstanbul Aydın Üniversitesi	
1. Üye	Dr. Öğr. Üyesi	Vedat ÖZTÜRK	İstanbul Aydın Üniversitesi	
2. Üye	Doç. Dr.	Turgut GÜLMEZ	İstanbul Teknik Üniversitesi	
YEDEK ÜYELER				
1. Üye	Dr. Öğr. Üyesi	Lütfiye DAHİL	İstanbul Aydın Üniversitesi	
2. Üye	Prof. Dr.	Murat VURAL	İstanbul Teknik Üniversitesi	

ONAY

Prof. Dr. Ragıp Kutay KARACA
Enstitü Müdürü

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “tekrarlı eğilme yorulmasında çatlak ilerleme hızının incelenmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (/ / 2020)

Mustafa YILMAZ

ÖNSÖZ

Öğrenim hayatım boyunca hep yanımda olan ve beni destekleyen en zor zamanda ışığı görmemi sağlayan aileme, lisans öğrenimi ve yüksek lisans öğrenimimde emeği çok olan, bilgi ve tecrübelerini saklamayıp sürekli bizimle paylaşan saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Hüseyin Erol AKATA'ya, makine yapımında desteklerini esirgemeyen ve tecrübelerini paylaşan YLZ MAKİNE sahipleri Sayın Sadık YILMAZ ve Sayın Ahmet Selim YILMAZ'a, yüksek lisansa başlamamda beni teşvik edip her zaman yanımda olan sayın Murat Selim SUSSA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2020

Mustafa YILMAZ

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. YORULMA KAVRAMI.....	3
2.1 Giriş.....	3
2.2 Tarihçe.....	3
2.3 Terminoloji.....	5
2.3.1 Yükleme tekrarı.....	5
2.3.2 Kırılma tekrar sayısı.....	5
2.3.3 Yorulma mukavemeti.....	5
2.3.4 Yorulma sınırı	6
2.3.5 Maksimum Gerilme	7
2.3.6 Minimum Gerilme.....	7
2.3.7 Wöhler Diyagramı.....	7
2.4 Yorulma Zorlanması Türleri	8
2.5 Yorulma Kırılmasını Etkileyen Faktörler	9
2.5.1 Yüzey İşleme Kalitesi faktörü.....	9
2.5.2 Sıcaklık faktörü	10
2.5.3 Boyut faktörü	10
2.5.4 Çentik Etkisi.....	10
2.5.5 Aşırı Yüklenme	11
2.5.6 Korozyon Etkisi	11
2.5.7 Frekansın faktörü	12
3. TEKRARLI EĞİLME YORULMA DENEYİ MAKİNESİ TASARIMI VE İMALATI.....	13
3.1 Amaç	13
3.2 Mekanizma Tasarımı.....	13
3.3 Tekrarlı Eğilme Yorulma Makinesinin Elemanları.....	15
3.3.1 Elektrik motoru	15
3.3.2 Kavrama	15
3.3.3 Transmisyon mili	16
3.3.4 Rulmanlı yatak	16
3.3.5 Ayna adaptörü	17
3.3.6 Ayna.....	17
3.3.7 Biyel Kolu-Piston Bağlantısı	17

3.3.8 Motor Bloğu.....	18
3.3.9 Kapak ve yay.....	19
3.3.10 Eksantrik Elemanları.....	19
3.3.11 Deney parçası sabitlenecek kalıp ve motor bloğunun sabitlenmesi.....	21
4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME	23
4.1 Yay Katsayı Hesabı.....	23
4.2 Yay Kuvveti Hesabı	24
4.3 Maksimum Gerilme Ve Momentlerin Hesabı	24
4.4 Deney Sonuçları ve İrdeleme	26
KAYNAKLAR	29
ÖZGEÇMİŞ.....	30

KISALTMALAR

- b** : Numunenin eni
d : Yayın tel çapı
D : Ortalama yay çapı
e t : Salınım hareketi
ei : İç eksantriklik vektörü
eo : Dış eksantriklik vektörü
F_{YAY} : Yay kuvveti
G : Kaymada Elastiklik modülü
h : Çentiğin ucu ile numunenin üst kısmı arasındaki mesafe
k : Yay katsayısı
l : Numunenin çentiği ile piston üst kapağın temas ettiği yer arasındaki mesafe
Me : Eğilme momenti
na : Aktif sarım sayısı
x : Yayın sıkıştırma miktarı
 $\sigma_{eğ,max}$: Eğilmede maksimum gerilme

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Yayın sıkışma miktarı ile uygulanabilen maksimum itme kuvveti değişimi.	24

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Yük tekrarı şekilleri.....	5
Şekil 2.2: Demir ve demir dışı metaller için yorulma deneyi (WÖHLER) grafikleri[8].	6
Şekil 2.3:a Wöhler-diyagramı.....	7
Şekil 2.3:b Wöhler diyagramı.....	8
Şekil 2.4: Dinamik zorlanma çeşitleri	9
Şekil 2.5: Çentikte çatlak oluşumu ve ilerlemesi.....	10
Şekil 2.6: Çentik etkisi.....	11
Şekil 2.7: Korozyonun yorulmaya etkisi(TS-1487).....	11
Şekil 3.1: (a) Makinedeki sıkıştırma yayı vasıtasıyla yük uygulaması,	14
Şekil 3.2: Yorulma makinesi çalıştıran elektrik motoru ve anahtarı	15
Şekil 3.3: Yorulma makinesi kavrama elemanı	15
Şekil 3.4: Yorulma makinesi transmisyon mili	16
Şekil 3.5: Yorulma makinesindeki rulmanlı yataklar	16
Şekil 3.6: Yorulma makinesinde kullanılan ayna adaptörü ve ayna.....	17
Şekil 3.7: Biyel kolu-Piston bağlantısı	18
Şekil 3.8: Makinede kullanılan 125cm ³ 'lük motor bloğu.....	18
Şekil 3.9: Numuneye kuvvet uygulayan kapak ve Yay	19
Şekil 3.10: Strok ayarının ölçümü	20
Şekil 3.11: Strok ayar pensesi.....	20
Şekil 3.12: Deney Kalıbının Alt Sabitleme Parçası.....	21
Şekil 3.13: Deney Kalıbının Üst Sabitleme Parça	22
Şekil 3.14: Deney parçası ve motor bloğunun sabitlenmesi.....	22
Şekil 4.1: Yorulma makinasında eğilme yükü uygulama ve geometrik büyüklükler.	25
Şekil 4.2: Deneysel çalışmada elde edilen tekrarlı eğilme gerilmeleri.....	25
Şekil 4.3: Charpy parçasına çentik açma	26
Şekil 4.4: Deney parçamız makinede tekrarlı yüke tabi tutulurken.....	26
Şekil 4.5: Deney parçamızda gerilmeler sonucu yorulma çatlağı oluşması	27
Şekil 4.6: Charpy parçasında yorulma çatlak görünümü.....	27

TEKRARLI EĞİLME YORULMASINDA ÇATLAK İLERLEME HIZININ İNCELENMESİ

ÖZET

Sunulan tez çalışmasında, tekrarlı eğilme yüklemesi uygulamak üzere geliştirilen bir yorulma makinası geliştirilmiş ve söz konusu makine kullanılarak charpy-V çentikli deney parçalarına yorulma yüklemeleri uygulanmıştır. Tez çalışması iki aşamada tamamlanmıştır. Birinci aşamada yorulma ile ilgili genel bilgiler ve yorulma hakkında terimler açıklandıktan sonra yorulma deneyi hakkında açıklamalar yapılmıştır. İkinci aşamada ise, laboratuvarında daha önce imal edilmiş olan “tekrarlı eğilme yorulma makinası” sessiz, kullanışlı ve tekrarlanabilirliği arttırılmak üzere geliştirilmesi sağlanarak, 10x10 mm kare kesitli alüminyum cubuklardan kesilerek hazırlanan deney parçalarına yorulma yüklemesi uygulanmış ve çatlakların ilerleme hızının belirlenmesine çalışılmıştır. Geliştirilerek imal edilen “tekrarlı eğilme yorulma makinası”nın kabul edilebilir bir tekrarlanabilirliğe sahip ve çatlak ilerleme hızlarının belirlenmesinde kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: : *tekrarlı eğilme, alüminyum, yorulma testi*

DEVELOPMENT AND MANUFACTURING OF A LABORATORY TYPE REPEATED BENDING FATIGUE MACHINE

ABSTRACT

In the thesis study, a fatigue machine developed to apply repeated bending loading was developed and fatigue loading applied to the Charpy-V notched experiment pieces using the said machine. The thesis completed in two phases. In the first stage, general information about fatigue and the terms about fatigue were explained and then additional explanations were made. In the second stage, the laboratory's previously manufactured "repeating bending fatigue machine" was developed to improve its quiet, useful and reproducibility, and the test pieces prepared by cutting from 10x10 mm square section aluminum cubes were applied fatigue loading and the progress speed of the crack was determined. The "repeated bending fatigue machine" developed and manufactured has been shown to have an acceptable reproducibility and can be used to determine crack progression rates.

Keywords: *Repeated Bending, Aluminum, Fatigue test.*

1. GİRİŞ

Tekrarlı zorlamalarla malzemenin mukavemetinde azalma meydana gelir, uygulanan kuvvetle beraber çekme mukavemetinden düşük gerilmelerde kırılma olayı gerçekleşebilir. Çatlak ve kırılmanın oluşmasındaki öncelikli olaya yorulma denir. Yorulmadan sonra oluşan kırılmada malzeme yorulmadan dolayı gevrek hale gelmesiyle zamanını ve nasıl olacağını bilmek kolay değildir. Demir ve çeliğin bulunduğu yıllardan günümüze dek çeşitli kazalara sebep olduğundan yıllardır üzerinde çalışılan bir konudur. Bununla beraber farklı faktörlerin sebep olduğu bu karışık hadiseyi yakından tanıyamamamızla yorulma kırılmalarının önüne geçmek mümkündür.

Yorulmanın nasıl gerçekleştiği tam olarak açıklanamamış olmasına rağmen bu konuda yaptığım çalışmayı anlatacağım. Makine üretimi dünyada başladığından beri elemanlarının çoğu tekrarlı yüke maruz kalarak çalışırlar. Tekrarlı yüke maruz olan makine elemanlarının statik dirençlerden daha düşük tekrarlı zorlanmalarla malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur, ancak bu olaydan sonra tekrarlı kuvvetlerin devam etmesiyle yorulma ile birlikte malzemede kopma olayı yaşanır. Yorulma genellikle malzemenin anatomisinde bulunan sorunların civarında gerçekleşen gerilmelerin artmasından meydana gelir. Bu sebeplerden ötürü yorulmanın malzemenin iç yapısıyla ilgisi vardır. Malzemenin anatomisinde oluşmuş çentik, çatlak, sert parçacık, boşluk veya ani kesit değişmelerinin etrafındaki gerilmeler ortalama gerilmelerden daha büyüktür. Gerilmelerin etkisi altında plastik şekil değiştirme olayı oluşur. Başlangıçta yüzeyi parlatılmış üniform kesitli herhangi bozukluk gözükmeyen metalde elastik sınır altında dislokasyonlar yerel olarak harekete geçerek kayma bantları oluştururlar. Oluşan kayma bantları sayesinde yüzeyde çöküntülerin ve çukurlukların oluşmasıyla gerilme yüklenmelerine sebep olurlar. Bütün bu durumlarda tekrarlı yüklenmelerin oluşturduğu tersinir olmayan plastik şekil değiştirme ile malzemenin gevrekliği artar ve pekleşerek ani yorulma kırılması

yaşanır. Yorulmada oluşan çatlaklar öncelikle malzemenin yüzeyinde başlar ve malzemenin içersine doğru yayılır [1].

2. YORULMA KAVRAMI

2.1 Giriş

Genellikle tekrarlı yük altında çalışanlar, makine elemanları ve yapı elemanlarıdır. Statik dayanımlardan daha az kademelerdeki tekrarlı kuvvet altındaki parçalarda bir süre sonra çatlama ve kırılma gibi sorunlar yaşanabilir. Tekrarlı gerilmelere altında olan malzemelerde zamanla oluşan hasara yorulma olayı denir. Malzemelerde kırılma olayı yorulma sonucu malzemenin gevrekleşerek oluşmasından zamanını ve nasıl olacağını bilmek zordur.. Yorulma kopmaları, malzemenin içerisindeki hesaplanmış olan gerilmeler elastik bölgede olmasına rağmen, meydana gelir. Fakat bu tür olaylar genellikle düzensiz gerilme dağılımları olduğu zamanlarda görülür. Genellikle yorulma kopması oluşmuş parçalara örnek olarak dişliler, miller ve bağlantı çubukları gibi makine çalışır durumdayken sürekli hareketli ve tekrarlı yük altında bulunan parçaları gösterebiliriz[2].

2.2 Tarihçe

Buharlı makinelerin keşfedilip geliştirilmesiyle, hareketli parça sayısı fazla olan vasıtaların popüler bir şekilde, bir çok alanda kullanılmaya başlanmasıyla tekrarlı değişen yüklere maruz kalan parçalarda hasarların ortaya çıkması genel bir hadise şeklini almıştır. Makine parçalarında ve büyük yapılarda kesit farklılığının olduğu yerlerde, yüklemenin tekrarlı değişken olmasıyla, düşük yüklemeler altındaki çalışmalarda dahi kırıkların oluştuğu gözlemlenmiştir. Mühendisleri endişelendiren bu olaylar ilk kez 1830 senesinde W.A. Albert tarafından araştırmaya başlanmıştır.

Keşfi 1800'lü yıllarda bazı Avrupalı araştırmacıların köprülerde ve demiryollarında oluşan çatlakları gözlemleyip yorulma olayını incelemeye başlarlar. Tekrarlı değişen gerilmelerin sebep olduğu ilk büyük hasar 1840'lı yıllarda demiryolu sektöründe görülmüştür. Vagonların akslarını

incelediklerinde kesit daralmasının olduğu taraflarda kırılmaların meydana gelmesi araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Yorulma ile alakalı sistematik çalışmalar 1850-1860 arasında Almanya’da Agust Wöhler isimli araştırmacı tarafından yapılmıştır.

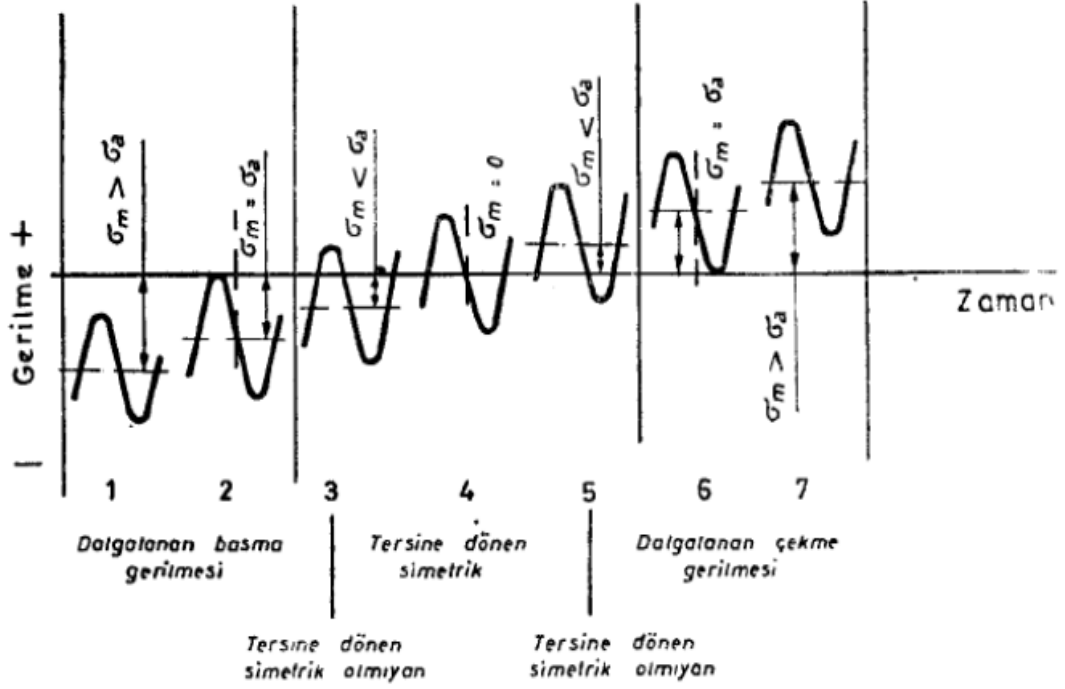
Bu yıllarda Agust Wöhler, yorulma deneyi yapmak üzere deney makinesi geliştirmiştir. Metal malzemelerden hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deneylerde, uygulanan yükleri büyüklüğü ilgi odağı olmuştur. Yaptığı deneylerden yararlanarak yorulmalarda uygulanan en büyük gerilmenin dışında gerilme aralığının önemli olduğunun sonucuna varmıştır. Agust Wöhler çizdiği gerilme-çevirim sayısı (S-N) diyagramlarını kullanarak, gerilme aralığı limiti altındaki gerilmelerde numunelerin kırılmadığı göstermiştir.

1900’lü yılların ilk başlarında yorulma olayının fiziksel özellikleri belirlenmesine dair çok iç açıcı bir gelişme olmamıştır. Bu olayların yanı sıra 1900’lü yılların ikinci yarısında metal malzemelerin yapısal özellikleri eski dönemlere oranla anlaşılmasıyla mühendislik ve makine elemanları malzemelerinin tekrarlı yüklerle zorlanmaları üzerine gelişmeler kaydedilmiştir. Bu gelişmelerden sonra tekrarlı yüklerle maruz kalarak çalışan parçaların modellenmesi aşamasında; şekil değiştirme-ömür, gerilme-ömür, yorulma çatlak başlangıcı-çatlak yayılması ve test modelleri gibi önemli maddeler üzerinde durulmasına karar vermiştir. Bach ise ortalama gerilmenin yorulma ömrü üzerine etkisi araştırmış ilk bilim insanıdır. Ayrıca yorulma ömrünün ortalama gerilmeye bağlı olarak değişimi Gerber tarafından incelenmiş ve Goodman, ortalama gerilmelerle ilgili, basitleştirilmiş teoriyi geliştirmiştir. İkinci Dünya Savaşı zamanlarında gemi ve tankerlerde kaynaklı bağlantı kullanılmış fakat bu bağlantıların olduğu yerlerde gevrek kırılmalar görülmüştür. Bu gevrek kırılmaların geneli sivri, keskin köşe ve kaynak dikişlerinin bulunduğu bölgelerden başladığı gözlemlenmiştir. Avrupa’da birçok köprü faaliyete geçtikten kısa bir süre sonra çok küçük yüklemeler altında yıkılmışlardır. Yaşanan bu olayla köprülerdeki ortak nokta yıkılmanın ani, ortam sıcaklıklarının düşük ve malzemenin gevrekliğinden olan kırılmadır[9].

2.3 Terminoloji

2.3.1 Yükleme tekrarı

Malzemeye uygulanan çoğunluklar sinüs dalgası şeklinde olan gerilmelerin tekrar eden çevrimlerin minimum haline “Periyot” ya da “Yük Tekrarı” denilmektedir. Malzemelerin çevrim sayısı genellikle yorulma ömrünü anlatır.



Şekil 2.1: Yük tekrarı şekilleri [4]

Kaynak: <https://www.malzemebilimi.net> (Erişim Tarihi 01.05.2019)

2.3.2 Kırılma tekrar sayısı

Malzemenin belirli büyüklükteki tekrarlı yük altında kırılmasına sebep olan çevrim sayısı olarak açıklanır. Yorulma ömründen bahsedilmesi için malzemenin demir ve türevleri olması gerekir. Çelik malzemelerde tekrarlı gerilmelere rağmen bir milyona yakın periyoda dayanabiliyorsa yorulma ömrüne sonsuzdur denilebilir.

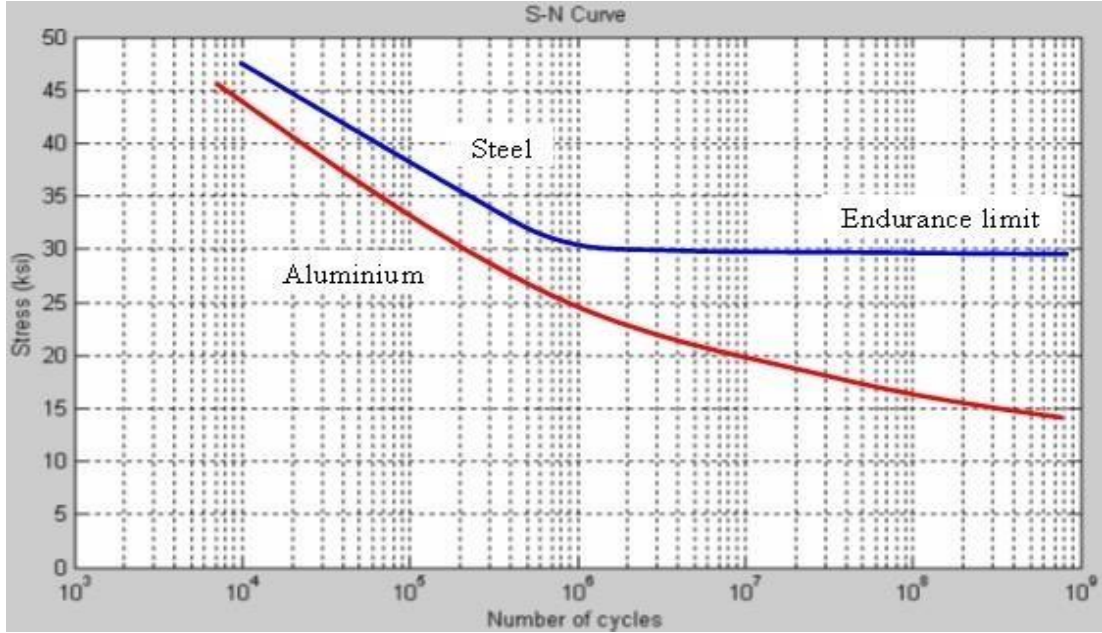
2.3.3 Yorulma mukavemeti

Malzemelerin belirli bir çevrim sonucunda görülen çatlak veya kopmalarda hesaplanan gerilmeye yorulma mukavemeti denir. Bazı durumlarda eşdeğer numunelerin belirli bir çevrimde dayanabileceği ortalama gerilmelerdir.

Ortalama gerilme sıfır iken malzemelerin sonsuz ömürle dayanabileceği gerilme olarak ifade edilir.

2.3.4 Yorulma sınırı

S-N diyagramlarında eğrinin yataylaştığı sabit bir çizgi de oluşturduğu gerilmeye denir. Bu gerilmenin altındaki gerilmelerde malzeme sonsuz yorulma ömrüne sahiptir denilebilir.



Şekil 2.2: Demir ve demir dışı metaller için yorulma deneyi (WÖHLER) grafikleri[8].

Kaynak: <http://www.kuark.org/> , (Erişim Tarihi:01.05.2019)

Tanımda anlattığımız gibi (Şekil 2.2) 'de yüksek karbonlu çeliğin grafiğine bakarken gerilme azalıp sabit bir çizgi oluşturup yatayda hareket ederken oluşan gerilme yorulma dayanımı sınırı olarak adlandırılır ve 10⁶ ve 10¹⁰ çevrim arasında bir yerde bulunmaktadır. Birçok demir asıllı alaşım yorulma sınırına sahiptir ve bu sınır çekme dayanımının yaklaşık yarısı değerindedir. Alüminyum alaşımları gibi demir dışı alaşımların yorulma sınırı yoktur ve yorulma gerilmelerinin çekme dayanımlarının yaklaşık üçte biri olduğu kabul edilir[9].

2.3.5 Maksimum Gerilme

Malzemeye uygulanan gerilmeler içerisinde malzemeyi zorlayan ve değeri en büyük olan gerilmedir. Basma gerilmeleri negatif (-), çekme gerilmeleri pozitif (+), olarak gösterilir. σ_{\max} olarak gösterilir.

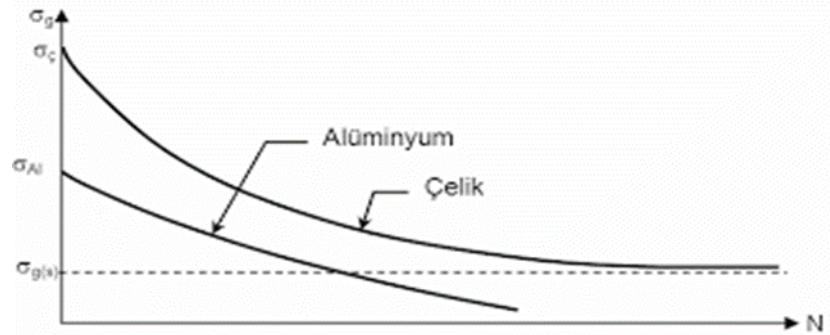
2.3.6 Minimum Gerilme

Malzemeye uygulanan gerilmeler içerisinde mutlak değer olarak en küçük olan gerilmedir. σ_{\min} olarak gösterilir.

2.3.7 Wöhler Diyagramı

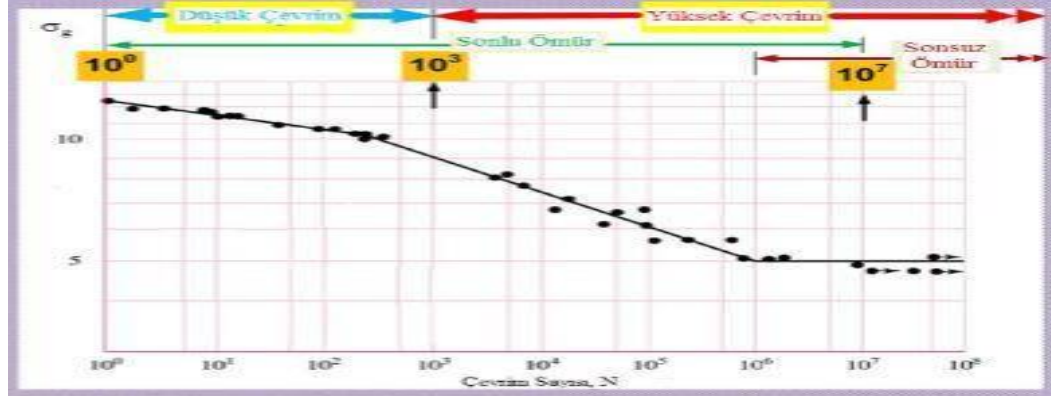
Wöhler diyagramı iki kısımdan oluşarak incelenir. Eğrinin eğik olarak inen kısmında bulunan mukavemetine zaman mukavemeti denir. Wöhler diyagramında zaman mukavemeti tarafı ömür problemi olmayan, hafif makinelerin elemanları boyutlandırılırken kullanılır. Eğrinin yatay kısmında bulunan mukavemet değerlerine sürekli mukavemet denir[12].

Wöhler diyagramı oluşturulurken alınan numune malzeme yorulma deneyi içinde aynı yerden alınmalıdır. Deney sonucunda bir diyagram yaratılabilir, diyagramın X eksenine çevrim sayısı, Y eksenine ise gerilmesi yazılır. Deney çubuğu başlangıçta ortalama gerilme ile yüklenir, daha sonra değişken yükleme ile belirli bir genlik gerilmesiyle yüklenir. Deneyde çevrim sayaç ile kaydedilir, numunede kırılma olayı meydana geldiği gibi cihaz durdurulur. Deney sırasında genlik gerilme değeri düşürülürse böylece malzemede kopma olayı meydana gelmeden çevrim sayısında artma gerçekleşir. Çevrimi 10^7 oluncaya kadar devam edilir. (Şekil 2.3) ü incelediğimizde yorulma dayanım sınırı aşılmadığı sürece numunenin özeliği hakkında sonsuz ömürlü denir[10].



Şekil 2.3:a Wöhler-diyagramı[4].

Kaynak: <https://www.malzemebilimi.net> (Erişim Tarihi 01.05.2019)

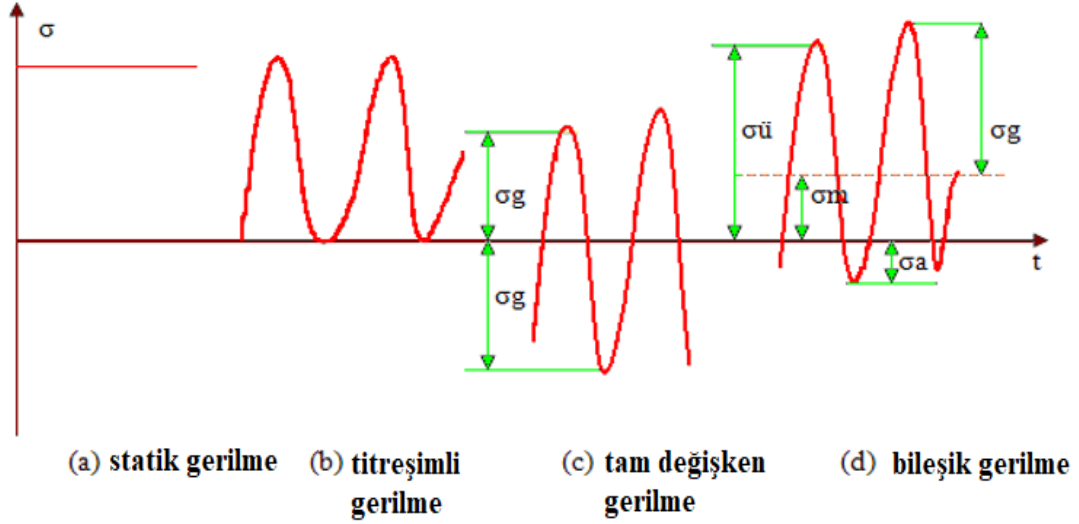


Şekil 2.3:b Wöhler diyagramı[10].

Kaynak: <http://docplayer.biz.tr/> , (Erişimtarihi:24.05.2019)

2.4 Yorulma Zorlanması Türleri

Malzemeye kısa sürede değişkenlik gösteren dinamik kuvvet uygulanıyorsa bu kuvvetten dolayı malzeme bir süre sonra kırılır. Makine elemanları genellikle dinamik gerilme kuvvetlerinin etkisindedir, elemanlardaki gerilme kuvvetinin büyüklüğü zamanla değişir. Dinamik gerilme türleri: (şekil 2.4)'te görüldüğü gibi a) statik gerilme, b) titreşimli gerilme, c) tam değişkenli gerilme, d) bileşik gerilme



Şekil 2.4: Dinamik zorlanma çeşitleri

- **Statik Gerilme:** Gerilme-Zaman grafiklerinde malzemeye zamanla değişmeyen gerilme uygulanıyorsa bu gerilme statik gerilme denir.
- **Titreşimli Gerilme:** Gerilme değeri negatif bölgeye geçmeyen pozitif bölgede bir değer oluşturan gerilmeye titreşimli gerilme denir.
- **Tam Değişken Gerilme:** Gerilme-Zaman grafiğinde her iki bölgede de eşit olarak dağılan gerilmeye tam değişkenli gerilme denir.
- **Bileşik Gerilme:** Titreşimli, statik ve tam değişken gerilmelerden ikisi aynı zamanda malzemeye uygulanırsa bileşik gerilme oluşur.

2.5 Yorulma Kırılmasını Etkileyen Faktörler

2.5.1 Yüzey İşleme Kalitesi faktörü

Çatlama her zaman malzemenin yüzeyinden içeriye doğru artar. Pürüzlülük, çentik etkisine neden olacağından çatlak oluşumu ve ilerlemesi kolaylaşır. Bu sebeple, yüzey işleme kalitesi artan malzemenin yorulma mukavemeti de aynı oranda artmış olur. [7] Malzemelerin yüzeylerindeki düzensizlikler çentik etkisi yaratacağından bu bölgelerde gerilme yığılmaları oluşmaktadır böylece yüzeyde çatlak oluşumuna sebep olmaktadır. Bu yüzden malzemelerin yüzeyleri torna işleminden sonra parlatılarak yorulma dayanım sınırı yaklaşık olarak %15-%40 arasında artırılır.

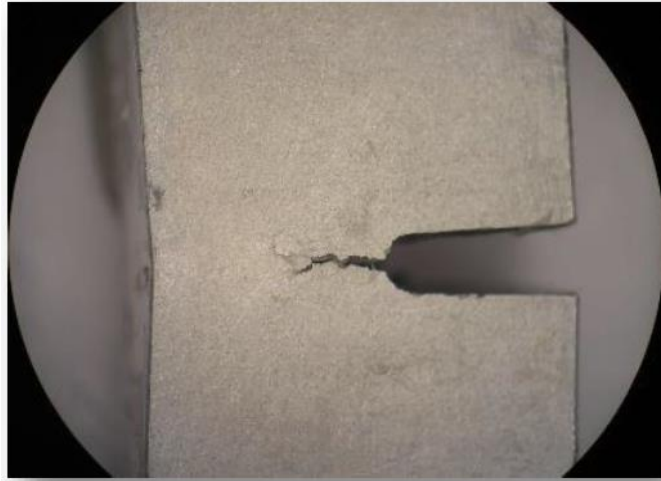
2.5.2 Sıcaklık faktörü

Yorulma mukavemetini azaltan başlıca faktörler arasında sıcaklık artışı bulunmaktadır. Makineler üretim yaparken oluşan sıcaklıktan etkilenecek termal gerilmeye maruz kalabilirler. Oda sıcaklığının altında deney yapılması mukavemetin artmasına sebep olur. Çeliklerle oda sıcaklığında yapılan deneylerde ise çentik etkisi daha fazla olur. Sıcaklık ne kadar azalır malzemede gevreklik o derece artar ve kırılma olayı kolaylaşır[9].

2.5.3 Boyut faktörü

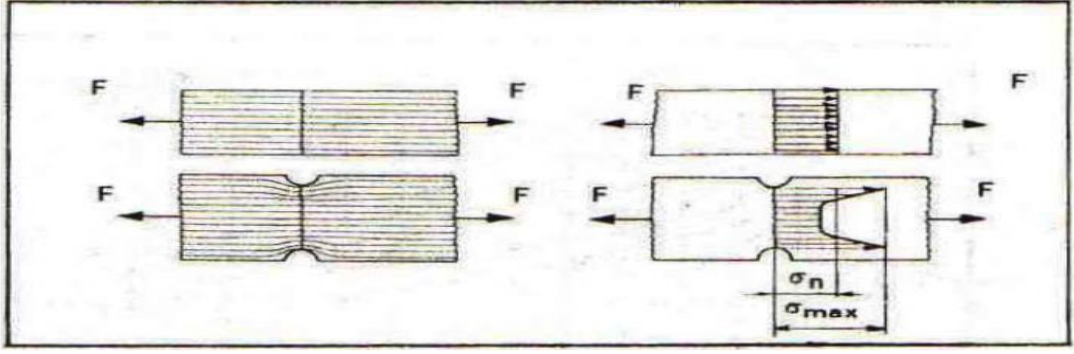
Tekrarlı yük altında yorulmaya uğrayacak deney parçasının boyutları büyüdükçe yorulma mukavemeti azalır.

2.5.4 Çentik Etkisi



Şekil 2.5: Çentikte çatlak oluşumu ve ilerlemesi

Ortalama çapı 10 mm olan parlak yüzeyli deney çubukları kullanılarak sürekli mukavemet sınırı elde edilir. Sürekli mukavemet sınırı deney parçalarındaki delikler, yüzeyde bulunan pürüzler, delikler, ani kesit değişimleri, iç yapıda bulunan boşluk ve çentikler yüzünden düşmektedir. Oluşan bu olumsuzluğa çentik etkisi denir.



Şekil 2.6: Çentik etkisi [2]

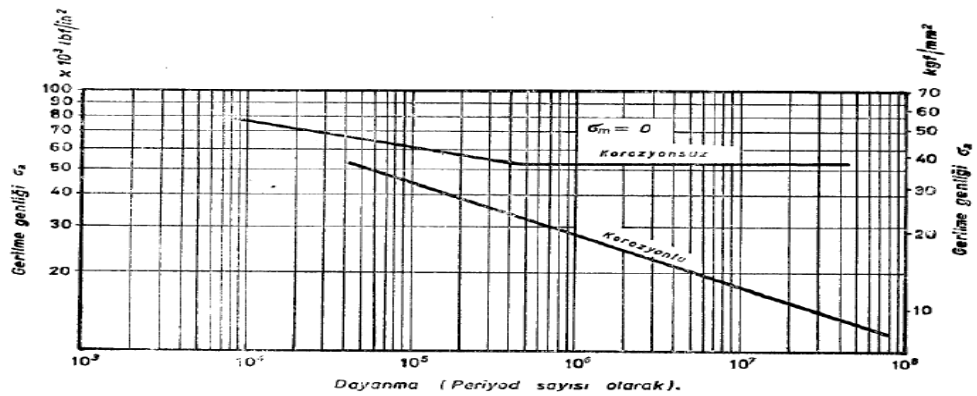
Kaynak: SEÇKİN M., 2010 “Plaka Bağlantı Cıvatalarının Yorulmasının Deneysel Analizi” *Yüksek lisans tezi*, İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, Uçak ve Uzay Mühendisliği ana bilim dalı.

Şekil 2.6 da görüldüğü gibi çentik etkisinden dolayı parça kesitindeki düzgün gerilme dağılımı bozulmakta ve zayıflatılmış bölümlerde gerilme yığılmaları oluşmaktadır ve bu noktalarda maksimum gerilme değerleri elde edilmektedir.

2.5.5 Aşırı Yüklenme

Statik mukavemetten daha düşük gerilme, yorulma mukavemetinden daha büyük gerilme uygulanması olayında, daha az tekrar eden kuvvet sonucunda meydana gelen kırılmaya aşırı yüklenme denir.

2.5.6 Korozyon Etkisi



Şekil 2.7: Korozyonun yorulmaya etkisi (TS-1487) [4]

Kaynak: <https://www.malzemebilimi.net> (Erişim Tarihi 01.05.2019)

Korozif bir ortamda değişken yüklemelerin etkisiyle ortaya çıkan yorulmaya korozyon yorulması denilmektedir. Malzemelerde korozyon varlığı ile birlikte sürekli bir yorulma dayanım sınırından söz edilemez ancak belirli süreli korozyon dayanımı söz konusudur. Şekil 2.7 de görüldüğü gibi korozyon varlığı malzemenin yorulma dayanım sınırını sürekli aşağıya çekmektedir. Korozyonla birlikte yüzeylerde bozuntular ve boşluklar oluştuğundan bu boşlukların yarattığı çentik etkisi yorulma dayanımını azaltıp çatlak ve ilerisinde kırılmalara yol açmaktadır.

2.5.7 Frekansın faktörü

Normal koşullarda frekansın yorulma mukavemeti üzerinde etkisi önemsiz olduğu için tespit edilmemiştir. Bu sebepten dolayı yorulma deneylerini yaparken deney süresini kısaltmak istersek yüksek frekanslı gerilme uygulayan deney makineleri kullanılabilir. Düşük karbonlu çeliklerde, bakırda ve alüminyum alaşımlarda frekansın artırılmasının yorulma dayanım sınırını artırdığı tespit edilmiştir. Fakat yüksek frekanslarda malzemede ısıl gerilmeler oluşur, sebebiyle deney sonuçları olumsuz etkilenebilir.

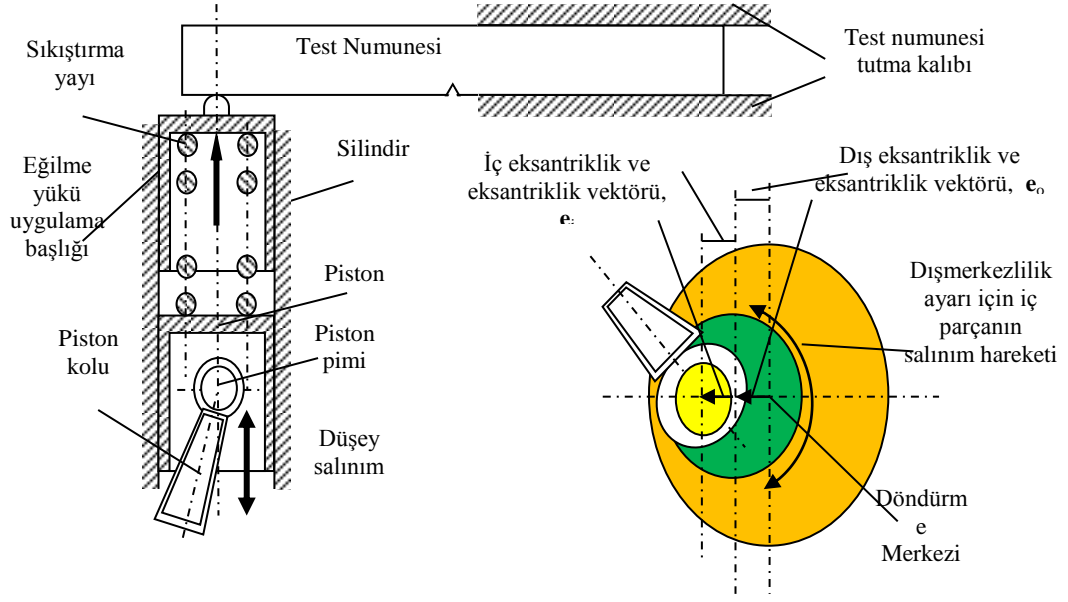
3. TEKRARLI EĞİLME YORULMA DENEYİ MAKİNESİ TASARIMI VE İMALATI

3.1 Amaç

Makine elemanlarında tekrarlı yük altında çalışmasından dolayı yorulma oluşur bunun sonucunda da kırılma olayı gerçekleşir. Yıllardır yapılan birçok deneyde makine elemanlarında tekrarlı gerilmeler olmasıyla akma mukavemetinin altında kırılma olayı gerçekleşir. Gerilmeler başlangıçta küçük olsa da sürekli, çalışma koşullarında bu gerilmelerin şiddeti artarak malzemelerde plastik deformasyonlara neden olur. Bu sebepten ötürü plastik deformasyonların etkisiyle makine elemanlarında kırılma oluşabilir. Yorulmanın sebep olduğu kırılmalar çok kısa ve beklenmedik şekilde gerçekleştiğinden can ve mal kaybı yaşanabilir. Bu nedenle yorulma deneyinin önemi büyüktür. Bizim yaptığımız deney makinesinde çentik açılmış alüminyum (şekil 3.1) de gösterilen charpy v çentikli deney parçası kullanılmıştır.

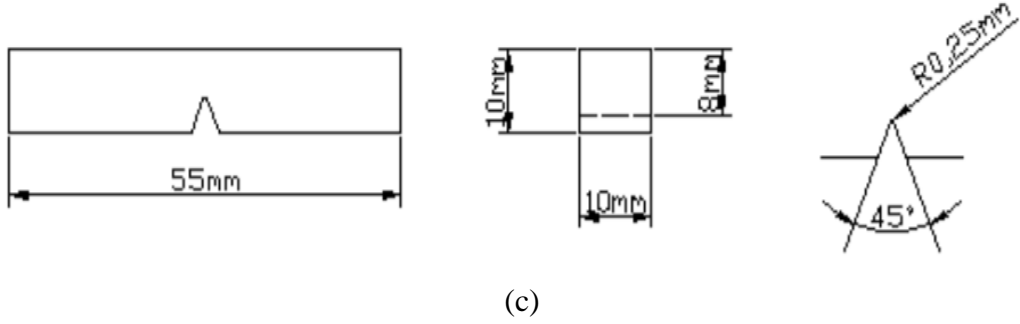
3.2 Mekanizma Tasarımı

Dikey dalgalanma hareketi” elde etmek için 125 cm³ motosiklet silindiri, piston ve bağlantı yolu kullanıldı. Dalgalanmanın stroku, eksantrik olarak işlenmiş iki eleman vasıtasıyla ayarlanabilir olarak tasarlanmıştır. Dış ve iç dışmerkezlik vektörleri şekil 3.1.1 (b) 'de verilmektedir. Vektörlerin uzunluğu sabit olmasına rağmen, toplam eksantriklik, vektör toplamından dolayı iç kısmın bir "sallanma hareketi" ile değiştirilebilir (Denk. 1).Tekrarlı eğilme yorulma deney cihazı tasarlanarak alüminyum parçalardaki yorulma olayını gözlemlemek istedik. Parçalar çizim programı kullanılarak tasarımı gerçekleştirildi. Üretimi yapılan parçalar montajlandı. Makine üretimi tamamlandı.



(a)

(b)



(c)

Şekil 3.1: (a) Makinedeki sıkıştırma yayı vasıtasıyla yük uygulaması,

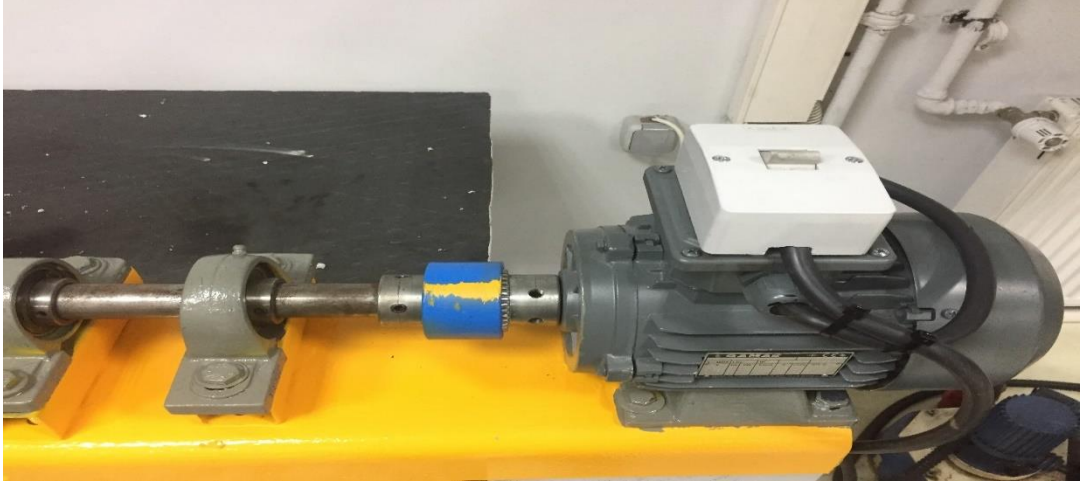
(b) Strok ayarı için eksantriklik vektörleri, maksimum strok şekilde gösterimi

(c) Charpy v çentikli deney parçası

$$\mathbf{e}_t = \mathbf{e}_o + \mathbf{e}_i \quad (3.1)$$

3.3 Tekrarlı Eğilme Yorulma Makinesinin Elemanları

3.3.1 Elektrik motoru



Şekil 3.2: Yorulma makinesi çalıştıran elektrik motoru ve anahtarı

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makineye verilen isimdir. Deney cihazımızda kullandığımız elektrik motoru trifaze olup, 1500 devir ve 0,55kW güç ile çalışmaktadır. Motorumuzun üzerinde rahat kontrol edilmesi için trifaze anahtar bulunmaktadır.

3.3.2 Kavrama

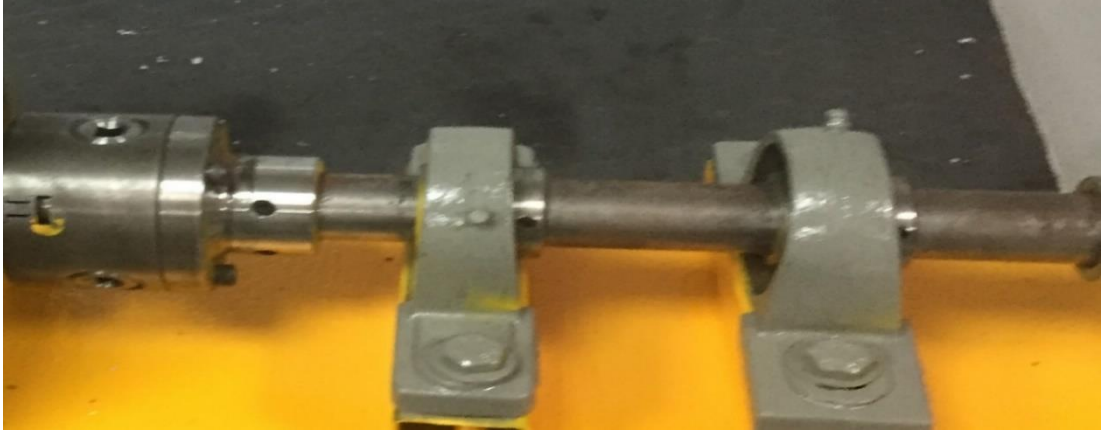
Aynı eksen üzerindeki iki tane mili birbirine sıkı, hareketli, çözülebilir veya esnek şekilde kuvvet ve hareket iletimine aracılık yapan milleri birleştiren makine elemanıdır.



Şekil 3.3: Yorulma makinesi kavrama elemanı

3.3.3 Transmisyon mili

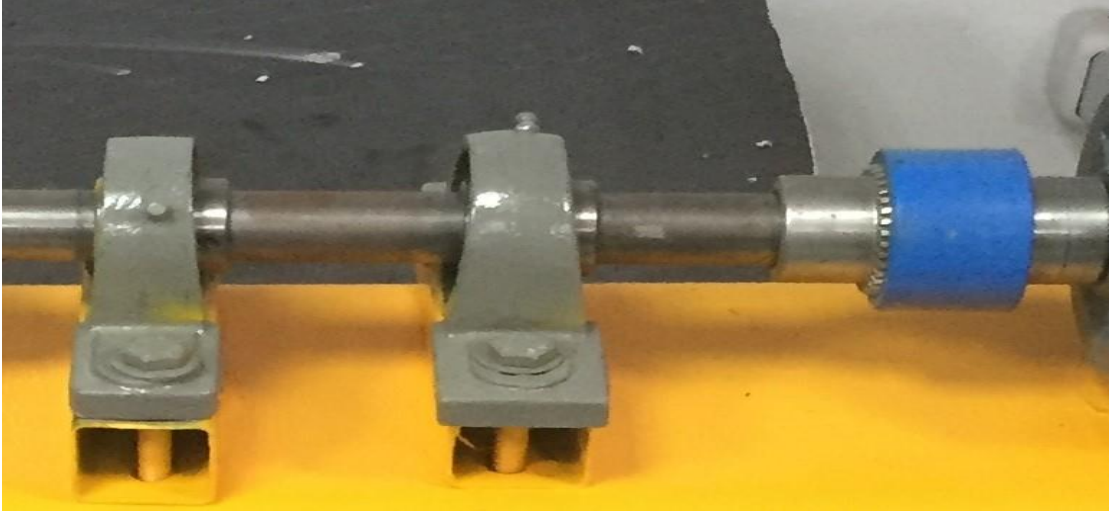
Elektrik motorundan çıkan gücü eksantriğin bağlı olduğu aynaya aktaran makine elemanıdır. 30mm çapında 300mm uzunluğundadır.



Şekil 3.4: Yorulma makinesi transmisyon mili

3.3.4 Rulmanlı yatak

Verilmesi gereken hareketin mümkün olan en az sürtünmeyle kısacası güçten en az ödünü vererek iletimi sağlar. Transmisyon milinin yataklanmasıyla milin ekseni etrafında rahatça dönmesini sağlar. Sistemimizde 30 mm çapında kavrama ile aynı merkezli 2 adet rulmanlı yatak bulunmaktadır.



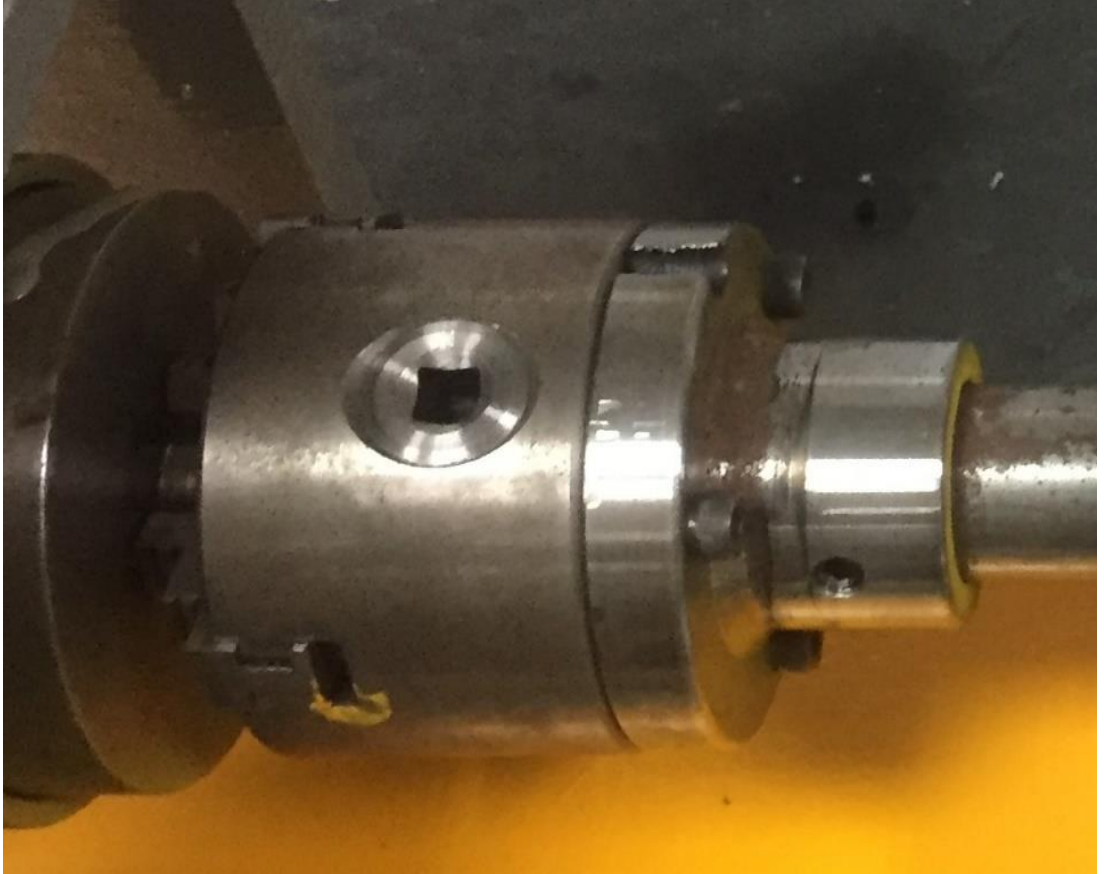
Şekil 3.5: Yorulma makinesindeki rulmanlı yataklar

3.3.5 Ayna adaptörü

Transmisyon milinin aynaya takılan kısmının oluşturur. 80 mm çapında milin aynaya gireceği kısımdır. Yuva çapı 30 mm, derinliği ise 30 mm'dir. (Şekil3.6)'da gösterilmiştir.

3.3.6 Ayna

Aynalar, iş parçalarını sıkı bir şekilde sabitleyerek talaşlı imalat işlerini yapmamıza olanak sağlarlar. Parçaların güvenli ve sıkı bir şekilde bağlanmasıyla beraber zaman tasarrufu edilmesinde etkili olmaktadır. Biz tasarımımızda eksantriğimizi bağlamak amaçlı ayna kullandık.



Şekil 3.6: Yorulma makinesinde kullanılan ayna adaptörü ve ayna

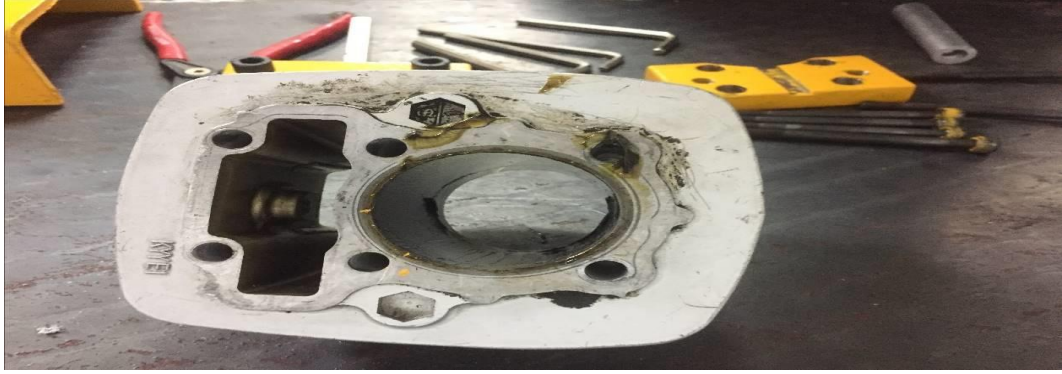
3.3.7 Biyel Kolu-Piston Bağlantısı

Eksantrik milinin hareket etmesiyle, aşağı yukarı doğru harekete ederek motor bloğunun içindeki yayı sıkıştırır ve kapağın deney parçasına kuvvet uygulamasına sebep olur.



Şekil 3.7: Biyel kolu-Piston bağlantısı

3.3.8 Motor Bloğu



Şekil 3.8: Makinede kullanılan 125cm³'lük motor bloğu

125 cm³ hacminde motor bloğunu kullandık. Eksantriğin dönmesi ile pistonun içerisinde aşağıya ve yukarıya hareket ettiği makine elemanıdır. Numunenin sabitleneceği kalıpta motor bloğunun üstüne sabitlenmiştir.

3.3.9 Kapak ve yay



Şekil 3.9: Numuneye kuvvet uygulayan kapak ve Yay

Yay motor bloğunun içinde kapak ve piston arasında yer alır. Pistonun sıkıştırmasıyla yayın sıkıştırma kuvvetini kapağa uygular, kapakta aynı kuvveti numune üzerine uygular.

3.3.10 Eksantrik Elemanları

Eksantrik orta plaka ve eksantrik arka plaka parçalarının merkezlerinin kaçıklığıyla oynayarak strok aralığı değiştirilebilir. Strok ayarını eksantriğin ön parçasında bulunan iki adet civatayı gevşeterek yerinden çıkarmadan ayar pensemiz(şekil 3.11) ile yapılmaktadır. Eksantrik mili ise biyele geçen parçadır. Biyelin çıkmaması için mile segman dişi açılarak segman atılmıştır. Strok ayarımızın ölçümünü komparatör saati sayesinde yapabiliyoruz(şekil 3.10).



Şekil 3.10: Strok ayarının ölçümü



Şekil 3.11: Strok ayar pensesi

3.3.11 Deney parçası sabitlenecek kalıp ve motor bloğunun sabitlenmesi

Deney parçasının sabitlenme kalıbı 2 parçadan oluşmakta alt parçası 20mm kalınlığı merkezinde deney parçasının oturacağı 10 mm genişliğinde 3 mm derinliğinde kanal bulunmaktadır. Üzerinde 4 adet M8 delik ile motor bloğunun sabitleme parçasına tutturularak hem motor bloğunu sabitler, hem de deney malzemesinin alt kalıbını oluşturmaktadır.

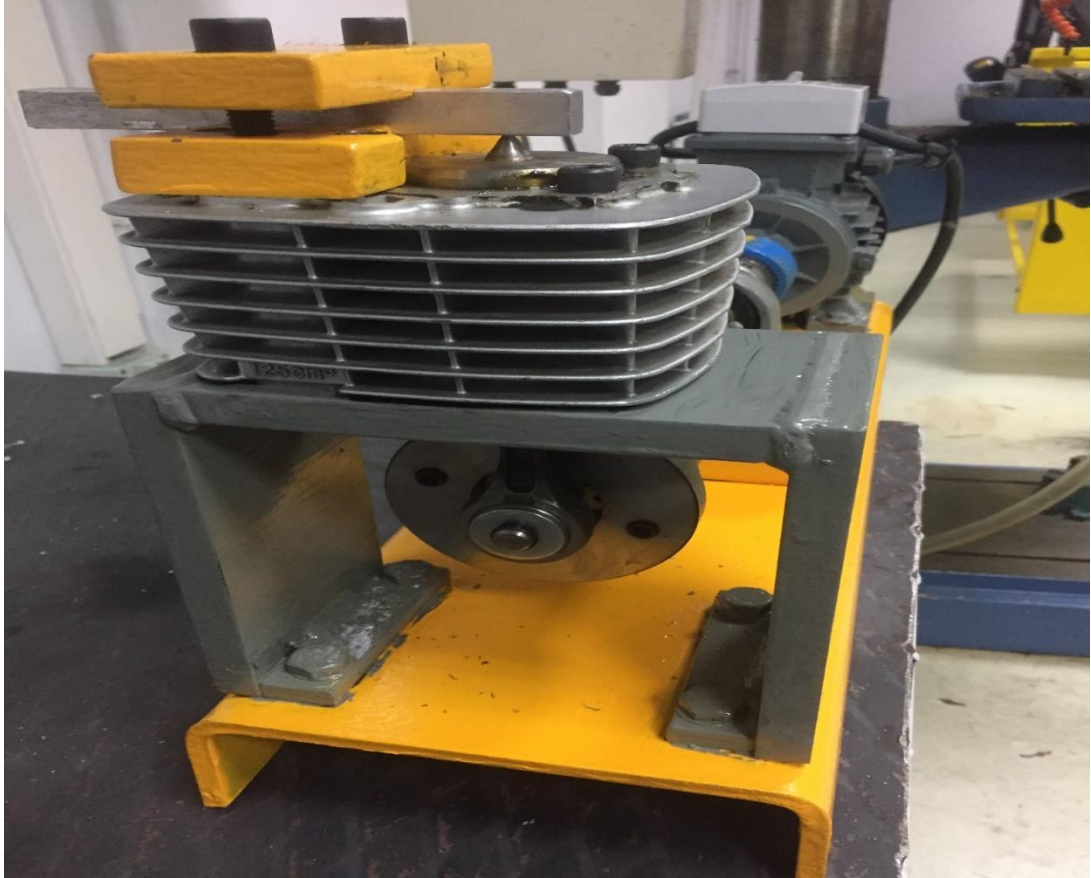
Kalıbın üst parçası 15 mm kalınlığında olup merkezine 10 mm genişliğinde 3 mm derinliğinde kanal açılmıştır. Kalıbın alt parçasına sabitlemek için kenarlarından 14 mm merkez alınarak 2 adet M10 delik açılıp alt parçadaki dişlere sıkıştırılmıştır.



Şekil 3.12: Deney Kalıbının Alt Sabitleme Parçası



Şekil 3.13: Deneş Kalıbının Üst Sabitleme Parça



Şekil 3.14: Deneş parçası ve motor bloğunun sabitleşmesi

4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

4.1 Yay Katsayı Hesabı

Yakın sarımlı helisel basma yaylarının yay katsayıları, yaya ait geometrik büyüklükler (d = tel çapı(mm), D = Ortalama sarım çapı (mm), n_a = aktif sarım sayısı, G Yay çeliği kayma modülü(N/mm^2)) kullanılarak ve $C = D /d$ (yay oranı) büyüklüğü hesaplanarak belirlenmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan iki farklı yay için, yay katsayısı hesabı aşağıda açıklanmaktadır.

$$k = (G * d) / (8 n_a * C^3) \quad (4.1)$$

$$G = 80000N/mm^2$$

$$d_1 = \text{yay tel çapı} = 4,6 \text{ mm}$$

$$n_{a,1} = \text{sarım sayısı} = 4,5$$

$$C_1 = D/d \quad D = \text{ortalama yay çapı (yayın dış sarım çapı-yay tel çapı)}$$

$$D_1 = 31 \text{ mm} - 4,6 \text{ mm} = 26,4 \text{ mm}$$

$$C_1 = \frac{26,4\text{mm}}{4,6 \text{ mm}} = 5,74$$

$$k_1 = (80000 \text{ N/mm}^2) \times (4,6\text{mm}) / ((8) \times (4,5 \text{ mm}) \times (5,74)^3) = 54,0 \text{ N/mm}$$

olarak elde edilmiştir. (4.2)

Kullanılan ikinci yaya ait olan büyüklükler kullanılarak ikinci yay katsayısı da;

$$d_2 = \text{yay tel çapı} = 4,0 \text{ mm}$$

$$n_{a,1} = \text{sarım sayısı} = 4,5$$

$$C_1 = D/d \quad D = \text{ortalama yay çapı (yayın dış sarım çapı-yay tel çapı)}$$

$$D_1 = 30,5 \text{ mm} - 4,0 \text{ mm} = 26,5 \text{ mm}$$

$$C_1 = 26,5 / 4,0 = 6,63$$

$$k_2 = (80000 \text{ N/mm}^2) \times (4,0 \text{ mm}) / ((8) \times (4,5 \text{ mm}) \times (6,63)^3) = 30,5 \text{ N/mm} \quad (4.3)$$

olarak elde edilmiştir.

4.2 Yay Kuvveti Hesabı

Yay kuvveti aşağıdaki formülden bulunmaktadır.

$$F_{YAY,i} = (k_i) \cdot (x_i) \quad (4.4)$$

k_i = Kullanılan yayın yay katsayısı(N / mm) ve,

x_i = Hesaplanan yay için sıkışma miktarı(mm).

Yayın sıkışma miktarı =1 mm den başlayarak ve 1'er mm aralıklarla 5 mm kadar kuvvet değerleri hesaplanmış ve Tablo 4.1 'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Yayın sıkışma miktarı ile uygulanabilen maksimum itme kuvveti değişimi.

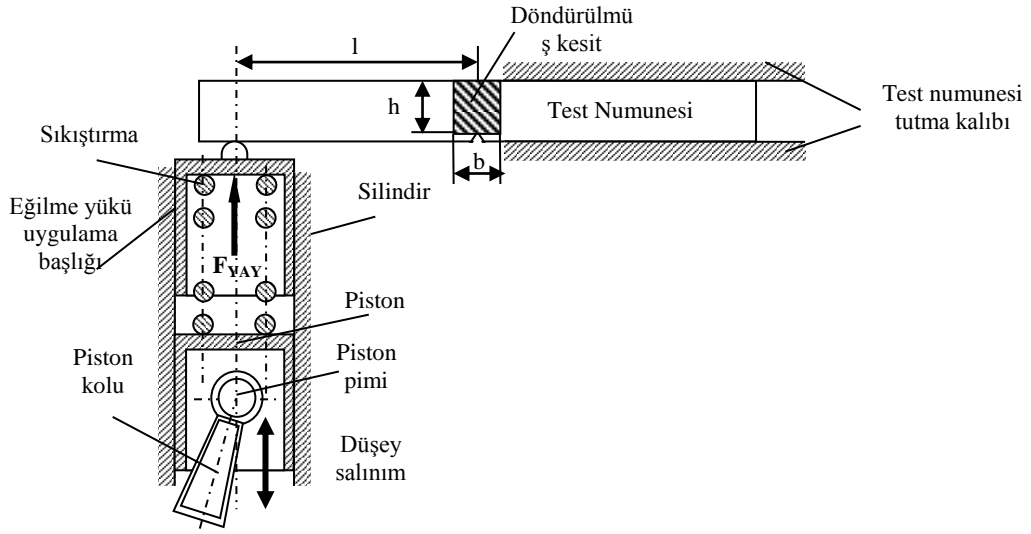
x (mm)	K ₁ (N/mm)	K ₂ (N/mm)	F _{YAY,1} (N)	F _{YAY,2} (N)
1	54,0	30,6	54,0	30,6
2	54,0	30,6	108,0	61,2
3	54,0	30,6	162,0	91,8
4	54,0	30,6	216,0	122,4
5	54,0	30,6	270,0	153,0

4.3 Maksimum Gerilme Ve Momentlerin Hesabı

Yorulma makinasının strok değeri (çalışmada 3,18 mm olarak ayarlanmıştır) büyüklüğü, boшта hareket nedeniyle tamamen kullanılamamakta, ancak 1,28 mm lik sıkışma miktarı yay kuvvetinin oluşturulmasında kullanılabilmiştir.

Bu durumda daha yüksek rijitlikteki birinci yayda $F_{YAY,1} = 69,1 \text{ N}$ ve, daha düşük rijitlikteki ikinci yayda ise $F_{YAY,2} = 39,0 \text{ N}$ 'luk yay kuvveti değerleri kullanılmıştır.

Yay kuvveti değerleri numunelerdeki $b = 10 \text{ mm}$ ve $h = 8 \text{ mm}$ değerleri ile birlikte, kuvvet uygulama noktası ile çentik dibi arasındaki yatay mesafe (l) değerleri değiştirilerek dört farklı eğilme maksimum gerilmesi elde edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Yorulma makinasında eğilme yükü uygulama ve geometrik büyüklükler.

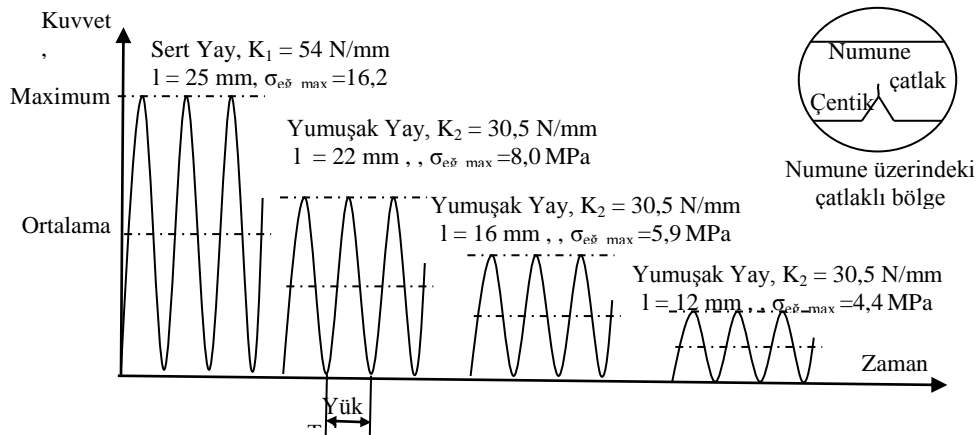
Numunede en çok zorlanan çentikli bölgedeki geometrik büyüklükler ile yay kuvveti değerleri kullanılarak ortaya çıkan maksimum tekrarlı eğilme yorulması zorlamaları Şekil 4.2 deki diyagramda gösterilmektedir.

b = numunenin eni = 10 mm, h = V- çentiği üst noktasından parçanın yüksekliği = 8 mm, kesit eğilme mukavemet değeri; $W_e = (b.h^2) / 6 = 106,67 \text{ mm}^3$ olarak hesaplanmıştır.

$$M_e = (F_{YAY,i}) \cdot (l_i) \text{ eğilme momenti, (4.5)}$$

Deneysel çalışmada, iki farklı rijitlikteki yay ve dört farklı yatay mesafe (l_i) değeri olarak dört farklı yorulma zorlaması koşulu oluşturulmuştur. (Şekil 4.2)

$$\sigma_{eğ, \max} = M_e / W_e \text{ eğilme gerilmesi, (4.6)}$$



Şekil 4.2: Deneysel çalışmada elde edilen tekrarlı eğilme gerilmeleri

4.4 Deney Sonuçları ve İrdeleme

Sunulan tez çalışmasında, tekrarlı eğilme yüklemesi uygulamak üzere geliştirilen bir yorulma makinası geliştirilmiş ve söz konusu makine kullanılarak charpy-V çentikli deney parçalarına yorulma yüklemeleri uygulanmıştır.

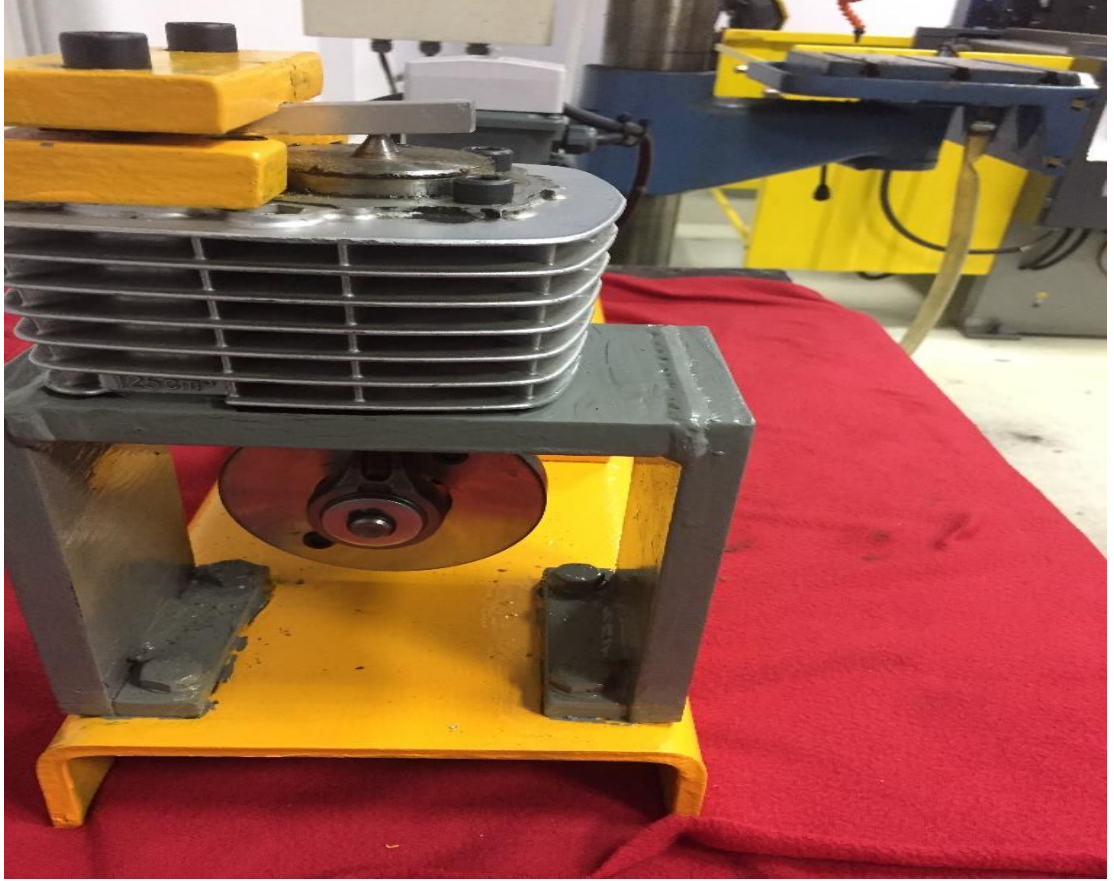
Laboratuvarda daha önce imal edilmiş olan “tekrarlı eğilme yorulma makinası” sessiz, kullanışlı ve tekrarlanabilirliği arttırılmak üzere geliştirilmesi sağlanarak, 10x10 mm kare kesitli alüminyum cubuklardan kesilerek hazırlanan deney parçalarına yorulma yüklemesi uygulanmış ve yorulma çatlakları oluşturulmuştur.



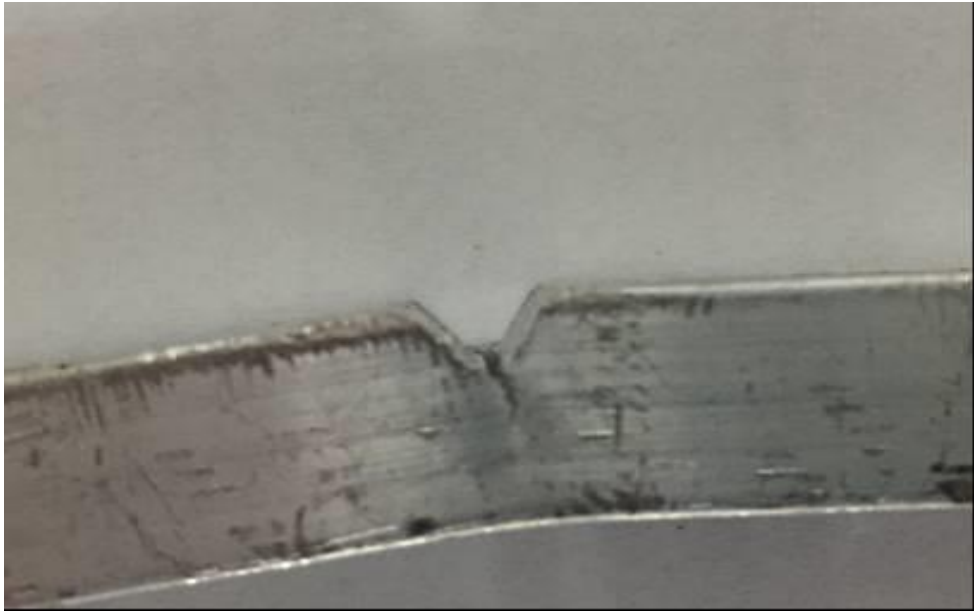
Şekil 4.3: Charpy parçasına çentik açma



Şekil 4.4: Deney parçamız makinede tekrarlı yüke tabi tutulurken



Şekil 4.5: Deney parçamızda gerilmeler sonucu yorulma çatlak oluşması



Şekil 4.6: Charpy parçasında yorulma çatlak görünümü

Fotoğraflardan da görüldüğü üzere 10x10 mm kesitli 55 mm uzunluğunda charpy deney parçaları 1500 devir/dakika dönme hızında çalışan trifaze elektrik

motorunun zorlaması ile 1 dakika içinde hızlı bir çatlak oluşumu gerçekleşmiştir. Bu durum makinadaki ilave atalet kuvvetleri ile çentik etkisinin detaylı olarak dikkate alınmamasından kaynaklanmaktadır.

Daha düşük rijitlikteki ikinci bir helisel yay imal ettirilerek ve, çentik bölgesi kuvvet uygulama noktasına yaklaştırılarak, çentikli bölgenin daha az zorlanması sağlanabilmiş, numunenin elastik sınırlar içinde kalması sağlanmış çatlak oluşma süresi “Uzun Ömürlü Yorulma” bölgesi içine çekilebilmiştir. .

Geliştirilerek imal edilen “tekrarlı eğilme yorulma makinası” nın kabul edilebilir bir tekrarlanırlığa sahip olduğu gösterilmiş olmasına rağmen, deneysel çalışma kalitesinin yükseltilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

Çalışma, kurumumuzda bu yöndeki diğer çalışmalar için deneysel bir alt yapı oluşturmuş olması itibariyle başarılı kabul edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.eyupyaylaci.com> (Erişim Tarihi 08.03.2017)
- [2] SEÇKİN M., 2010 “Plaka Bağlantı Cıvatalarının Yorulmasının Deneysel Analizi” *Yüksek lisans tezi*, İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, Uçak ve Uzay Mühendisliği ana bilim dalı.
- [3] Prof. Dr. İrfan Kaymaz “Yorulma ile ilgili temel bilgiler” ders notu, Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği, Erzurum TÜRKİYE
- [4] <https://www.malzembilimi.net> (Erişim Tarihi 01.05.2019)
- [5] Başkent Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı “YORULMA TESTİ DENEYİ RAPORU” 02.05.2011 Ankara TÜRKİYE
- [6] <https://www.muhandisce.net> (Erişim Tarihi 21.03.2019)
- [7] ALKAN M, AĞCABAL N, Tekrarlı Eğilme Yorulma Makinesi Tasarımı ve Test Çalışmaları *Lisans bitirme tezi*, İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Haziran 2016
- [8] <http://www.kuark.org/> , (Erişim Tarihi:01.05.2019)
- [9] Özmen, D. “Yarı Otomatik Av Tüfeği Mekanizmasının Yorulma Dayanımının Analizi” Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2007)
- [10] <http://docplayer.biz.tr/> , (Erişimtarihi:24.05.2019)

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mustafa YILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri: 18.03.1993 / Keşan
E-posta : mustafayilmzz222@gmail.com
Öğrenim Durumu



- **Yüksek Lisans :** İstanbul Aydın Üniversitesi
Makine Mühendisliği Fakültesi
Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans 2016-2020
- **Lisans :** İstanbul Aydın Üniversitesi
Makine Mühendisliği Fakültesi
Makine Mühendisliği 2011-2016
- **Lise:** Keşan lisesi 2007-2011

Mesleki Deneyim

Mevag Teknik Tic. Ve San. A.Ş. : Teknik destek ve Satış Sorumlusu
Ağustos 2016 – Mayıs 2017

Aksen İnşaat: Saha mühendisi
Haziran 2017 – Temmuz 2018

Akyl Mekanik Mühendislik: Şantiye Şefi
Temmuz 2018 – Mayıs 2019

Kaptan Mekanik Mühendislik San. Ve Tic. Ltd. Şti. : Şirket Müdürü, Şirket Ortağı
Ağustos 2019-.....

Mevag Teknik Tic. Ve San. A.Ş.: Stajyer
Haziran 2016 – Ağustos 2016

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

“DEVELOPMENT AND MANUFACTURING OF A LABORATORY TYPE REPEATED BENDING FATIGUE MACHINE”, IJEMME 2019
(Yayın Kabul Yazısı bulunmaktadır)