



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKSANTRİK TAHRİKLİ YAY YORULMA CİHAZI

TASARIMI VE İMALATI

Mahmut BURHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKSANTRİK TAHRİKLİ YAY YORULMA CİHAZI TASARIMI VE İMALATI

Mahmut BURHAN

Doc.Dr. Kadir ÇAVDAR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKSANTRİK TAHRİKLİ YAY YORULMA CİHAZI
TASARIMI VE İMALATI

Mahmut BURHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez/...../200... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Doc.Dr.
Kadir ÇAVDAR

Yrd.Doc.Dr
Erol SOLMAZ

Yrd.Doc.Dr.
Mehmet AKANSEL

Danışman

ÖZET

Bu çalışmada, eksantrik olarak tahrik edilen bir yay yorulma test cihazının tasarım ve imalat aşamaları açıklanmaktadır. Yaylarda yorulma en önemli hasar nedenlerinden bir tanesidir. Bu nedenle yayların ömrünün doğru şekilde tespiti için deneyler önem taşımaktadır. Literatürde yer alan öneriler dikkate alınarak imal edilmiş olan yay yorma cihazı ile gerçekleştirilen ilk deneysel sonuçlar da yayında yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yay, yorulma, cihaz tasarımı, Wöhler

ABSTRACT

In this study, the design and manufacturing steps of the fatigue test device with eccentric incited is investigated. One of the most important factors that affect the life of a spring is fatigue. Therefore, in order for forecasting the lifetime of a spring, fatigue tests play a crucial role. By taking into account the advices and applications in the literature; a spring fatigue test device is manufactured.

Key Words: spring, fatigue, device design, Wöhler.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

TEZ ONAY SAYFASI	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
KISALTMALAR DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
SİMGELER DİZİNİ	XI
GİRİŞ	1
1.KAYNAK ÖZETLERİ	2
1.1 Yaylar Hakkında Genel Bilgi	2
1.1.1 Başlıca Kullanım Alanları	3
1.1.1.1 Yayların başlıca kullanım alanları	3
1.1.2 Yayların Sınıflandırılması	5
1.1.3 Yayların Karakteristiği	5
1.1.4 Yay Sisteminde Rijitlik	6
1.1.4.1 Paralel bağlı yaylar	6
1.1.4.2 Seri bağlı yaylar	7
1.1.5 Helisel Yay Çeşitleri	9
1.1.5.1 Helisel bası yayları	9
1.2 Yaylarda Malzeme Seçimi	17
1.2.1 Yayların Sahip Olması Gereken Özellikler	17
1.2.2 Yay Teli Malzemeleri	19
1.3 Malzemelerde Yorulma	21
1.3.1 Çevrimli yüklemenin tanımı	22
1.3.2 Gerilme – Ömür Eğrileri	23
1.4 Yorulma Mekanizması	25
1.4.1 Çatlak başlaması	25
1.4.2 Kayma bantı gelişimi	26
1.4.3 Yüksek çekme gerilmesine sahip düzlemlerde çatlak gelişimi	26
1.4.4 Son safha	26
1.5 Çatlağın İlerlemesi	28
1.6 Yorulmaya Tesir Eden Faktörler	30
1.6.1 Gerilme Yoğunlaşması	30
1.6.2 Boyut	30

1.6.3 Yüzey Etkileri	30
1.6.4 Sıcaklık	32
1.6.5 Frekans	32
1.6.6 Metalürjik Değişmeler	33
1.7 Yaylarda Yorulma	34
1.7.1 Yayların Yorulma Deneylerinde Takip Edilecek Temel Esaslar	35
1.7.2 Yayların Yorulma Performanslarına Etki Eden Başlıca Faktörler	36
1.7.3 Yay Kırılmasının Nedenleri	36
1.7.3.1 Sık görülen kırılma nedenleri	36
1.7.3.2 Orta sıcaklıkta görülen kırılma nedenleri	37
1.7.3.3 Nadiren görülen kırılma nedenleri	37
1.8 Yay Yorulma Test Cihazları	38
2. MATERYAL VE YÖNTEM	43
2.1 Yay Yorulma Makinesinin tasarımı ve İmalat Aşamaları	43
2.1.1 Makinenin tasarımı	43
2.1.2 Makinenin tasarımında göz önünde bulunulacak hususlar	43
2.1.3 Tasarımda ki aşamalar	43
2.1.4 Mekanik tasarımcının sorumluluğu	45
2.2 Makinenin İmalat Aşamaları	46
2.3 Makinenin Montaj Aşaması	48
2.4 İmalat Aşamasında ki İşlem Sıraları	49
2.5 Eksantrik tahrikli Yay Yorulma Makinesi	50
2.6 İmal Edilen Makinenin Montaj Resmi, Bazı Kesit Resimleri, Parçalara Ait Bazı Teknik Resimler ve Bilgiler	53
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	63
3.1 Yapılan Deneyler ve Deney Sonuçları	63
3.1.1 Numune Yayların Rijitlikleri ve Hesaplamaları	63
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	70
4.1 İmal Edilen Cihazda ki Aksaklıklar ve İyileştirmeler	70
4.2 Tasarlanan Yeni Cihaz	71
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	76
TEŞEKKÜR	77

KISALTMALAR DİZİNİ

MS	Milattan sonra
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Derneđi
PSB	Devamlı kayma bantı
Mo	Molibden
Cr	Krom
Ni	Nikel
ASME	Amerikan Makine Mühendisleri Derneđi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
DIN	Alman Sanayi Standartları
Dev	Devir
Dak	Dakika
www.	World wide web

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelgeler		Sayfa
Çizelge 1.1	Helisel basma yaylarının uç biçimleri ve sarım sayıları	12
Çizelge 1.2	ASTM standart malzemelere göre katsayılar	18
Çizelge 1.3	ASTM standart malzemelere göre oranlar	19
Çizelge 1.4	Yay teli malzemeleri özellikleri	20
Çizelge 2.1	Makinenin imalat parçaları ve adetleri	53
Çizelge 3.1	Yaylara göre kuvvet sıkışma değerleri	63
Çizelge 3.2	Uygulanan kuvvet karşısında ki sıkışma değerleri	64
Çizelge 3.3	Yayların rijitlik değerleri	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekiller Dizini	Sayfa	
Şekil 1.1	Değişik yay örnekleri	2
Şekil 1.2	Debriyaj balatası ve tamburlu fren	3
Şekil 1.3	Darbe emici ve otomobil süspansiyonu	4
Şekil 1.4	Kepen	4
Şekil 1.5	Yayların Sınıflandırılması	5
Şekil 1.6	Çeşitli yay karakteristikleri	6
Şekil 1.7	Paralel bağlı yay sistemi	7
Şekil 1.8	Seri bağlı yaylar	8
Şekil 1.9	Helisel bası yayları	9
Şekil 1.10	Helisel bası yay çeşitleri	10
Şekil 1.11	Helisel bası yay parametreleri ve açıklamaları	11
Şekil 1.12	Helisel bası yayı uzunlukları	11
Şekil 1.13	Helisel bası yaylarına uygulanan kuvvet	13
Şekil 1.14	Yay Karakteristiği	14
Şekil 1.15	Helisel bası yaylarında oturma tipleri ve ilgili oturma katsayıları	16
Şekil 1.16	Gerilme-uzama eğrisi	17
Şekil 1.17	Yorulma Parametreleri	22
Şekil 1.18	Wöhler eğrisindeki sürekli ve sürekli bölgeler	23
Şekil 1.19	Alüminyum ve çelik malzemeler için σ -N eğrisi	24
Şekil 1.20	Orta mukavemetli çelikler için $\sigma - N$ eğrisi	25
Şekil 1.21	Çatlağın başlangıç, yayılma ani kırılma bölgelerini gösteren çelik bir milde ki yorulma kırığı yüzeyinin resmi	26
Şekil 1.22	Çatlak oluşumunun şematik olarak gösterilmesi	27
Şekil 1.23	Çatlak gelişimi şematik olarak gösterimi	29
Şekil 1.24	İkinci safhada çatlak gelişiminin şematik olarak görünümü	29
Şekil 1.25	Çeliklerin yorulma özelliklerinde yüzey şartlarının etkisi	31
Şekil 1.26	Laboratuvar tipi bir yay yorma makinesi tasarımı	39
Şekil 1.27	Helisel yayların statik karakteristiklerini ölçme ve kontrol etme cihazı	40
Şekil 1.28	Yay yorma test cihazı	42
Şekil 2.1	Tasarımda ki aşamalar	44
Şekil 2.2	Makinenin üretim aşamasında ki hali	47
Şekil 2.3	Makinenin montaj aşamasından ve boyandıktan sonraki hali	48
Şekil 2.4	Makinenin eksantrik bölümünden bir görüntü	49
Şekil 2.5	Eksantrik tahrikli yay yorma makinesi	52
Şekil 2.6	Yayların yataklandığı bölüm	54
Şekil 2.7	Tahrik bölümü kesit resmi	54
Şekil 2.8	Makinenin önden görünümü	55
Şekil 2.9	Tahrik grubu	55
Şekil 2.10	Makinenin Üstten görünümü	56
Şekil 2.11	Ana gövde detay görünüm	56
Şekil 2.12	Ana gövde	57
Şekil 2.13	Eksantrik mil	58

Şekil 2.14	Üst plaka	59
Şekil 2.15	Alt ayarlı plaka	60
Şekil 2.16	Makine konsolu	61
Şekil 3.1	3,11,12 nolu yaylar için rijitlik grafiği	65
Şekil 3.2	1,4,8,18 nolu yaylar için rijitlik grafiği	65
Şekil 3.3	Kırılan yayın kesit resmi	69
Şekil 4.1	Tasarlanan yeni konstrüksiyon	71
Şekil 4.2	Yeni tasarımın önden görünümü	72
Şekil 4.3	Baskı mesafesinin detay resmi	72

SİMGELER DİZİNİ

Simge

F	Kuvvet
δ	Sapma miktarı
c	Yay sistemi rijitliği
s	Yay kapanma mesafesi
d	Tel çapı
L_f	Serbest uzunluk
α	Adım açısı
D_0	Dış çap
D	Anma çapı
P	Adım
D_i	İç çap
N_a	Aktif sarım sayısı
L_s	Kapama boyu
C	Yay indeksi
G	Kesme modülü
$\tau_{\max}$	Kesme gerilmesi
K_s	Düzeltilme faktörü
E	Elastite modülü
δ_{cr}	Kritik burulma sapması
ν	Possion oranı
f_n	Doğal frekans
γ	Malzeme yoğunluğu
σ	Eğilme gerilmesi
$\Delta\sigma$	Gerilme değişimi
σ_0	Ortalama gerilme
σ_g	Gerilme genliği
R	Gerilme oranı
N	Çevrim sayısı
a	Çatlak boyu
PBS	Devamlı kayma bandı
ΔK	Gerilim şiddet
m	Malzemeye bağlı sabittir.

GİRİŞ

Yaylar, kendilerine uygulanan kuvvetin etkisi altında deformasyon gösteren ve bu deformasyon esnasında enerji biriktiren makine elemanlarıdır. Endüstride yayların çok çeşitli uygulamaları vardır. Yaylar, bir makinede veya sistemde kuvvet uygulamak, hareketi kontrol etmek/sınırlandırmak, sönümleme yapmak, frekans değiştirmek, kuvvet ve moment ölçmek gibi birçok işte kullanılabilirler. Yay malzemesi olarak sıklıkla metal kullanılmasına rağmen plastik gibi farklı malzemelerden imal edilmiş yaylar da mevcuttur.

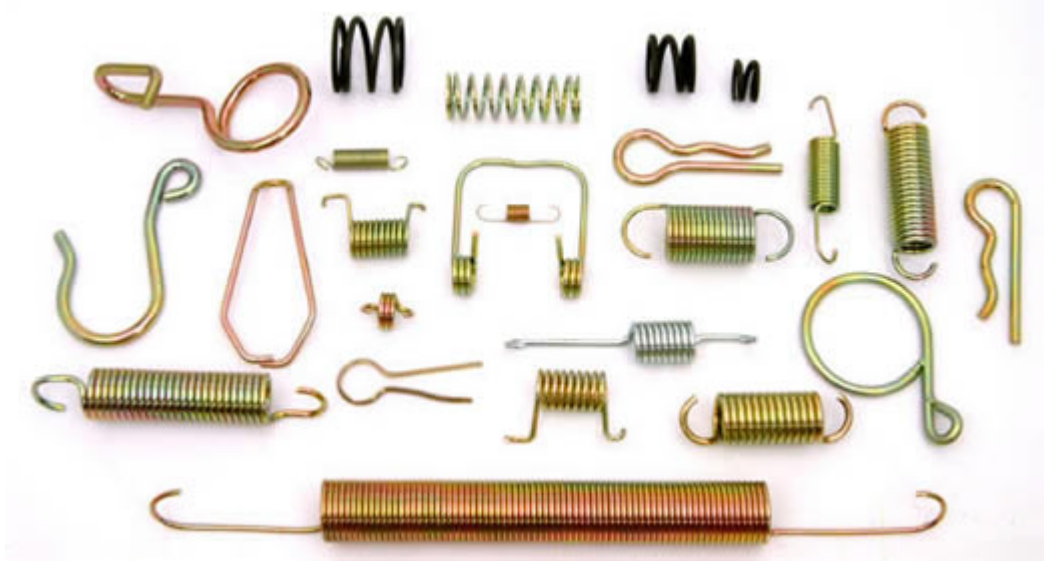
Değişken (dinamik) gerilmelere maruz makine elemanlarında gerilmelerin maksimum değerleri yerine bunların periyodik değişimi yani tekrarı önem taşır. Tekrarlanan kuvvetlerin oluşturduğu gerilmeler sonucu malzemedeki kopma olayı statik sınırların çok altında meydana gelebilir. Bu olaya *yorulma* denir. Eleman kırılıncaya dek geçen süreye de elemanın ömrü denir. Genellikle elemanın ömrü gerilme değişim sayısıyla tarif edilir. Değişken zorlamada kopma iç bünyede hata bulunan yerinden veya dış yüzeyde zayıf bir noktadan başlar. Bu nokta civarındaki malzeme önce yorulur ve daha sonra bir çatlak meydana gelir. Zamanla bu çatlak gittikçe derinleşir ve en sonunda çatlağın dışındaki bölgede gerilme mukavemet sınırını aşınca, malzeme yükü kaldıramaz olur ve burada birdenbire kırılır.

Yayların şekil değiştirme ve yükleme karakteristikleri kullanıldıkları uygulama alanlarına göre değişim gösterir. Yaylar boyutlandırılırken bu karakteristiklere göre yay teli çapı, sarım çapı gibi parametreleri uygun yaklaşımlara göre belirlenir. Ancak yayların ömürleri konusunda henüz yeterli çalışma literatürde yer bulamamaktadır. Dinamik yüklemeye maruz kalan yaylar için yapılan tasarımlar da bu nedenle eksik kalmakta ve yay kırılması nedeni ile makine fonksiyon kayıplarına sıklıkla rastlanmaktadır. Özellikle kalıp yayı ve eleklerde kullanılan yaylarda ömür açısından deneysel çalışmalara ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

1.KAYNAK ÖZETLERİ

1.1 Yaylar Hakkında Genel Bilgi

Yaylar kuvvetlerin etkisi altında büyük elastik şekil değiştirme gösteren ve kuvvet kaldırıldığında eski haline dönen elemanlardır. Yaylar, yük altında şekil değiştirme sırasında bir enerji biriktirirler ve bunu yük kaldırıldığında kısmen geri verirler.



Şekil 1.1 Değişik yay örnekleri [http://www.batiyay.com.tr, 2008]

Temel mekanizmaların olduğu gibi metal yayların ortaya çıkışı Bronz çağına dayanır. Metal yayların kullanımından önce ağaç gibi bitkisel ve hayvansal esaslı malzemelerde yapılmış esneklik kabiliyeti olan yaylar elde edilmiş ve ok yaylarında ve mancınık gibi silahlarda kullanılmışlardır. Daha hassas yaylar MS. 1400'lü yılların ortalarına doğru yeni ortaya çıkan mekanik saatlerin vazgeçilmez elemanı olmuşlardır. Daha sonraları yay kendi kendine gidebilen basit araçların tasarımında yer almaktadır. Buhar makinelerinin ortaya çıktığı devirde yaylar mekanizmaların vazgeçilmez unsurudur. Tel ve şerit malzemelerden üretilmektedirler. Tekstil makinelerinde, preslerde, buhar makinelerinde, silahlarda kısaca otomatik hareketlerin bulunduğu her alanda kullanımı artmıştır.

Yeni çeşitleri ile, daha dayanımlı malzemeler kullanılmakta, hidrolik, pnomatik ve bilgisayar kontrollü tezgahlarda daha hassas, daha ekonomik ve uzun ömürlü olarak üretilmektedirler.

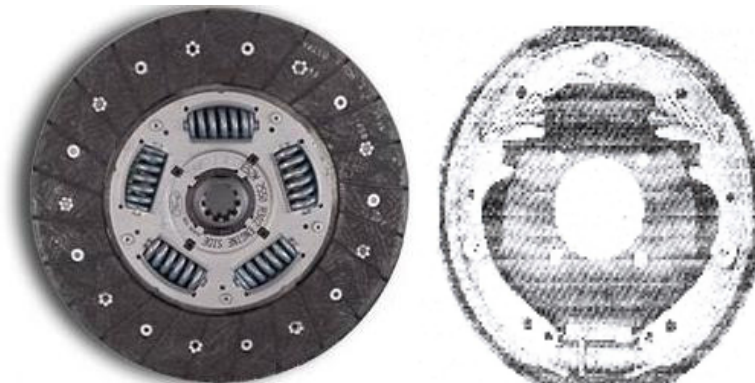
1.1.1 Başlıca Kullanım Alanları

- Makineler
- Kavramalar – Frenler
- Araçlar ve Süspansiyon Sistemleri
- Tarım Aletleri
- Elektrik, Elektronik Sanayi
- Mobilya Sektörü
- Demiryolları Sektörü
- Savunma Sanayi
- Havacılık Sektörü
- Denizcilik Sektörü
- Medikal ve Sağlık Sektörü

Yaylar teknikte değişik amaçlarla kullanılmaktadır. En belirgin kullanım amacı bir dereceye kadar esneyerek üzerlerine yüklenen kuvveti taşımak ve kuvvet kaldırılınca kısmen veya tamamen eski konumuna gelerek kuvvetin etkisini karşılamaktır.

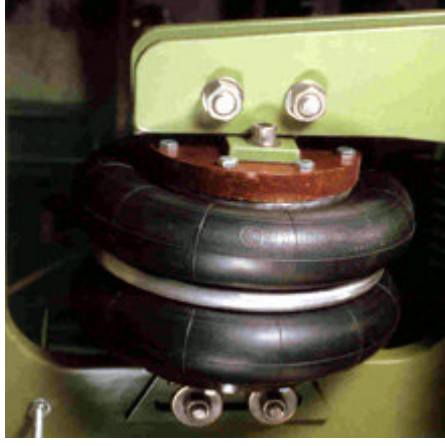
1.1.1.1 Yayların başlıca kullanım alanları şunlardır.

- 1- Belirli bir kuvvet uygulamak (kavrama,fren,kam mekanizmaları)



Şekil 1.2 Debriyaj balatası ve tamburlu fren [Gümüş 2006]

2- Darbe ve titreşimlerinin etkilerini azaltmak (sönümleme elemanı olarak vagon tampon yayları, araçlarda süspansiyon elemanı olarak)



Şekil 1.3 Darbe emici ve otomobil süspansiyonu [Gümüş 2006]

3- Biriktirilen enerjiyi harekete dönüřtürmek (motor fonksiyonu olarak saat, oyuncak, kepenkler)

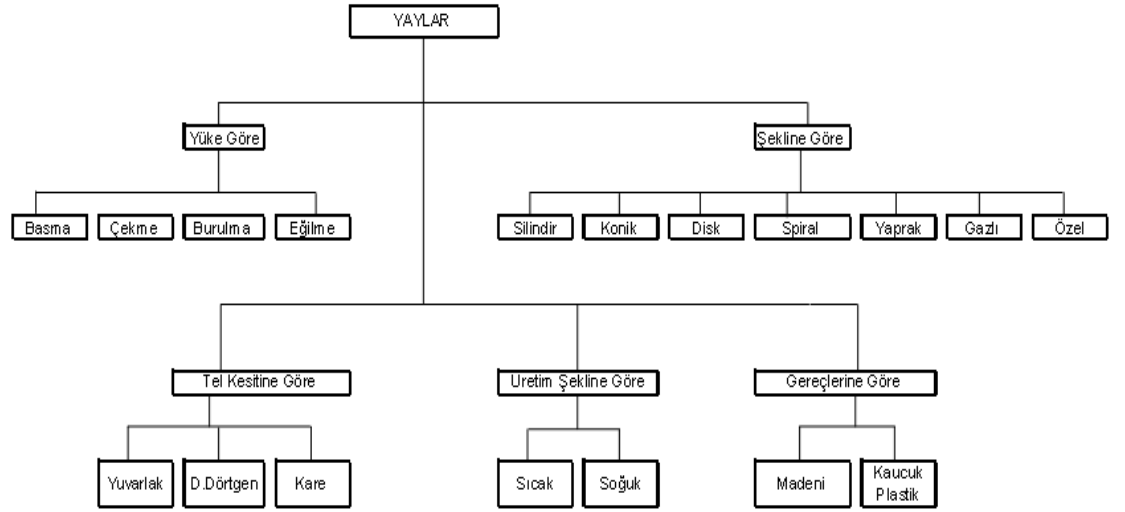


Şekil 1.4 Kepenk yayı [<http://www.karcelik.com.tr/done/yay1>, 2009]

4- Kuvvet ölçmek için kullanılırlar.(dinamometre)

1.1.2 Yayların Sınıflandırılması

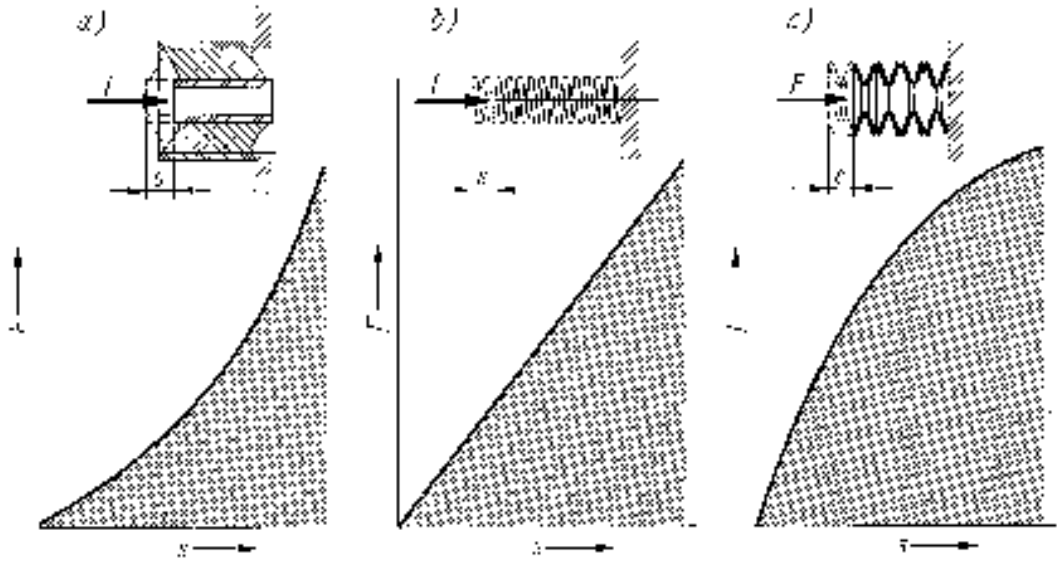
Yaylar; taşıdıkları yüke göre basmaya, çekmeye, burulmaya, eğilmeye çalışan yaylar olarak sınıflandırılmaktadır. Geometrik şekillerine göre silindirik, konik, disk, yaprak, spiral, gazlı ve özel gibi sınıflandırılmaktadır. Tel kesitlerine göre yuvarlak, dikdörtgen ve kare şekilli, üretim şekillerine göre sıcak veya soğuk şekillendirilmiş, malzemelerine göre de madeni, kauçuk veya plastik olarak sınıflandırılırlar .



Şekil 1.5 Yayların sınıflandırılması

1.1.3 Yayların Karakteristiği

Herhangi bir yaya etkiyen kuvvet veya momentlerle bunların doğurduğu şekil değişiklikleri (boy değişimi veya burulma/dönme açısı) arasındaki ilişkiye yay karakteristiği adı verilir ve bu ilişkiye göre yay özelliği belirlenir. Bu karakteristik doğrusal, yükselen veya alçalan sekinde olabilir.



a) Yükselen Karakterli Kauçuk Yay b) Doğrusal Karakterli Silindirik Helisel Yay
c) Alçalan Karakterli Tabak Yay

Şekil 1.6 Çeşitli yay karakteristikleri [Babalık 2008]

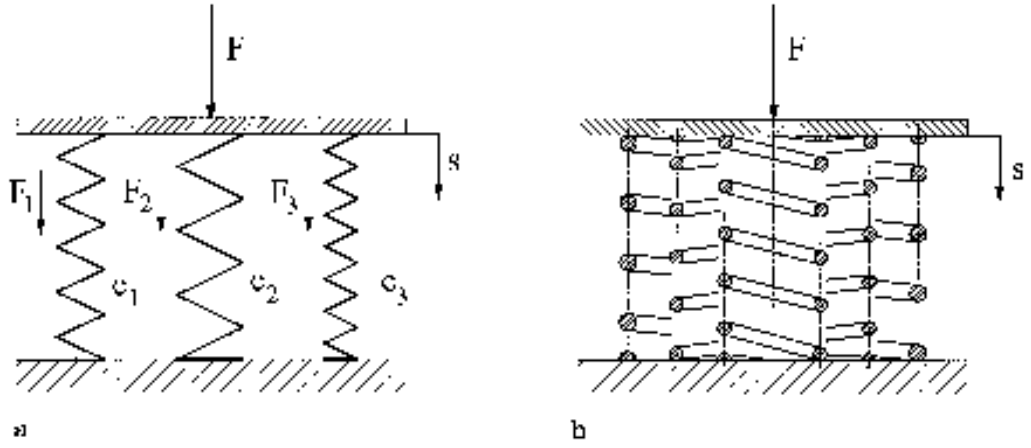
Eğimi fazla karakteristiğe sahip yayların rijitlikleri de o nispette büyük olmaktadır. Doğrusal karakteristiğe sahip yayların rijitliği sabit, yükselen veya artan karakteristikli yaylarda rijitlik kuvveti büyümesi ile artarken, alçalan yaylarda kuvvetin büyümesi ile azalmaktadır.

1.1.4 Yay Sistemlerinde Rijitlik

Uygulamada hacimlerin sınırlı olması halinde veya belirli bir karakteristiğin elde edilmesi için çok sayıda yaydan meydana gelen seri, paralel veya karma olarak bağlanmış çok yaylı sistemler kullanılabilir. Bu yayların rijitlikleri yayların bağlanış şekillerine göre belirlenir.

1.1.4.1 Paralel bağlı yaylar

Böyle bağlanmış yaylarda yayların sapması birbirlerine eşittir. Kuvvet, yayların rijitlikleri ile orantılı olarak paylaşılarak taşınırlar.



Şekil 1.7 Paralel bağlı yay sistemi [Babalık 2008]

Toplam sapma miktarı;

$$s = s_1 = s_2 = \dots = s_n \quad (1.1)$$

Kuvvet;

$$F = F_1 + F_2 + \dots + F_n \quad (1.2)$$

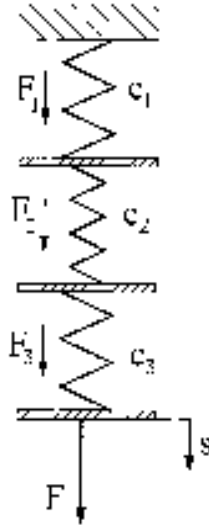
ve yay sisteminin rijitligi;

$$c_t = c_1 + c_2 + c_3 \quad (1.3)$$

eşitlikleri ile bulunur.

1.1.4.2 Seri bağlı yaylar

Seri bağlanmış olan yay sistemlerinde ise bütün yaylar aynı kuvvetle zorlanırlar. Toplam sapma ise yayların sapmalarının toplamına eşittir.



Şekil 1.8 Seri bağlı yay sistemi [Babalık 2008]

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad (1.4)$$

Kuvvet;

$$F = F_1 = F_2 = F_3 \quad (1.5)$$

$$F = c_{eş} \cdot s \rightarrow s = \frac{F}{c_{eş}}$$

Ve sistemin yay rijitligi;

$$\frac{1}{c_{eş}} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} \quad (1.6)$$

eşitlikleri ile bulunur.

1.1.5 Helisel Yay Çeşitleri

- * Helisel bası yayları
- * Helisel çekme yayları
- * Helisel burulma yayları
- * Helisel konik yaylar

1.1.5.1 Helisel bası yayları

En çok bilinen helisel bası yayı sabit sargı çapına, sabit adıma sahip yuvarlak telden sarılmış silindirik formlu yaydır. Üzerine uygulanan kuvveti sıkıştırma yoluyla enerji olarak depolamak, istenilen yere kuvvet (yük) uygulamak, gelen darbeleri sönmölemek amacı ile kullanılır.



Şekil 1.9 Helisel bası yayları [http://www.tursanyay.com.tr/ürünler, 2009]

Bası yayları pek çok alanda kullanılmaktadır. Arabaların, motosikletlerin, kamyon, otobüs ve trenlerin süspansiyon sistemlerinde, yine motorlu taşıtların pek çok sistemlerinde örneğin motor supap yayı olarak, fren sistemlerinde, debriyaj baskı balatasında, kaput ve kapı kilit mekanizmalarında vb. kullanılmaktadır.

Helisel bası yay tipleri

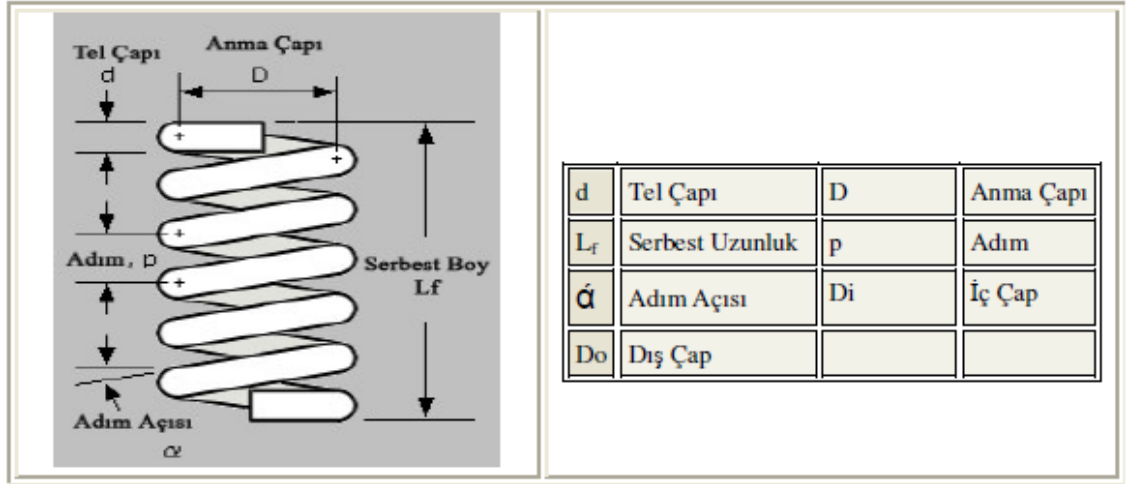
Blokaj sorununu çözmek, blok boy ve aşırı titreşimi azaltmak veya lineer olmayan yük (kuvvet) özelliklerini elde etmek için, konik (conical), fıçı (barrel), ya da ters fıçı (hour glass, kum saati), değişik adımlı gibi tiplerde basma yay üretimi de yapılabilmektedir. Helisel bir yay sağ helis ya da sol helis olarak sarılabilir.



Şekil 1.10 Helisel bası yay çeşitleri [http://www.estetikyay.com.tr, 2009]

Yay parametreleri

Helisel bası yayının tanımlanması için gerekli olan parametreler aşağıdaki şekil 1.11 de gösterilmiştir.

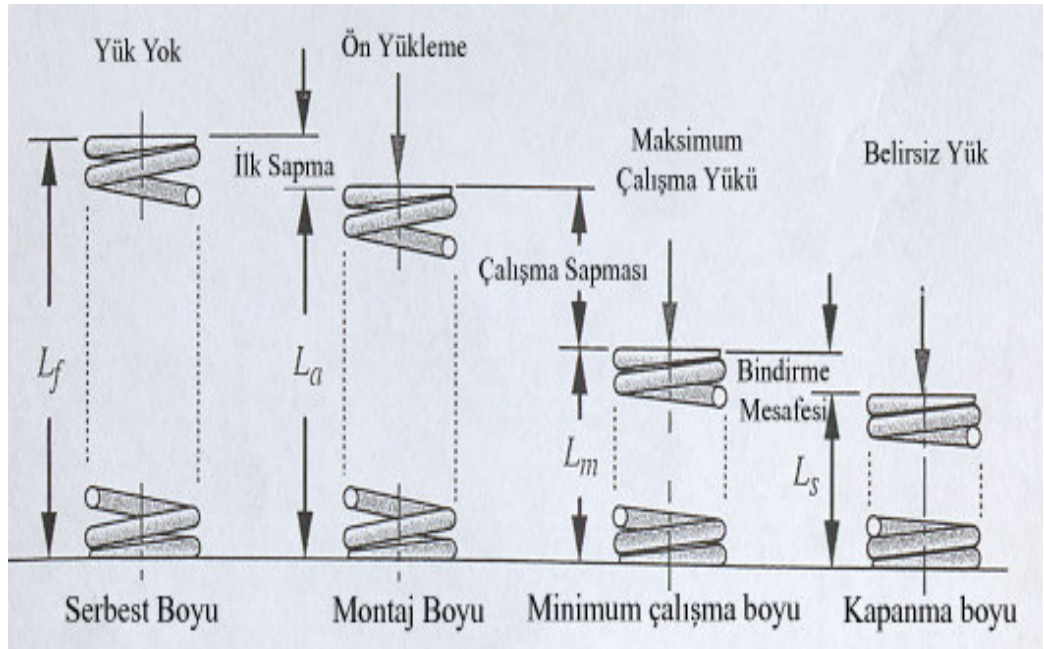


Şekil 1.11 Helisel bası yay parametreleri ve açıklamaları [Gümüş 2006]

Helisel bası yay hesaplama parametreleri

Yay uzunlukları;

Bası yaylarının pek çok uzunluğu ve sapma miktarı vardır.



Şekil 1.12 Helisel bası yayı uzunlukları [Gümüş 2006]

Yay indeksi;

Sarım sayısının tel çapına oranı yay indeksini verir.

$$C = \frac{D}{d} \quad (1.7)$$

Burada D yayın anma çapını, d ise tel çapını ifade eder.

Yay uçlarının detayları

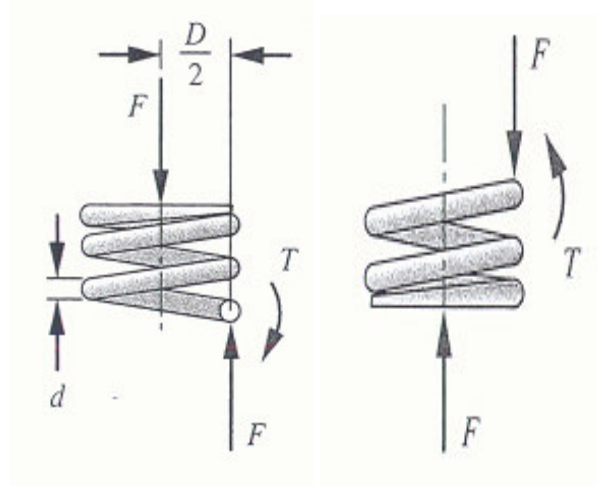
Helisel bası yaylarında dört çeşit uç detayı vardır. Serbest, Serbest ve Taslanmış, Düzeltilmiş ve Düzeltilmiş Taslanmış. Bunlara ait şekiller aşağıda tablo da belirtilmiştir.

	Serbest	Düzeltilmiş	Serbest Taslanmış	Düzeltilmiş Taslanmış
Aktif sarım sayısı N_a	N _t	N _t -2	N _t -1	N _t -2
Serbest uzunluk L_f	N _a p+d	N _a p+3d	(N _a +1)p	N _a p+2d
Kapanma boyu L_s	(N _a +1) d	(N _a +1) d	(N _a +1) d	(N _a +2) d
Adım, P	(L _f -d)/N _a	(L _f -3d)/N _a	L _f /(N _a +1)	(L _f -2d)/N _a

Çizelge 1.1 Helisel bası yaylarının uç biçimleri ve sarım sayıları

Yay sapması

Aşağıdaki helisel yay parçasına eksensel bir “F” kuvveti uygulanmıştır. Yayın üzerindeki kuvvet baskı kuvveti olmasına rağmen yayın teli burulmaya çalışır. Herhangi bir sarımdaki kuvvetin, teli kendi ekseninde burmaya çalıştığı gibi. Telin eğriliği ihmal edilirse helisel baskı yayı aslında burulmaya çalışan bir çubuktur. Bu çubuk helisel bir şekil alacak biçimde sarılmış bir araya toplanmıştır



Şekil 1.13 Helisel bası yayına uygulanan kuvvet [Gümüş 2006]

Yuvarlak telli bir helisel bası yayının sapması ;

$$s = \frac{8 * F * D^3 * N_a}{d^4 * G} \quad (1.8)$$

şeklinde ifade edilir. Yukarıdaki formülde;

d- Tel çapı (mm)

F- Uygulanan kuvvet (N)

G- Kesme modülü (N/mm²)

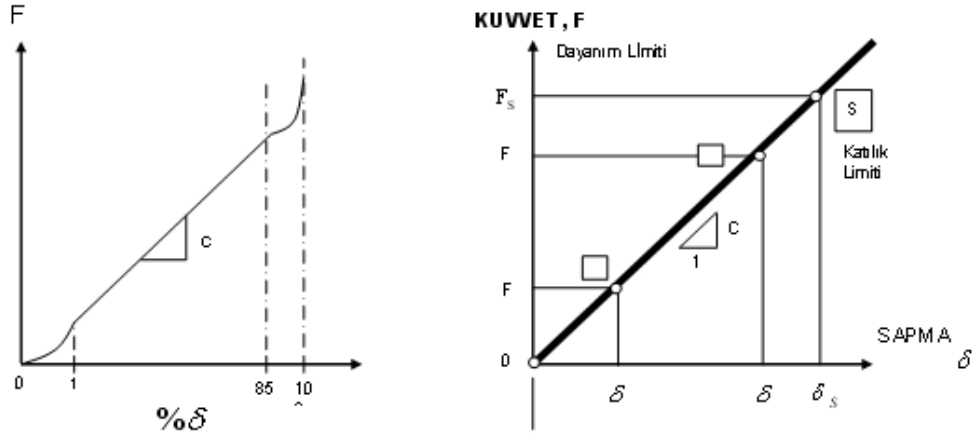
D- Anma çapı (mm)

N_a- Aktif sarım sayısı

s- Sapma miktarı (mm)

Yay karakteristiği

Bir yayın performansı uygulanan kuvvet (F) ile yayda meydana gelen şekil değiştirme (δ) arasında ki şekil değişimine bağlıdır.



Şekil 1.14 Yay karakteristiği

$$c = \frac{F}{\delta} = \frac{d^4 * G}{8 * D^3 * N_a} \quad , \quad (1.9)$$

ile yayın karakteristiği bulunur.

Helisel bası yaylarındaki gerilmeler

Yaya uygulanan F kuvveti neticesinde herhangi bir kesitte T momentinden dolayı burulma gerilmesi ve F kuvvetinden dolayı da kesme gerilmesi oluşur. Bu iki gerilim birbirin eklenirse maksimum kesme gerilmesi $\tau_{\max}$ oluşur;

$$\tau_{\max} = \frac{8 * F * D}{\pi * d^3} + \frac{4 * F}{\pi * d^2} \quad (1.10)$$

Kesilmeden dolayı tel kesitinde meydana gelen kesilme gerilmesinin yayılışı düzgün değildir. Bunun için K_s düzeltme faktörü kullanılır.

$$K_s = \left(1 + \frac{0,5}{C} \right) \quad (1.11)$$

$$\tau_{\max} = \frac{8 * F * D}{\pi * d^3} \cdot K_S \quad (1.12)$$

Burada K_S direkt kesme düzeltme faktörüdür. C yay indeksidir. Eğer bir yay statik olarak yüklenirse çökme hata faktörüdür ve

$$\tau_{\max} = \frac{8 * F * D}{\pi * d^3} \cdot K_S \quad (1.13)$$

eşitliği kullanılır.

Yayın eğriliği, sarımın tel kesitinin iç yüzeylerinde gerilmenin artmasına sebep olur ‘Wahl’ direk kesme gerilimlerini ve eğilme gerilimlerini içine alan bir gerilim düzeltme faktörü (K_w) tespit etmiştir.

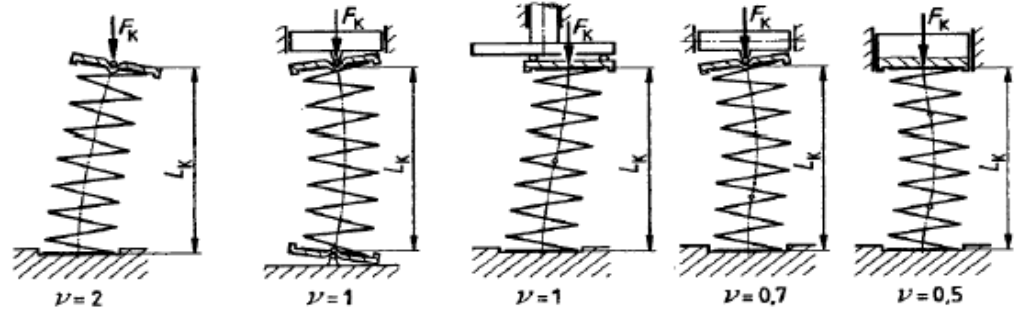
$$K_w = \frac{4 * C - 1}{4 * C + 4} + \frac{0,615}{C} \quad (1.14)$$

$$\tau_{\max} = K_w \frac{8 * F * D}{\pi * d^3} \quad (1.15)$$

Yay dinamik olarak yüklenirse Wahl gerilim düzeltme faktörü devreye sokulur ve (1.15) eşitliği kullanılır.

Helisel bası yaylarının burkulması

Eksenel olarak yüklenen yaylar belirli bir kritik uzunluğa kadar sıkıştırıldıklarında burkulmaya meyilli olurlar. Dolayısıyla burkulma davranışlarının kontrol edilmelidir. Bu yayların tasarımında, burkulmaya karşı yeterli bir emniyete müsaade edilmelidir. Uygulamada burkulma sınırına erişme teorik hesaplamaya göre daha muhtemeldir.



Şekil 1.15 Helisel bası yaylarında oturma tipleri ve ilgili oturma katsayıları [Gümüş 2006]

Yayın serbest boyu L_f nin ortalama çapına oranı $L_f/D > 4$ ise burkulma tehlikesi vardır. Yayın kritik burkulma sapması aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.

$$\delta_{cr} = L_f \cdot \frac{0,5}{1 - \frac{G}{E}} \left[1 - \sqrt{\frac{1 - \frac{G}{E}}{0,5 + \frac{G}{E}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D}{\nu \cdot L_f} \right)^2} \right] \quad (1.16)$$

Helisel bası yaylarının titreşimi

Titreşimli zorlamalara maruz kalan yaylarda önlenmesi gereken önemli bir olay rezonans yani yayın doğal frekansı ile kuvvetin oluşturduğu frekans çakışmamalıdır. Yayın ucuna uygulanan bir kuvvetle bunu dalga dalga diğer sargılara aktarır. Bu belirli bir süre gerektirir. Yayın dalgalanması denilen bu süre sonunda, yay kuvveti sönümler ve hareketsiz kalır. İdeal olarak yayın doğal frekansı uygulanan kuvvetin frekansından 13 ile 20 kat büyük olmalıdır. [Gümüş 2006]

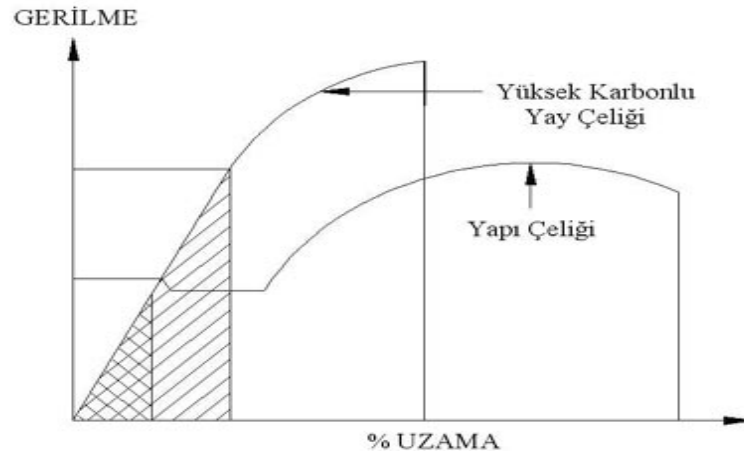
Her iki bası kılavuzlanmış ve çalışma aralığında bir bası periyodik olarak tahrik edilen yayın birinci dereceden doğal frekansı aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$f_n = \frac{3560 \cdot d}{n \cdot D^2} \sqrt{\frac{G}{\gamma}} \quad (1.17)$$

Burada γ malzemenin yoğunluğu (kg/dm^3) temsil etmektedir.

1.2 Yaylarda Malzeme Seçimi

Yay malzemeleri endüstride kullanılan en mukavemetli malzemelerdir. Yayların genellikle diğer elemanlardan daha fazla zorlanmaya maruz oldukları dikkate alınarak dizayn edilir. Mesela helisel sarılmış basma yayları kopma mukavemetinin %70' i hatta daha fazlası bir değerde gerilmeye maruz kalabilir. Buna ek olarak yay malzemeleri yüksek ve düşük sıcaklığın olduğu, korozyif çözeltilerin bulunduğu yerlerde ani ve dinamik yüklemenin mevcut olduğu yerlerde çalışabilmelidir. Yay malzemelerinin sadece mekanik özellikleri değil elektrik ve manyetik özellikleri de önemlidir.



Şekil 1.16 Gerilme-uzama eğrisi [http://www.batiyay.com, 2008]

1.2.1 Yayların sahip olması gereken özellikler

- Büyük bir elastik şekil değiştirme özelliği göstermeleri için yüksek elastiklik sınırına sahip olmalı.
- Yüksek dayanımlı olması, yüksek yorulma mukavemeti olmalı
- Metal malzemeler yüksek kopma dayanımına sahip olmalı
- Isıya veya korozyona karşı direnç,
- Mıknatıslanmama,

- Düşük ısı yayılımı ve ısı karşısında elastik özelliklerin değişmezliği,
- Malzemenin yorulmaya dayanımlı olması sonucu uzun süre özelliği bozulmadan kullanılması,
- Kolay elde edilebilmesi ve ekonomik olması,
- İdeal yay malzemesi maksimum enerji depolamak için yüksek elastikiyet modülüne sahip olması,

gibi özelliklerde çeliğin özel bileşimleri sayesinde elde edilebilir. Bu isteklerin bir kısmı demir olmayan metallerle de elde edilebilir. Örneğin bakır, bronz, titanyum, pirinç, veya diğer alaşımlar gibi. Hatta metal olmayıp elastik özelliğe sahip kauçuk, plastik ağaç, hava ve mantar, seramik gibi malzemelerden de yapılmış yaylar vardır. Sınırlı sayıdaki malzeme ve alaşımlar yay yapımı için uygundur. İdeal yay malzemesi yüksek mukavemetlere dayanımlı, maksimum enerji depolamak için düşük elastikiyet modülüne sahip olmalıdır. Yay hesaplarında yay mukavemeti hesaplanırken standart yay malzemesi olarak ASTM standardı esas alınmıştır. Malzemeye bağlı olarak elde edilen sabitler kullanılarak mukavemet hesabı yapılmıştır. [Gümüş 2006]

$$\sigma_K = A * d^b \quad (1.18)$$

$$\tau_K = 0,67 * \sigma_K \quad (1.19)$$

Çizelge 1.2 ASTM standart malzemelere göre katsayılar

Malzeme	ASTM No	B	N/mm ²
Soğuk çekilmiş	A227	-0,201	1510
Piyano teli	A228	-0,163	2060
Yağ temperli	A229	-0,193	1610
Krom vanadyum	A232	-0,155	1790
Krom silikon	A401	-0,091	1960

1.2.2 Yay teli malzemeleri

Helisel yay üretiminde en çok kullanılan tel malzemeleri ve özellikleri aşağıya listelenmiştir.

Piyano teli ASTM A228 : En iyi, en dayanımlı ve en çok kullanılan, özellikle ufak yaylarda, yay malzemesidir. Yüksek gerilim dayanımına sahiptir ve diğer yay malzemelerine göre tekrarlanan ve aşırı yüklenmelere karşı daha fazla dayanımlıdır.

Yağda temperlenmiş tel ASTM A229: Piyano telinin imalat için pahalı olduğu ve daha büyük ölçülerde ihtiyaç olduğunda kullanılan genel maksatlı yay çeliğidir. Darbeli veya vuruntulu yerlerde uygun değildir.

Çizelge 1.3 ASTM standart malzemelere göre oranlar

Malzeme	ASTM No	τ_{ak} / σ_k	τ_d / σ_k
Soğuk çekilmiş	A227	0,42	0,21
Piyano teli	A228	0,4	0,23
Yağ temperli	A229	0,45	0,22
Krom vanadyum	A232	0,52	0,2
Krom silikon	A401	0,53	0,2

Soğuk çekilmiş tel ASTM A227: En ucuz ve en genel kullanımlı yay çeliğidir. Yay ömrünün, ölçü hassasiyetinin ve şekil değiştirmesinin önemli olmadığı durumlarda kullanılır. 0.8mm den 12 mm. kadar ölçü aralığında elde edilebilir.

Krom vanadyum ASTM A231: Uzun süreli dayanım, yorulma dayanımı gerektiren, yüksek gerilimlere dayanım istenen yerlerde kullanılır. Yüksek karbonlu çeliklerle de kullanılabilen en popüler alaşımlı yay çeliğidir. Darbeli ve sarsıntılı yerlerde iyidir.

Çizelge 1.4 Yay teli malzemeleri özellikleri [Gümüş 2006]

	Malzeme	Kim. Analiz	Min. Kopma Gerilmesi I (Mpa)	Esneklik modülü E Mpa x	Kayma modülü G Mpa x	Max. Sıcaklık C	Rockwell sertlik değeri	Üretim yöntemi, esas kullanım ve ekstra özellikler
Yüksek Karbonlu Yay teli	Piyano teli ASTM A228	C 0,70 1,00 % Mn 0,20- 0,60 %	1586-2751	207	79,3	121	C41-60	Soğuk çekilmiş. Yüksek ve aynı gerginlik Yüksek kalitede yaylar. Periyodik uygulamalar için uygun
	Soğuk Çekilmiş ASTM A227	C 0,46 0,85 % Mn 0,60- 1,30 %	(1014-1951) (1179-2234)	207	79,3	121	C31-52	Soğuk çekilmiş. Orta mukavemetli uygulamalar için. Maliyeti daha uygun yaylar
	ASTM A 679	C 0,65 1,00 % Mn 0,20 %	(1641-2413)	207	79,3	121	C31-52	soğuk çekilmiş, yüksek kaliteli yay ve tel formları için
	ASTM A 229	C 0,55 0,85 % Mn 0,60- 1,20 %	(1138-2020) (1317-2234)	207	79,3	121	C42-55	Soğuk çekilmiş. Ve ısıtma işlemi yapılmış genel kullanımlı yay teli
	Subap yayı ASTM A230	C 0,60 0,75 % Mn 0,60- %	(1482-1655)	207	79,3	121	C45-49	Soğuk çekilmiş ve ısıtma işlemi yapılmış. İyi yüzey şartları. Periyodik uygulamalar için
Alaşımlı Çelik Tel	Krom vanadyum ASTM A231	C 0,48 0,53 % Cr 0,80- 1,10 % V 0,15 min	(1310-2069)	207	79,3	218	C41-55	soğuk çekilmiş ve ısıtma işlemi yapılmış. Ani yüklemeler ve hafif yükseklikteki sıcaklık şartlarında kullanım için
	Krom silikon ASTM A 401	C 0,51 0,59 % Cr 0,60- 0,80 %	(1620-2069)	207	79,3	246	C48-55	soğuk çekilmiş ve ısıtma işlemi yapılmış. Ani yüklemeler ve hafif yükseklikteki sıcaklık şartlarında kullanım için
Paslanmaz Çelik Tel	AISI 302/304 ASTM A313	Cr 17-19 % Ni 8-10 %	(862-2241)	193	69	288	C35-45	soğuk çekilmiş. Genel amaçlı korozyon ve ısıtma direnci amaçlı Antimagnetiklik özelliği
	AISI 316 ASTM A313	Cr 16-18 % Ni 10-14 % Mo 2-3 %	(758-1689)	193	69	288	C35-45	soğuk çekilmiş. 302 den daha iyi ısı ve korozyon direnci. Antimagnetiklik
	17-7 PH ASTM A313 (631)	Cr 16-18 % Ni 10-14 % Al 0,75-1,5 %	(1620-2310)	203	78,5	343	C38-57	soğuk çekilmiş ve üretimden sonra sertleştirilmiş. Yüksek gerginlik ve genel amaçlı korozyon direnci. Biraz antimagnetiklik özelliği

1.3 Malzemelerde Yorulma

Yorulma tekrar eden şekil değiştirme ve gerilmelere maruz kalan malzemelerde meydana gelen, ilerleyen yerel ve sürekli yapısal bir değişimdir. Belirli bir devir sayısından sonra çatlama ve kırılma ile ortaya çıkar. Yorulma kırılmaları plastik şekil değiştirme çekme gerilmesi ve çevrimli gerilmenin aynı zamanda tesiri ile meydana gelir. Bu nedenle bu üç faktörden herhangi birinin olmaması halinde yorulma çatlakları oluşmayacak ve ilerlemeyecektir. Çevrimli gerilme ve şekil değiştirme çatlaklarının ilerlemesinde etkili olurlar.

Yorulma süreci üç safhadan ibarettir.

- * Çatlağın başlamasına yol açan başlangıç yorulma hasarı,
- *Çatlağın ilerleyerek, kalan kesitinin uygulanan yükleri taşıyamayacak kadar zayıflaması,
- * Kalan kesitinin ani olarak kırılması,

Yorulma çatlağı genellikle malzemelerin statik akma mukavemetinin altındaki tekrar eden gerilmelerden kaynaklanmakta ve şekil değiştirmenin en şiddetli olduğu bölgelerde başlayarak ilerlemektedir. Parçanın geometrik, fiziksel ve metalürjik özellikleri gerilmeyi yoğunlaştırmaya eğilim gösterir ve yorulma hasarının muhtemel bölgesini oluştururlar. Bu yüzden gerilme yoğunlaşması metallerin yorulmasında temel bir faktördür. Ayrıca malzemelerin çeşitli türlerde hatalar içermesi ve gerilme yoğunlaşmasına sebep olan bu bölgelerde şekil değiştirmenin artması yorulma çatlaklarının başlamasında etkili olur. Mikroskobik düzeyde ise, yorulma sürecinin en önemli özelliği tane sınırlarında veya devamlı kayma bantlarında çatlakların gelişimini müteakip akma gerilmesini aşan tersinir gerilmelerin tesiri altında bir veya daha fazla çatlağın oluşumudur.

Herhangi bir numune veya yapının yorulma ömrü, hasarın meydana gelmesine sebep olan gerilme çevrimlerinin toplam sayısıdır. Bu sayı gerilme durumu, dalga şekli, yorulma ortamı ve malzemenin fiziksel ve metalürjik durumunu içeren birçok değişken fonksiyonudur. (Haşçalık 1998)

1.3.1 Çevrimli Yüklemenin Tanımı

Bu bölümde değişken yüklemelerde kullanılan bazı ifadeler tanıtılacaktır. Gerilme değişimi ($\Delta\sigma$), maksimum ve minimum değerler arasındaki farktır. Maksimum ve minimum değerlerin ortalamasını almak *ortalama gerilme* (σ_0)'ı verir. Ortalama gerilme sıfır da olabilir ancak çoğunlukla sıfır olmaz. Gerilme değişiminin yarısı gerilme genliği (σ_g) diye adlandırılır. Maksimum ve minimum gerilmelerin oranına ise *gerilme oranı* (R) denir. Burada anlatılan bu ifadelerin matematiksel karşılıkları şöyle olur: (Tarhanlı ve Saatçi 2007)

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (1.20)$$

$$\sigma_g = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (1.21)$$

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (1.22)$$

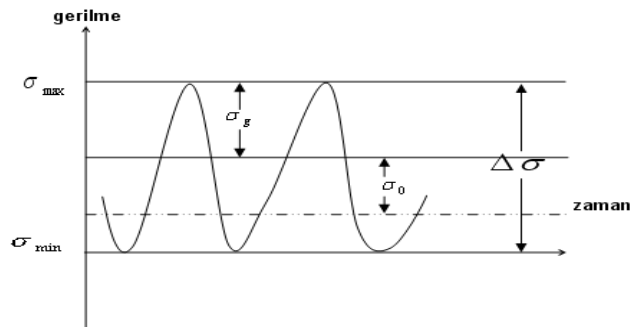
$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (1.23)$$

Ayrıca aşağıdakileri de belirtmek uygun olacaktır.

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 + \sigma_g \quad (1.24)$$

$$\sigma_{\min} = \sigma_0 - \sigma_g \quad (1.25)$$

Bu ifadeler şekil 1.17 de grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.17 Yorulma parametreleri

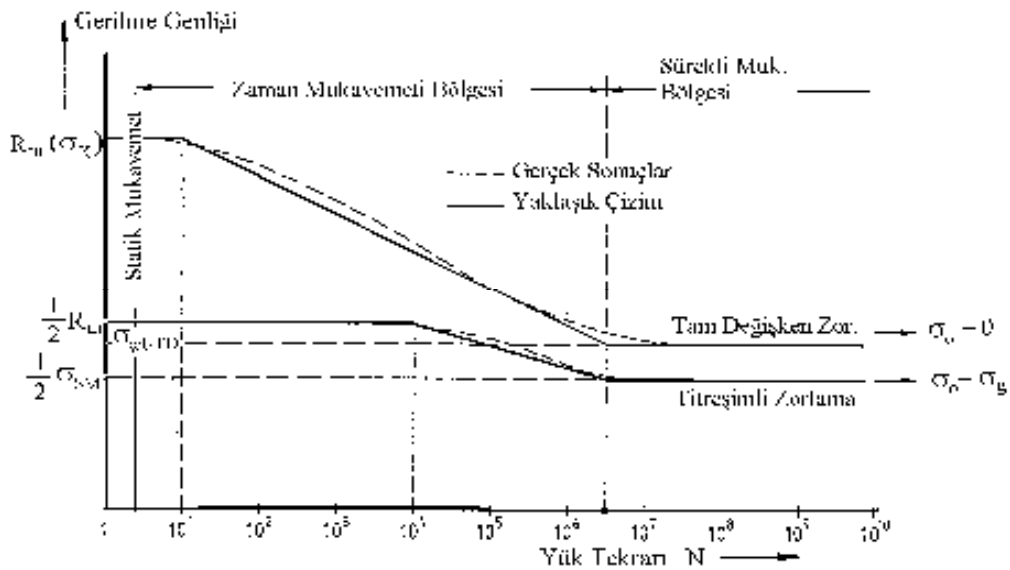
1.3.2 Gerilme-Ömür (σ -N) Eğrileri

Makine parçalarının dinamik zorlanmalarında mukavemet sınırlarının bilinmesi için, deneyler yapılması ve buna göre gerilme-ömür değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bir makine parçasının veya malzemenin bir test numunesi eğer çevrimli yüksek gerilmelere maruz kalırsa, parçayı tam hasara götüren bir yorulma çatlağı veya başka bir hasar oluşacaktır. Eğer test daha yüksek bir gerilme seviyesinde tekrarlanırsa, hasara kadarki çevrim adedi daha az olacaktır. Birkaç değişik gerilme seviyesinde yapılan bunun gibi testlerin sonuçları bir gerilme-ömür eğrisi elde etmek için çizilebilir. Bu eğri aynı zamanda da σ -N eğrisi diye adlandırılır. Gerilme-ömür bağıntısını gösteren bu diyagramlara **Wöhler** diyagramları denilmektedir. (Tarhanlı ve Saatçi 2007)

Wöhler diyagramlarında iki bölge mevcuttur.

Süreli (Zaman) mukavemet bölgesi: Belirli bir gerilme değerinde makine parçasının zorlanması durumunda, ömür değeri de belirlidir. Ne kadar yük tekrarı (veya işletme saati) ömrü olacağı, bundan sonra hasar meydana geleceğini belirten bölgedir.

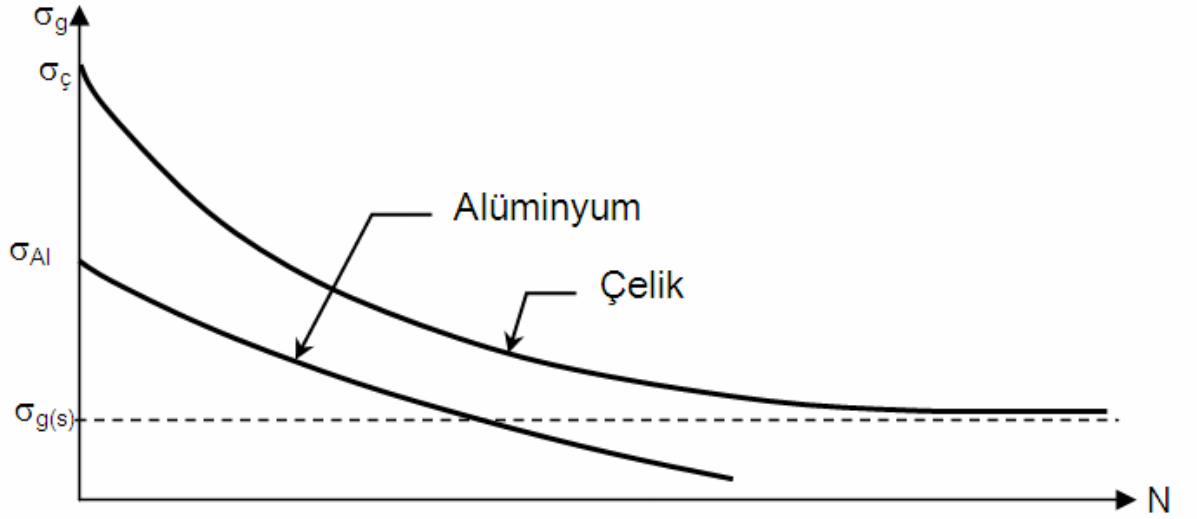
Sürekli mukavemet bölgesi: Makine parçasının ömrünün (teorik olarak) sonsuz değerini gösterdiği bölgedir. Teorik olarak sonsuz ömür, gerçekte makine parçasından istenilen ömürden daha fazlasını belirtmektedir.



Şekil 1.18 Wöhler eğrisindeki süreli ve sürekli bölgeler [Babalık 2008]

Gerilme seviyesinin değişimiyle beraber hasara kadarki çevrim adedi hızla değişmektedir ve düşük ömürlerdeki çevrim adetleri düzgün okunamamaktadır. Bu nedenle, çevrim sayıları genelde logaritmik ölçekte çizilir.

Wöhler eğrisi demir esaslı malzemelerde 10^6 - 10^7 tekrar sayılarında yatıklaşmaya başlar.



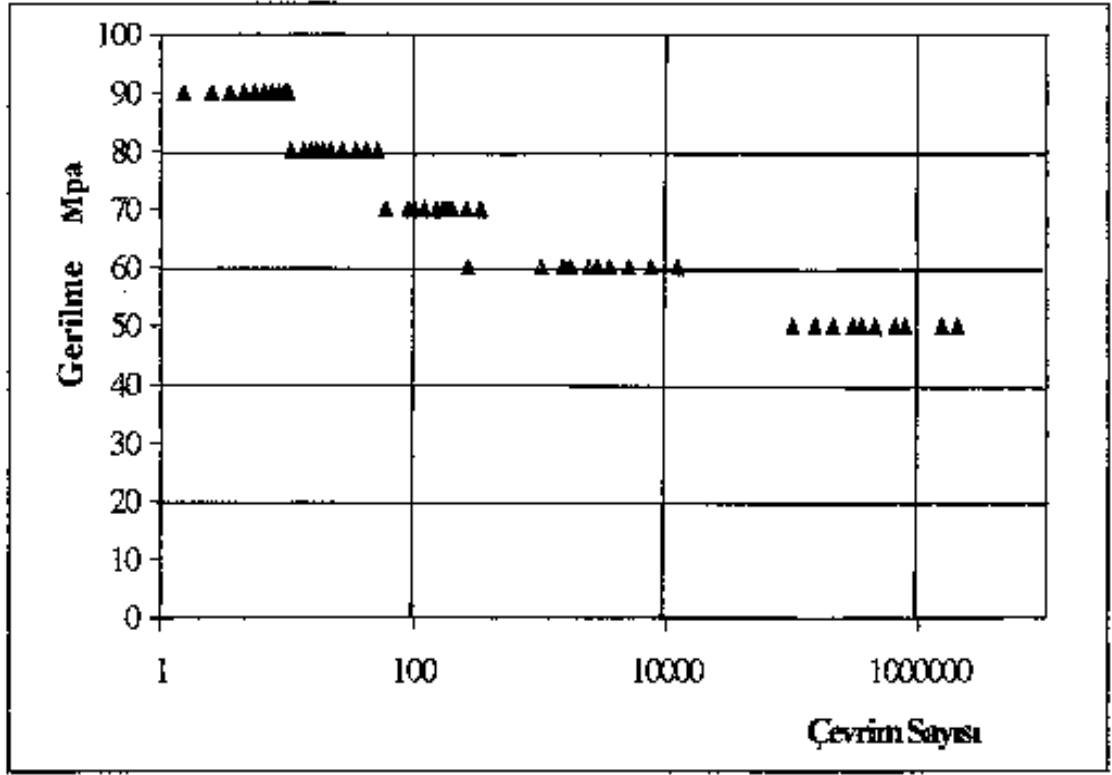
Şekil 1.19 Alüminyum ve çelik malzemeler için σ -N eğrisi [Ün 2009]

Makine konstrüksiyonlarında yük tekrar sayısına göre genellikle,

$N < 10^3$: Statik zorlanma bölgesi

$10^3 < N < 10^6$ Süreli mukavemet bölgesi(zaman mukavemeti)

$N > 10^6$ sürekli mukavemet bölgesi



Şekil 1.20 Orta mukavemetli çelikler için $\sigma - N$ eğrisi [Hasçalık 1998]

1.4 Yorulma Mekanizması

Mikroskobik ölçekte incelendiğinde bütün malzemelere yön ile özellikleri değişen ve homojen olmayan bir yapıya sahiptir. Homojensizlik sadece tek yapısı sebebiyle değil aynı zamanda küçük boşlukların varlıklarında dolayı veya farklı kimyasal parçacıklardan kaynaklanabilmektedir. Homojen olmayan böyle bir mikro yapıdan dolayı gerilmeler üniform olmayan bir şekilde dağılır. Gerilmelerin şiddetli olduğu bölgeler ise genellikle yorulma hasarlarının başladığı noktalardır.

Bir yorulma sürecini 4 safhada incelemek mümkündür.

1.4.1 Çatlak başlaması

Uygun bir ısıtma işlemi ile giderilebilen yorulma hasarının ilk safhasını ihtiva eder.



Şekil 1.21 (Çatlağın başlangıç, yayılma ve ani kırılma bölgelerini gösteren çelik bir mildeki yorulma kırığı yüzeyinin resmi) [Özpar 2007]

1.4.2 Kayma bandı çatlak gelişimi

Yüksek kesme gerilmesine sahip düzlemlerde ilk çatlağın derinleşmesini içerir.. Genellikle ‘*birinci safha çatlak gelişimi*’ olarak isimlendirilir.

1.4.3 Yüksek çekme gerilmesine sahip düzlemlerde çatlak gelişimi

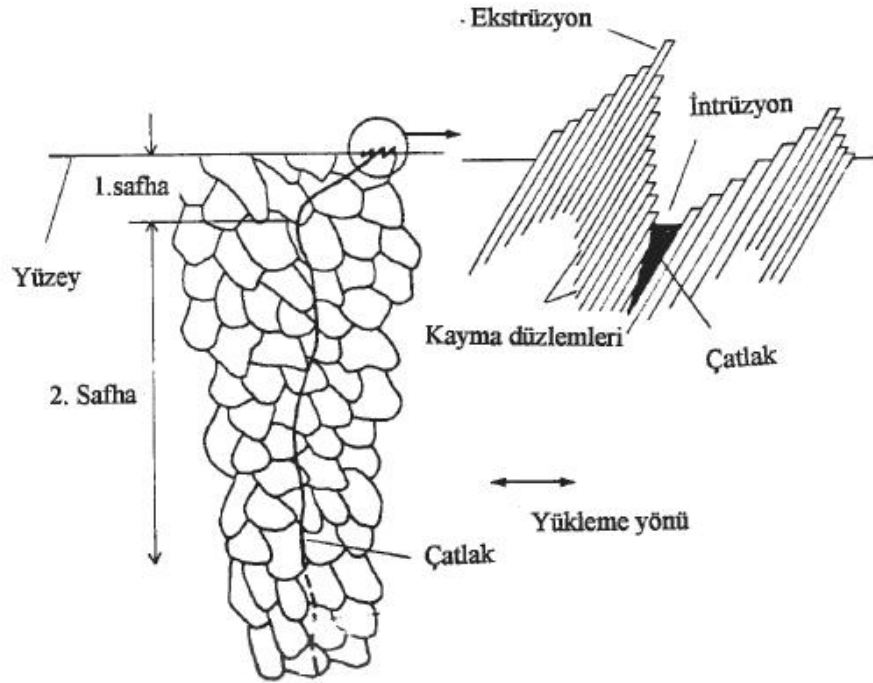
Maksimum çekme gerilmesine dik yönde çatlağın ilerlemesini içerir. Genellikle ikinci safha çatlak gelişimi’ olarak isimlendirilir.

1.4.4 Son safha

Çatlağın belirli bir uzunluğa erişip, kalan kesitinin uygulanan yükü taşıyamayacak duruma gelmesi

Yukarıdaki her bir safhanın toplam hasar çevrimine göre izafi oranları malzeme ve deney şartlarına göre değişmektedir. Başlangıçta akma gerilmesinin altında uygulanan gerilmelerde belirli bir çevrim süresinden sonra çevrimin çekme yarısında deney numunesinin yüzeyindeki malzeme plastik olarak şekil değiştirmeye başlar. Ancak malzemenin geneli elastik olarak kalır. Malzeme genelinin elastik zorlamalarından dolayı çevrimin basma yarısında yüzeyin plastik malzemesi artık elastik duruma geri dönemez ve sürekli olarak plastik olarak kalır. Bu süreç ‘*tersinir olmayan plastik deformasyon*’ olarak isimlendirilmekte ve malzeme yorulma ile sertleşmektedir. Bu safhada uygulanan gerilmeye 45 derecelik düzlemlerdeki yüzeyde kayma meydana

gelir. Ömrün ortalama % de 5 i civarında ‘ devamlı kayma bantları’ (PSB) olarak isimlendirilen yerel bantlardan kayma yoğunlaşmaya başlar. Bu bantlar başlangıçta çoklu kutuplar ve ikiz kutuplar düzeninde ana dislokasyonlardan ibarettir. Çevrim devam ederken ilk bantlar arasındaki bantlarda kayma meydana gelir ve bu bant büyük oranda ikincil dislokasyonlardan ibarettir. Malzemenin tamamen kayma bantları gelişir. Bu bantlar yorulma çatlaklarının başlama yeridir. Yorulma deformasyonuna has önemli bir yapısal özellik ‘kayma bandı ekstrüzyonları’ ve kayma bandı intrüzyonları ‘ olarak isimlendirilen tepelerin ve yivlerin yüzeyde oluşmasıdır. Ekstrüzyon ve intrüzyon oluşumu ile ilgili olarak Cottrell, Şekil 1.22 de görüldüğü gibi kaymanın kayma düzlemlerinde aynı anda meydana geldiğini ileri sürmüştür. Bir intrüzyon esas olarak küçük bir mikro çatlaktır. Şekilde görüldüğü gibi, çatlak önce uygulanan gerilmenin kesme elemanları ile belirlene bir yönde ilerlemekte (safha1) hemen sonra uygulanan çekme gerilmelerinin etkisi ile yön değiştirmektedir.(safha 2) (Hasçalık 1998)

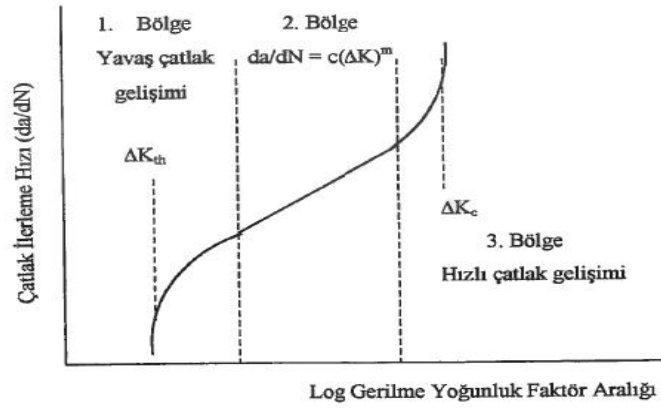


Şekil 1.22 Çatlak oluşumunun şematik olarak gösterilmesi [Hasçalık 1998]

İkinci mekanizma Mott tarafından ileri sürülmüştür. Bu mekanizma metalin kristal bir boşluk bırakarak yüzeyden ihraç edilmesine bağlı olarak, vida dislokasyonlarının çapraz kaymasını ihtiva eder ve bu boşluklar bir mikro çatlak gibi davranırlar. Aynı zamanda yorulma esnasında devamlı kayma bantlarında oluşan aralıklar birer mikro çatlak gibi davranan boşlukları oluşturmak üzere yoğunlaşabilirler. Ayrıca kusurların yığılması dislokasyonlara bağlı olarak ya gerilme yoğunlaşması ile ya da hacim değişimi ile çatlamaya yol açarak kayma düzleminde kristal bağını bozabilirler. Çatlaklar yukarıda ifade edilen mekanizmaların herhangi birine uygun olarak başlayabilmektedir. Bununla beraber alaşımlama ve üretim yöntemlerinden kaynaklanan segregasyon, inklüzyon, ikinci faz partikülleri ve yapıyı bozan diğer faktörlerde çatlak başlama sürecinde önemli tesirlere sahiptir.

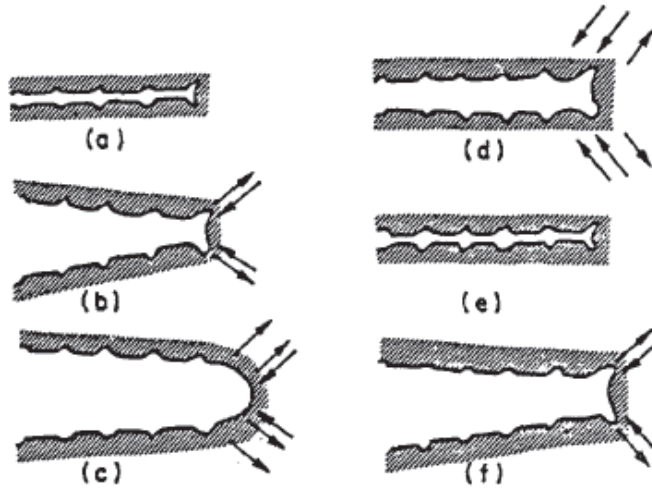
1.5 Çatlağın İlerlemesi:

Yorulma çatlakları şekilde görüldüğü gibi üç safhada ve üç farklı tarzda ilerlerler. Birinci safha kesme, ikinci safha çekme ve üçüncü safha bir yırtma tarzıdır. Yorulma çatlak gelişimi ile bilgiler genellikle çatlağın uzunluğuna bağlı olan çatlak ucundaki gerilme yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak, çevrim başına çatlak gelişme hızı şeklinde ifade edilmektedir. Ortadaki (2.safha)sürekli durum bölgesi, diyagramda gösterildiği gibi Paris-Erdoğan denklemi ile tanımlanabilir. Yorulma ömrünün önemli bir kısmı oldukça yavaş gelişme hızlarındaki mikro çatlakların ilerlemesinde harcanabilmektedir. Bu çatlakların gelişmesi ilk safhalarda çatlağın boyutuna bağlı olarak, çatlağın ucundaki gerilme yoğunlaşması ile kontrol edilir. Uygulanan gerilme 45 derecedeki kayma düzlemleri boyunca kesme bu safhada çatlakların gelişmesine sebep düzlemleri boyunca kesme bu safhada çatlakların gelişmesine sebep olur. Bu gelişme hızları atomik boyutludur ve yerel dislokasyon ve kristal yapılarına oldukça hassastır. [Özpar 2007]



Şekil 1.23 Çatlak gelişim safhasının şematik gösterimi [Özpar 2007]

Çevrim devam ederken mikro çatlaklar ΔK_{th} eşik gerilme yoğunluğundan daha büyük bir çatlak ucu gerilme yoğunluğu kazanarak makro çatlaklara dönüşürler. Çatlak birinci safhadan ikinciye safhaya dönüşür ve çatlama modeli kesmeden çekme modeline değişir. Bu safhada çatlak şekil de görüldüğü gibi kesme deplasmanları meydana getiren, çatlak uçlarına kenar dislokasyon ilavesiyle sürekli olarak ilerlerler. Şekil de çatlak ilerleme mekanizması görülmektedir.



Şekil 1.24 İkinci safhada çatlak gelişiminin şematik görünümü[Hasçalık 1998]

Bu mekanizma “*plastik –kırılma süreci*” olarak isimlendirilmekte ve geçerli bir model olarak kabul edilmektedir. Çekme yükü uygulanırken, çatlak yukarı doğru açılır. Kesme yönünde yeni bir yüzey ve bir “*kulak*” oluşur.(Şekil 1.24.b,c). Çevrimin basma yarısında ise çatlak içeriye doğru itilir ve şekil 1.24.d,e) de görüldüğü gibi, arkasında bir kulak bırakarak kapanır. Bu kulaklar yorulma kırılma yüzeyinde görülen küçük paralel çizgilerdir. Çatlak çok yüksek hızlara ulaşmak için yeterli büyüklüğe sahip olunca yırtma modeline dönüşür. Malzemenin kalan kesiti artık uygulanan yüke dayanabilecek durumda değildir ve son çevrimde kırılma ani bir şekilde meydana gelir. [Hasçalık 1998]

1.6 Yorulmaya Etki Eden Faktörler

1.6.1 Gerilme Yoğunlaşması

Yorulma mukavemeti, çentik veya delik gibi gerilme artırıcıların bulunması halinde önemli ölçüde azalmaktadır. Makine elemanları flanş, delik, vida dişleri, kama yuvaları, sıkı geçmeler vb. gerilme artırıcılar içermesinden dolayı, bu kısımlarda yorulma çatlaklarının başlama ihtimali artmaktadır. Bu bakımdan yorulma hasarlarını azaltmasının başlıca yollarından biri doğru tasarım ve imalat ile mümkün olduğunca gerilme artırıcı faktörlerin azaltılmasıdır. Ayrıca gerilme yoğunlaşması, gözenek, kalıntı, yerel aşırı ısınma, ikincil (çökelmiş) fazlar gibi metalografik süreksizlikler ve yüzey pürüzlülüğünden de kaynaklanmaktadır[Hasçalık 1998]

1.6.2 Boyut

Yorulma numunelerinin boyutlarının değişmesi esas olarak iki faktörde değişime neden olur. Birincisi, çapın artması numunenin yüzey alanı ve hacmini artırır. Yüzeyin artması yorulmanın genellikle yüzeyden başlaması nedeniyle oldukça önemlidir. İkincisi burulma veya eğme olarak yüklenen çentikli veya sade numuneler için çaptaki artış genellikle çap boyunca gerilme mertebesini azaltır ve yüksek gerilmeye maruz kalan malzeme hacmini artırır. [Hasçalık 1998]

1.6.3 Yüzey Etkileri

Genel olarak bütün yorulma hasarları yüzeyde başlar. Eğme ve burulma gibi yüklemenin genel tipleri için maksimum gerilme yüzeyde meydana gelir ve hasar burada başlar. Yorulma özelliklerinin yüzey şartlarına çok hassas olduğuna dair kesin

bir görüş birliği vardır. Bir yorulma numunesinin yüzeyini etkileyen faktörler genel olarak 3 bölüme ayrılır.

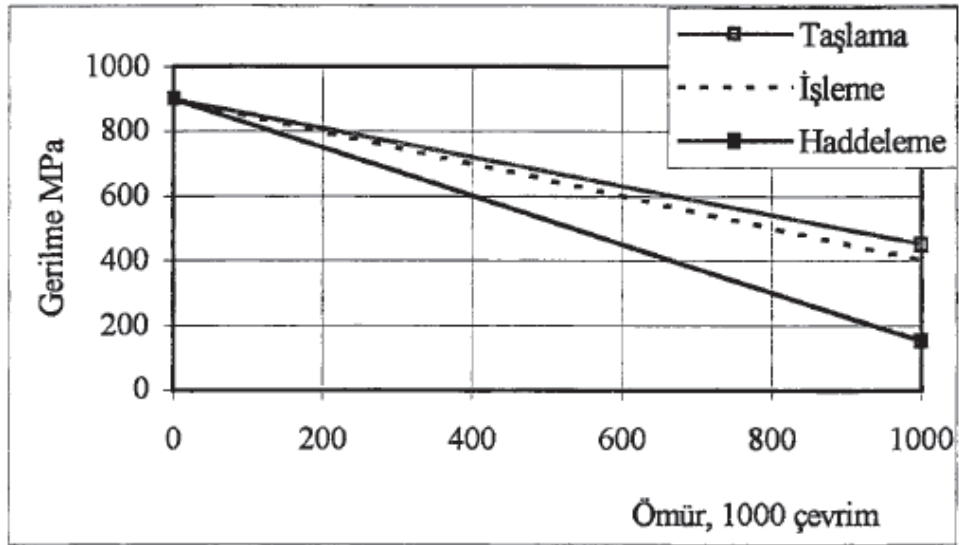
A-Yüzey pürüzlülüğü ve yüzeydeki gerilme artırıcılar

B-Metal yüzeyin yorulma mukavemetinde ki değişmeler

C-Yüzeyin artık gerilme durumu

A-Yüzey pürüzlülüđü

Farklı üretim yöntemleri ile meydana gelen yüzey pürüzlülüğleri yorulma özelliklerini önemli ölçüde etkiler .Gerilme artırıcıları esas çekme mukavemetinin yönü ile paralel olarak parlatılan numuneler yorulma deneylerinde en yüksek değerleri verirler. Yorulma mukavemetinde yüzey pürüzlülüğünün etkisi şekil de görölmektedir.



Şekil 1.25 Çeliklerin yorulma özelliklerinde yüzey şartlarının etkisi (302-321 HB)

[MMO 2. demir-çelik sempozyumu 2007/

B-Yüzey özelliklerindeki değişimler:

Yorulma hasarlarının yüzey durumuna bağlı olmasından dolayı yüzey malzemesinin yorulma mukavemetinin değişimi yorulma özelliklerini önemli ölçüde değiştirecektir. Nitrürasyon ve karbürizasyon ile çelik parçalar üzerinde daha sert ve daha mukavemetli yüzeylerin oluşumu ile yorulma mukavemetinde belirgin iyileşmeler sağlanabilmektedir. Nitrürasyon ve karbürizasyon ile benzer şekilde alevle sertleştirme ve indüksiyon sertleştirilmesi de yorulma mukavemetini arttırabilmektedir. Metal kaplamalar malzemenin yorulma mukavemetinde olumsuz tesirler gösterebilmektedir. Karbon ve düşük alaşımlı çelikler özellikle yüksek sertliğe sahip çelikler bileşik asit veya alkali temizleme işlemleri ve kaplama esnasında hidrojen absorpsiyonu nedeniyle hidrojen gevrekliğine eğilimlidirler. Kadmiyum gibi yumuşak kaplamaların yorulma mukavemetinde çok küçük bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Krom gibi sert kaplama malzemeleri ise genellikle ana metalde çökelme olduktan sonra çekme gerilmeli bir durumdadır. Bu nedenle ana metalde çatlamaya neden olur. [Hasçalık 1998]

C-Yüzey artık gerilmesi:

Yüzeyde uygun bir artık basma gerilmesi oluşumu yorulma mukavemetinin artırılmasında en etkili metottur. Artık basma gerilmeleri genellikle mekanik olarak plastik deformasyon ile sünek malzemelere uygulanmaktadır. [Hasçalık 1998]

1.6.4 Sıcaklık :

Oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda metaller üzerinde yapılan yorulma deneylerinde azalan sıcaklıkla yorulma mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir. Buna rağmen düşük sıcaklıklarda çeliklerin çentik hassasiyeti artmaktadır. Oda sıcaklığının üzerinde ise artan sıcaklıktan metallerin yorulma mukavemeti genel olarak azalmaktadır. Bu safhada yorulma hasarından sürünme hasarına geçiş hasar tipini de değiştirecektir. [Hasçalık 1998]

1.6.5 Frekans :

Frekansın yorulma deney sonuçlarına etkisi kesin olarak belirlenememiştir. Genellikle uygulanan 200–10000 çevrim/ dakikalık frekansın deney sonuçlarına pek

etki etmediği daha düşük frekanslarda ise yorulma dayanım sınırının azaldığı kabul edilmektedir. [Hasçalık 1998]

1.6.6 Metalürjik Değişmeler

Tane boyutu:

Yüksek çevrimli şekil değiştirme altında birçok metalin yorulma ömrü tane boyutundan bağımsızdır. Buna karşın düşük çevrimli şekil değiştirme altında (yüksek çevrimli yorulma) çoğu metalin yorulma ömrü tane büyüklüğünün azalması halinde artar. Bu etkinin tane sınırlarının yorulma ömrü tane büyüklüğünün azalması halinde artar. Bu etkinin tane sınırlarının yorulma çatlaklarının ilerlemesini engelleyici rol oynamalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bazı alaşımlarda tane büyüklüğündeki azalma ile meydana gelen yüksek çevrimli yorulma dayanımındaki iyileşme, diğer olumsuz özelliklerle dengelenir. Örneğin tane boyutundaki azalmanın bazı çeliklerde yorulma sınırını yükseltmesine karşılık küçük tane boyutu çentik hassasiyetini arttırmaktadır.

Alaşımlama:

Yorulma mukavemetinde kimyasal bileşimin etkisi yaklaşık olarak çekme mukavemetindeki tesiri ile orantılıdır. Alaşımlamanın en önemli etkisi malzemenin tane boyutunu küçültücü etkisidir. Sadece karbonlu çeliğin yorulma sınırı genellikle karbon içeriği ile artmaktadır. Mo Cr ve Ni de benzer etkilere sahiptir. % 0,01 lik sülfür içeriklikleri yorulma sınırları üzerinde etkisi yoktur.

İkinci fazlar:

Metalürjik sistemde çoğu zaman bulunan ikinci fazlar çatlak ilerlemesini başlıca üç şekilde etkilerler.

- * İkinci fazın varlığı ile meydana gelen kafes şekil değişimi
- * Boyut biçim ve ikinci fazın dağılımı ile belirlenen gerilme yoğunlaşması
- * İkinci fazlar çeşitli şartlar altında çatlak ilerleme hızına mani olduklarından veya hızlandırabildiklerinden dolayı çatlak oluşumu, ilerleme kinetikleri ve mekanizması üzerinde belirli tesirlere sahiptir.

Isıl işlem:

Yorulma özelliklerinde bazı metalürjik değişkenlerin etkisi ile aynı değişkenlerin çekme özellikleri üzerindeki etkisi arasında çoğu zaman bir paralellik vardır. Ancak iki yapısal durumda çelik aynı çekme mukavemetine sahip olmasına rağmen perlitik yapı perlit içerisinde bulunan karpit lamellerin daha yüksek çentik etkisine sahip olmasından dolayı yorulma dayanımı daha düşüktür. Malzemelere uygulanan ısıl işlemler daima kontrollü ısıtma ve soğutma işlemlerini gerektirir. Ostenitin martenzite dönüşümü tercih edilmeyen şartlarda çatlama ile sonuçlanan genişleme ile meydana gelir. Soğutma çatlaklarının oluşumunu hızlandıran şartlar; çok şiddetli soğutma ortamı, keskin kenarlar, kaba pürüzler ve çok yüksek sertleştirme sıcaklıklarıdır.

1.7 Yaylarda Yorulma

Mühendislikte önemli konulardan biri de yayların emniyetli bir çalışma temin edecek şekilde ömürlerinin ve yük altındaki gerilmelerinin tespiti olmaktadır. Bunun nedeni yayların daha çok emniyet amacıyla kullanılmalarından ileri gelmektedir. Hemen hemen bütün yaylar, tekrarlanan yükler altında çalışırlar. Bu nedenle yayların ve yay malzemelerinin yorulma özelliklerinin veya karakteristiklerinin tespiti çok önemli bir husus olmuştur. Yorulma özelliklerinin tespiti iç yapı ve malzeme yüzey şartlarına bağlıdır. Yay malzemeleri üzerine ASTM, ASME ve SEA kuruluşları tarafından yapılan geniş çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar daha çok yay malzemeler üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Yayların yorulma ömürleri genellikle yüzeyi metal tanecikleri ile dövme metodu (shot peening) sayesinde artırılabilir. Bu işlem küçük çelik bilyaların yay üzerine yüksek hızla çarpmasıyla olmaktadır. Yayların üretim ve kullanımında en önemli karakteristiksel büyüklüklerden biri statik veya dinamik yük altındaki ömürleridir. Yayların ömürlerinin tespiti değişik şartlar altında belirli deneylerin uygulanmasıyla yapılabilmektedir. Bu deneylerden gaye yayların tekrarlanan yükler altında ne kadarlık bir süre içinde kırılacağını veya yaylanma özelliğini kaybederek gevşeyeceğini belirlemektir. Ancak bu deneylerin çok dikkatlice yapılması gerekmektedir. Deneylerde aynı malzemeden sarılmış ve özellikleri aynı 5 veya 10 yay, aynı şartlarda denenerak yorulma değerleri tespiti çalışılır. Bu işlemde deney hızı oldukça önemlidir. Çok hızlı çalışmalarda ısı açığa çıkar. Bu durumda

basmaya ve çekmeye uğratılan yayın ilk birkaç sarımı diğer sarımlara nazaran daha erken yorulur ve erken kırılma meydana gelir. Yayların kırılmalarına ekseriyetle yorulma sebep olduğundan, sıcak şekillendirilmiş yayların en kötü hali yüzeyin zayıflığıdır. Yorulma kırılması daha çok gerilme yoğunlaşmasının meydana geldiği bir yüzey düzgünlüğünde başlar.

Bu nedenle çok yüksek devirlerde deney hızları pek tavsiye edilmemektedir. Bu konuda uluslararası standartlar geliştirilmiş bulunan ASTM ve DİN normlarında deney hızlarının 200-500 dev./dak. arasında olması tavsiye edilmektedir. Bugünkü teknolojiye meydana gelen yeni değişim ve gelişmeler karşısında yay ücretleri de yayların deneyleri için yeni teori ve teknikler geliştirmeye çalışmaktadırlar. Özellikle yeni çatlak ilerlemesi ve kırılma teorileri esas alınarak elektro mikroskopunun kullanılması ile malzeme iç bünyesinde meydana gelen bozukluklar daha iyi tespit edilerek imalata yön verilebilmektedir. Böylelikle eskiye nazaran daha sağlıklı ve emniyetli yay imalatı ve kullanılması mümkün olabilmektedir. Çünkü yorulma işlemi gerilmelerin yığıldığı bölgelerde ince lifler boyunca oluşarak gelişmektedir. Bu bölgelerde yorulmanın ne zaman başlayacağını önceden kesin olarak belirlemek hiçbir zaman mümkün değilse de, yorulma eğrisinin çizim ve emniyetli bir gerilim sınırı içinde çalışma şartlarını tespit imkanları bulunmaktadır.(Pıhtılı ve Özler 1997)

1.7.1 Yayların Yorulma Deneylerinde Takip Edilecek Temel Esaslar

1. Deneyler, benzer özelliklere sahip en az 5 veya 10 yay üzerinde yapılmalıdır.
2. Deney hızının 200 ila 350 dev./dak. arasında olmasına çalışılmalıdır. Uygun deney hızı 300 dev./ dak. dır. Değişik çalışmalardaki deneyler için yüksek devirlere de çıkılabilir.
3. İlk 1000 devirden sonra yorulma deneyi durdurularak yaylar kontrol edilmeli ve yük değerleri ayarlanmalıdır.
4. Her bir yayın ortalama ömürlerini tespit etmek için en düşük ve en yüksek değerler atılarak edilerek yakın değerler esas alınır.
5. Yaylar, 1800 dev./dak. hızındaki alternatif akımlı elektrik motorundan alınan hareketle de denenebilir.

6.Gerçek yorulma gevşemesi, gerilimin daha yüksek ve yoğun olduğu sarımın iç kısmında başlar.

7.Deney makinesi ve yayların deneyden önce iyice yağlanmış olmaları gerekmektedir.

Eğer bir yay çalışma ömrü içerisinde 10000 çevrimden daha az çalışırsa o zaman çalışma statik kabul edilir. Bu durumda yorulma yayın performansına etki etmez. Çalışma 10000 çevrimden daha fazla ise yorulmanın yay performansına etki ettiği düşünülür ve tasarımda hesaba katılır. (Pıhtılı ve Özler 1997)

1.7.2 Yayların Yorulma Performanslarına Etki Eden Başlıca Faktörler Şunlardır;

1. Çalışma gerilmeleri
2. Malzeme yüzey kaliteleri
3. Aşınma
4. Parça boyutu
5. Çalışma sıcaklığı
6. Çevrenin kimyasal etkisi
7. Malzeme şeklindeki ani değişiklikler.

1.7.3 Yay Kırılmasının Nedenleri

1.7.3.1 Sık görülen kırılma nedenleri:

Yüksek gerilmeler: Yay kırılmalarının çoğunun nedeni, yüksek gerilmelerinin yol açtığı aşırı yüklemeler ve büyük sapmalardır. Yüksek gerilmeler yalnızca statik yüklenmiş yaylarda kullanılmalıdır. Düşük gerilmeler yorulma süresini uzatırlar.

Hidrojen gevrekliği: Yetersiz yöntemlerle yapılan elektrikle kaplamalar ve asitle temizleme işlemleri sonucunda, uygun ısı işlem yapılmazsa, yay çelikleri kırılgan bir yapıya sahip olur ve bu, kırılmaların sık rastlanılan bir nedenidir.

Keskin dirsekler ve delikler: Gerilme, burulma ve düz yaylardaki delik ve çentikler, yüksek gerilim ve konsantrasyonlara yol açar, bu ise kırılmalara neden olur. Dirsek çapı mümkün olduğunca büyük olmalıdır.

Yorulma: Yayların tekrarlanan yaylanmaları, 1000000'un üzerindeki işlemlerde ortalama gerilimlerde kırılmaya yol açabilir. Düşük gerilimler güç işlem koşullarında kullanılmalıdır.

1.7.3.2 Orta sıcaklıkta görülen kırılma nedenleri

Şok yükü: Çarpma, şok ve hızlı yüklemeler, yaylarda hesaplanmış olan gerilimlerden daha yüksek gerilimlere neden olur. Yüksek karbonlu yay çelikleri, alaşım çelikleri kadar şok yüklemelerine dayanamazlar.

Korozyon: Asitler, alkaliler, galvanik korozyon, gerilim korozyonu çatlakları, az miktardaki paslanmalara ve çukurlara neden olur ve korozyona uğramış alanda yüksek gerilimlerin oluşmasına yol açar.

Hatalı ısıtma işlemi: Yaylık malzemeleri sertleştirme sıcaklığında gereğinden fazla tutulması, istenmeyen tane büyümelerine yol açar. Bu yüzden de sertlik derecesi doğru olmasına rağmen, kırılma oluşur.

Hatalı malzeme: Metal dışı kalıntılar, kaynak izleri, fitil içeren zayıf malzemeler, yarık, pürüzlü, düz malzemeler veya yırtık kenarlar erken kırılmalara neden olur. Fazla çekilmiş yaylar, yetersiz sertlik ve kötü tane yapısı erken kırılma sonucunu verir.

1.7.3.3 Nadiren görülen kırılma nedenleri

Yüksek sıcaklık: Yüksek sıcaklıklar yay sertliğini azaltır. Elastik modülünü düşürür, düşük yerlere, düşük elastik sınırı ve korozyon eğilimine yol açar. Bu koşullarda paslanmaz çelikler kullanılmalıdır.

Sürtünme: Çubuklar üzerindeki veya deliklerdeki sıkı geçmeler, malzemede aşınmaya ve nadiren kırılmaya yol açar. Yaylanma sırasında basma yaylarının dış çapları genişler, burulma yaylarının ise daralır.

Diğer: Germe yaylarındaki büyütülmüş kancalar, dirsekten gerilim artırır. Aşırı elektrik yükü kırılma yapabilir. Kaynak ve lehim genellikle yay menevişini bozar.

Takım işaretleri çentikler ve kesikler gerilim arttırıcılarıdır. Dışa doğru saptırıcı burma yayları yüksek gerilime yol açar. (Pıhtılı ve Özler 1997)

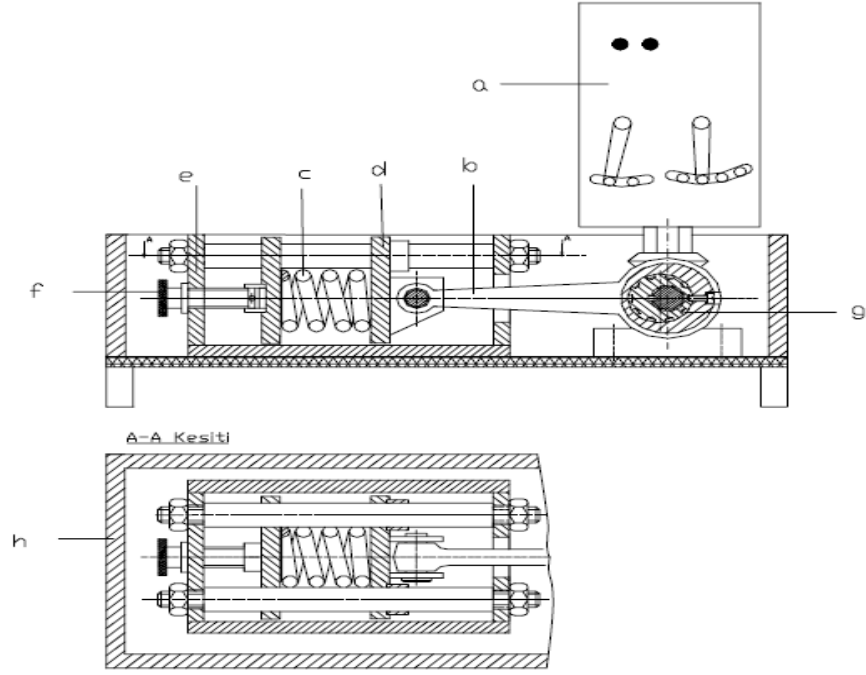
1.7.8 Yay Yorma Test Cihazları

Literatürde çok olmamakla birlikte yay yorulması için değişik mekanizmalara sahip cihazlara rastlanmaktadır. Bir deneyde test edilen yay sayısı, dakikadaki yük tekrar sayısı ve yaya kuvvet uygulama amacı için tasarlanan mekanizmalara göre bu cihazlar farklılık göstermektedirler.

Musulluoğlu (1987), yüksek lisans tez çalışmasında helisel yayların statik karakteristiklerini tespit etmek için bir deney cihazı tasarlayıp imal etmiştir. Helisel çeki ve bası yaylarının rijitlik değerleri bu cihaz yardımı ile grafiksel olarak elde edilebilmektedir. Yayın yorulma deneyi öncesinde rijitliğinin hassas şekilde tespiti için bu tür cihazlara ihtiyaç vardır.

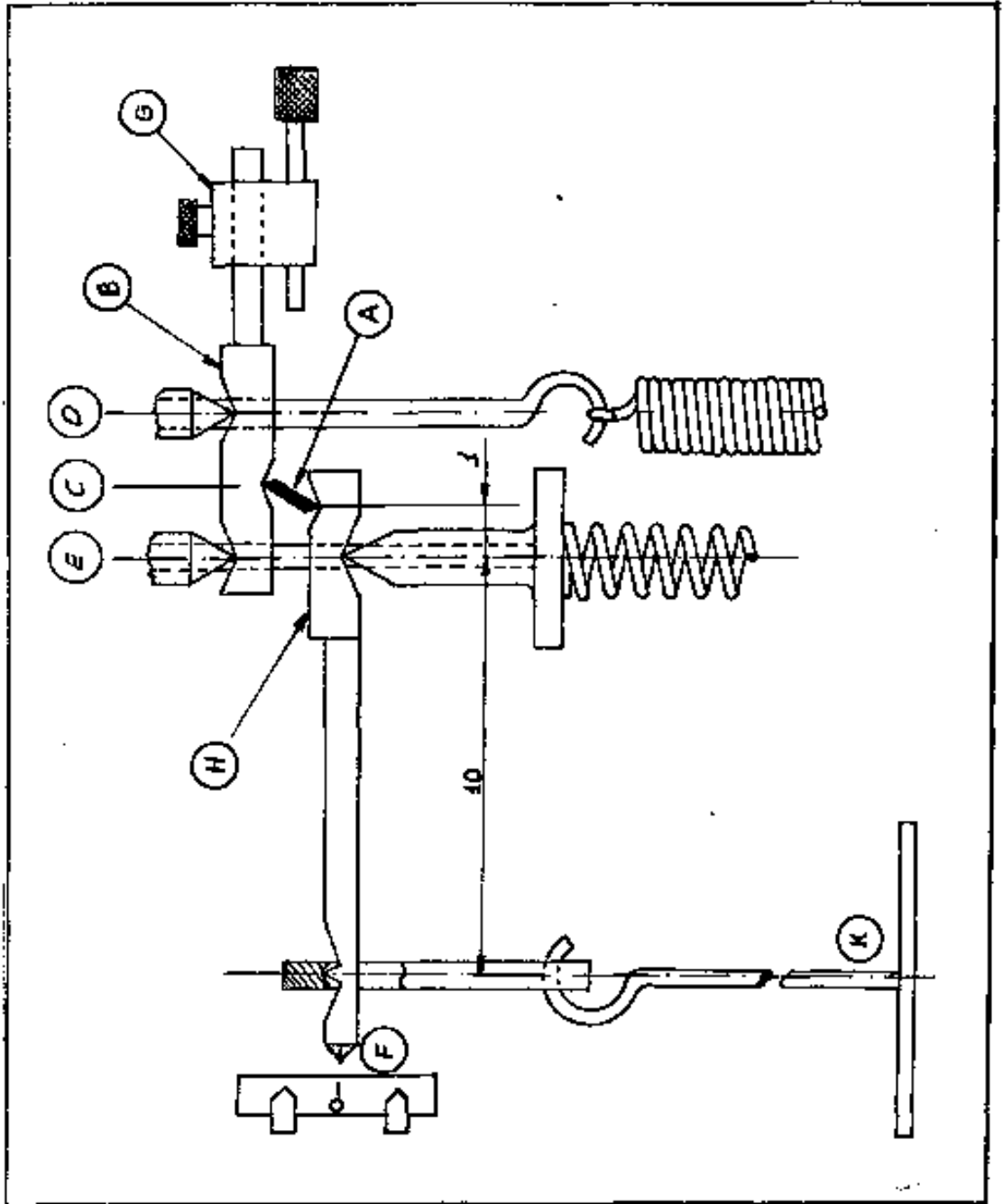
Berger ve Kaiser (2006), tel çapı 2-5 mm olan helisel bası yaylarından 160 tanesini aynı anda test edebilen bir makine ile yaptıkları deney sonuçlarını sunmaktadırlar. Del Llano-Vizcaya ve ark. (2006) da yayınlarında helisel bası yaylarında çok eksenli yorulma halini inceleyip deneysel sonuçları ile bir hata analizi yapmışlardır. Deneylerinde AISI MB yüksek karbonlu çeliği kullanarak yayları 400°C’de 20 dakika süren bir ısıtma işlemine tabi tutmuşlardır. Çok dar bir gerilme aralığında gerçekleştirilen deneylerin sonuçları yapılan sonlu elemanlar analizi ile doğrulanmaya çalışılmıştır.

Yay yorulmasının tespiti için hazırlanan bir cihazı Tosun ve Özler (2000) bildirilerinde tanıtmaktadırlar. Yay test cihazlarının test hızları için bu yayında 200-500 1/dak önerilmektedir. Deney düzeneğinde yaya iletilen hareket, devir sayısı ayarlanabilen bir elektrik motorundan alınmakta, eksantrik mil ve biyel kolu üzerinden dönme hareketinin doğrusal harekete dönüştürülüp yaya uygulanmaktadır. Cihazda tek bir yay deneye tabi tutulmakta ve uygulanan kuvvet ve oluşan gerilme sabit olmaktadır. Yaya uygulanan kuvvetin değeri de pimli bir mekanizma ile değiştirilebilmektedir.



Şekil 1.26 Laboratuvar tipi bir yay yorma makinesi tasarımı [Tosun ve Özler 2000]

Şekil 1.26 da görülen deney düzeneğinde yaya iletilen hareket, devir sayısı ayarlanabilen bir elektrik motorundan (a) sağlanmaktadır. Ayrıca eksantrik mil ve biyel kolu (b) vasıtasıyla dönme hareketinin doğrusal harekete dönüştürülmesi temin edilmektedir. Bu doğrusal hareket vasıtasıyla iki tabla arasına konan yay (c), tekrarlanan sabit bir aksenal gerilmeye maruz bırakılacaktır. Mekanik olarak etki eden bu tekrarlanan gerilmeden dolayı yay yorulacaktır. Böylece yapılacak olan deneyler neticesinde uygulanan gerilme altındaki yayın sürekli dayanım ömrü tespit edilebilecektir. Tablalardan biri hareketli (d) olup diğeri ise sabittir. Sabit tabla (e) kendisine tespit edilmiş bir ayar vidası (f) yardımıyla ileri-geri hareket edebilmektedir. Bu işe, deney makinesinde farklı uzunluktaki yaylar içinde deneylerin yapılmasına müsaade etmektedir. Ayrıca, yayın sıkıştırma miktarı da eksantrik mil üzerine açılmış bulunan 10 adet ayar delikleri (g) sayesinde değiştirilebilmektedir. (Tosun ve Özler 2000)



Şekil 1.27 Helisel Yayların Statik Karakteristiklerini ölçme ve kontrol etme cihazı
[Musulluoğlu 1987]

Elle çalışan bu cihazın en büyük yüklenme kapasitesi basma yayları için 110 kgf, çekme yayları için ise 55 kgf dir. Cihaz hem çekme yaylarını hem de basma yaylarının kontrolünü yapabilmektedir. Bu cihazın iskeleti alt gövde, üst gövde ve bu gövdeleri

birleştiren iki sütundan oluşmaktadır. Alt gövdede yükü uygulamaya yarayan mekanizma, üst gövde de ise dengeleme mekanizması bulunmaktadır.

Cihazın genel çalışma prensibi, yükün bir kremayer dişlisi yardımıyla yaya, yaydan da dengeleme koluna iletilmesi şeklindedir. A koluna uygulanan yük bir kremayer dişli mekanizmasını harekete geçirir ve kremayer dişlinin ucuna monte edilmiş olan B alt çenesi de kremayer dişli ile beraberce aşağı ve ya yukarı hareket eder. C üst basma çenesi ise dengeleme mekanizmasının bir elemanıdır. Basmaya çalışılan yaylar alt ve üst basma çenesinin arasına koyulur. Çekmeye çalışılan yaylar ise D ve E kancaları arasına yerleştirilir. Kremayer dişlinin G kelepçesi ile sıkılabilmesi sayesinde alt basma çenesi belli bir konumda muhafaza edilebilir.

Şekilde dengeleme kısmının şematik bir görünümü görülmektedir. Bu kısım yaydan gelen kuvveti okumaya yarayan bir mekanizma olup, denge halindeki kaldıraç kollarından oluşmuş bir sistemde, toplam momentin sıfıra eşit olduğu ilkesi göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Moment koluna yay tarafından uygulanan kuvvet aynı kola asılan ağırlıkların oluşturduğu karşı momentle dengelendiğinde, moment kolu yere paralel konumu muhafaza etmektedir. Burada alt ve üst kenarları keskin olan bir A sabit mesnede üst gövdeye rijit olarak bağlanmıştır. Bir B kaldıraç kolu ise bu mesnede C noktasından yerleştirilmiştir. D ve E noktaları ters taraflarda fakat C noktasına eşit mesafelerde olduklarından D noktasındaki düşey hareket E noktasında ki ile eşit ve zıt yönlü olacaktır. Aynı şekilde D noktasına etki eden bir kuvvetin C noktasına göre oluşturacağı moment, E noktasına etki eden aynı yönlü eşit şiddette kuvvetin oluşturacağı momentle zıt işaretli ve eşit olacaktır. Bu bakımdan burada, çekme yayının D noktasına yaptığı aşağı yönlü çekme kuvveti etkisinin F göstergesinde oluşturduğu hareket miktarı ve yönü, basma yayının E noktasına yaptığı yukarı yönlü itme kuvveti etkisinin F göstergesinde oluşturduğu hareket miktarı ve yönü ile aynıdır. Bu sebeple çekme ve basma yalarının her ikisi için aynı gösterge kullanılabilir. G dengeleme ağırlığı ise cihazın yüksüz durumdaki tara ayarını yapmaya yani herhangi bir ölçü başlamadan önce gösterge ok ucunun sıfırı göstermesine yarar.

İkinci bir kaldıraç kolu H ise A sabit mesnedine j noktasından dayanmaktadır. Kolun K noktasından ise dengeleyici ağırlıklar asılabilmektedir. Basma veya çekme

yayı kuvvetlerinin bu kol üzerine etki ettikleri noktanın K noktasına olan mesafesi ile j noktasına olan mesafesi arasındaki oran $1/10$ dur. Bu orana göre momentlerin dengelenmesi için momentlerin K noktasına uygulanan yay yükünün $1/11$ i değerinde bir ağırlık koymak yeterlidir. Denge halinde gösterge oku sıfır değerini gösterir.

Şekil 1.27 de sağ sütun üzerindeki H boy hizalayıcıları yay boyunun skala üzerinde tespit ve ayarı için konulmuştur. Yay boy toleranslarının belirlenmiş olması halinde hizalayıcılar yay boyundaki sınırlamaları gösterecek şekilde ayarlanabilir. Toleransın yük içinde verilmiş olması halinde ise sadece bir adet hizalayıcı kullanılır ve bu hizalayıcı yayın belirlenmiş yayını gösterir. I hizalayıcıları ise yay için belirlenmiş olan yükün tolerans sınırlarını göstermek üzere kullanılırlar. (Musulluoğlu 1987)



Şekil 1.28 Yay yorma test cihazı [http://www.instron.co.uk ,2008]

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

2.1 Yay Yorma Makinesinin Tasarımı Ve İmalat Aşamaları

2.1.1 Makinenin tasarımı

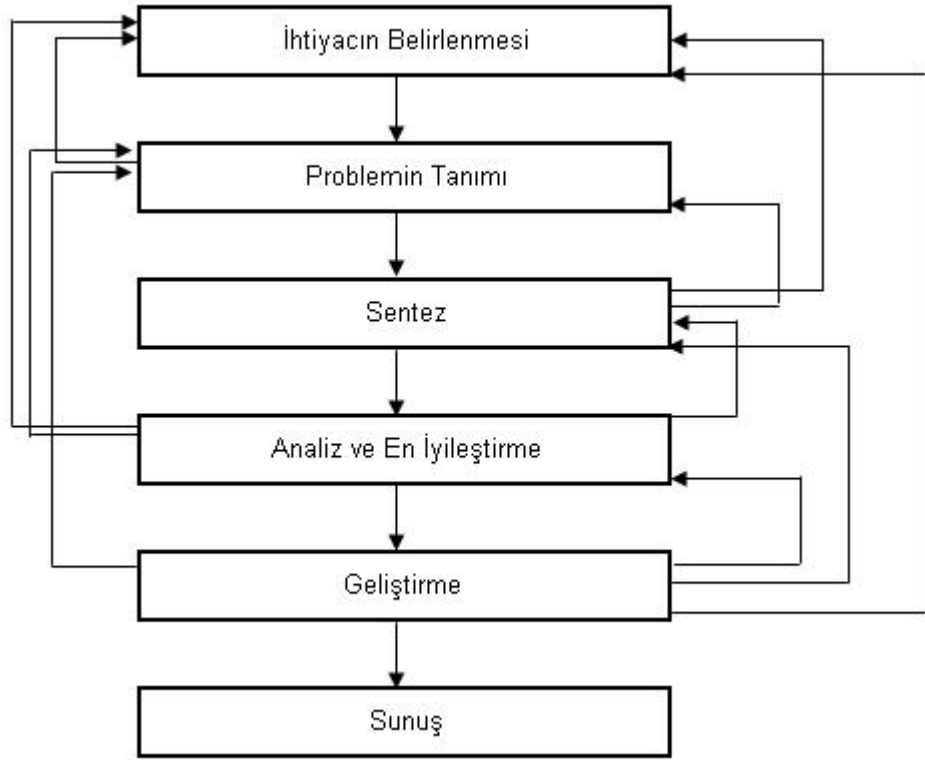
Makinenin tasarımının da, genel bir makinenin tasarımında göz önüne alınması gereken hususlara dikkat edilmiştir. Yüke maruz kalan parçalar dikkate alınarak malzeme seçimleri ona göre yapılmıştır. İmalat ve montajın kolaylığı da göz önüne alınarak makine imal edilmiştir.

2.1.2 Bir makinenin tasarımında göz önüne alınması gereken hususlar;

Bir makinenin en ekonomik, güvenilir ve sağlam olacak şekilde tasarlanması gerekir. Böyle bir çalışmada bilimsellik, koordinasyon, malzeme ve piyasa araştırması ve sağlanan verilerin sürekli olarak iyileştirilmesi aranır.

2.1.3 Tasarımdaki aşamalar

Makine tasarımının arkasında yatan düşünce belirli işlem veya işlemler dizisini yapabilecek bir ürünü tasarlamak ve gerçekleştirmektir. Bir makinenin tasarımında başlangıçtan bitime kadar olan sürecin tamamı şekilde olduğu gibi bir akış şeması biçiminde ifade edilebilir. Süreç, ihtiyacın belirlenmesi ve bu ihtiyacın karşılanmasına karar verilmesi ile başlar. Geriye dönüşlerde yeniden gözden geçirilerek tekrarlanan işlemler dizisinin sonunda süreç ihtiyaca göre tatminkâr bir sunuşla tamamlanır.



Şekil 2.1 Tasarımdaki aşamalar

İhtiyacın belirlenmesinden sonra tasarlanacak makine ile ilgili kalite özelliklerinin tümünü kapsayan problemin tanımı aşaması gelir. Daha sonra gelen sentez aşaması ise en iyi çözümlerin sentezi yapılır. Fakat sentez aşamasının analiz ve iyileştirme aşamasının verileriyle geri beslenmesi gerekir. Çünkü tasarım aşamasındaki sistem performansının kalite özellikleriyle uyum içerisinde olup olmadığının tespiti için analiz edilmesi gereklidir. Analiz ve iyileştirmede sistemin ihtiyaca cevap vermediğinin görülmesi halinde sentez işlemi tekrar başlamalıdır.

Geliştirme aşaması ise toplam tasarım süreci içerisinde çok önemli bir aşamadır. Geliştirme başarılı bir tasarımın son ispatıdır. Burada tasarımın ihtiyaç ve ihtiyaçları gerçekten karşılayıp karşılayamadığı sorusuna cevap aranır. Tasarımın güvenilir olup olmadığı, benzer ürünlerle başarılı bir şekilde rekabet edilemeyeceği, ürünün üretim ve kullanımının ekonomik ve ayrıca bakım ve ayarının kolay olup olmadığı, satışından bir kar sağlanıp sağlanamayacağı hususları araştırılır.

Geliştirme aşamalarının sonunda tasarım son haline getirilir. Burada makine parçaları üzerindeki ilişkinin tümünün görüldüğü bir montaj resmi ve parçalarının her birinin boyut ve özelliklerinin gösterildiği detay resimleri en son haliyle çizilir. Detay resimlerindeki boyut ve özellikler tolerans, yüzey kalitesi, işleme payı, malzeme ve uygulanacak ısı ve kimyasal işlem gibi özellikleri kapsar.

Son olarak yapılan hesaplamalar ve her resim bir daha kontrol edilir. Son tasarımda herhangi bir hata yapıldığında üretim hatalı olacağından bu safhada yapılacak kontrol ve hataların giderilmesi çok önemlidir.

İhtiyacı karşılayan ve en uygun şartları sağlayan ürün, sonuç aşaması olan sunuşta satılmaya ve kullanıma hazırdır.

2.1.4 Mekanik tasarımcının sorumluluğu

Tasarımcının bir tasarım problemine esnek ve açık fikirli olarak yaklaşması, bu konuda üretim yöntemi prensiplerine uygun olarak tüm bölümlerle sıkı ve uyumlu bir ilişki içerisine girmesi ve makinenin yerine getireceği fonksiyondan oldukça şuurdu bir şekilde haberdar olması gerekir.

Mekanik bir makine tasarımcısının sorumlulukları ise aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Makinenin tümünün geometrik şeklinin ve boyutlarının belirlenmesi,
- Makinenin her bir parçası için gerekli malzemelerin tespit edilmesi,
- Her parçanın ayrıntılarının ve tam boyutlarının belirlenmesi,
- Her parçanın yüzey kalitesinin belirlenmesi,
- Parçaların alıştırma ve işleme toleranslarının ve aralarındaki bağıntıların belirtilmesi ve bu durumun detay ve montaj resminde gösterilmesi,
- Elemanların mukavemet hesabında emniyet payı bırakılması,
- Makinenin hareketli kısımlarında oluşabilecek iş kazalarının önlenmesi amacıyla koruyucu tedbirlerin daha tasarım aşamasında alınması,
- Üretim ve montajda ekonomi sağlanması amacıyla değişik parça ve yapıların uygun bir şekilde planlanması,

- Bitmiş parçanın aşınma, oksitlenme, kırılma, yaşlanma vb. etkilerden korumak için yapılacak son işlemin belirlenmesi,
- Eldeki üretim imkânlarına göre üretilebilir nitelikte tasarım yapmak

2.2 Makinenin İmalat Aşamaları

Buradaki makinenin imalat amacı basmaya maruz kalan yayların yorulma sürecindeki ömürlerinin belirlenmesi olduğu için, öncelikli olarak üzerinde durulan husus, sistemi kullanılır, güvenilir ve ekonomik nasıl yapılır sorusunu cevaplandırmaktır. Bu amaçla ilk olarak yaptığımız çalışma da kullanacağımız yayların maksimum ve minimum kapasitelerini belirleyerek, oluşturacağımız ana gövdeyi yay kapasitelerine göre tasarlamaktır.

Yapılan araştırmalar sonucunda kullanılacak motor güçleri ve devirleri geçmişte yapılan deneyler incelenerek belirlenmiştir. Sonraki aşamalarda ise sistemin çalışma prensibi, makinenin boyutları, kapasitesi, çalışma aralıkları ve konumu gibi kalite özellikleri, makineyi meydana getiren bileşenlerin boyut, geometrik şekil ve malzemeleri belirlenmiştir. Daha sonra makineyi meydana getiren parçaları ve bu parçalar arasındaki ilişkinin analizi ve bu analiz sonuçlarına dayanarak iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan iyileştirmelerde makine parçaları, malzeme boyutu, toleransları, ve işleme yönleri bakımından tekrar incelenmiştir. Üretim aşamalarında karşılaşılabilecek problemler göz önüne alınarak tasarım üzerinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Makinenin en önemli kısmı ve deneyin gerçekleştiği yer olan ana gövde malzemelerinin dayanıklı olmasına dikkat edilmiştir. Bu gövdenin yataklanmasına dikkat edilmiştir. Makinenin sürekli çalışacağı göz önüne alınarak kasıtlara ve merkezlemeye dikkat edilmiş ve imalat ona göre yapılmıştır. Merkezleme için indüksiyonlu miller kullanılmıştır. Bu miller kendinden yağlamalı hazır burçlarla yataklanmıştır. Alt ve üst plakanın içine herhangi bir toz ya da pislik kaçmaması için toz keçeleri kullanılmıştır. Gerekli kısımlarda yeterince yüksek kalite malzeme ve işçilik kullanılmıştır. Gereksiz maliyetlerden kaçınılmış ve eldeki imkânlar dâhilinde imalat yapılmıştır.

Parçalar asıl fonksiyonlarının bozulmasına izin verilmeden ve gerekli hesaplamalar yapılarak değişen kısımlara göre yeniden boyutlandırılmıştır. Sistemin çalışması cihazın montaj, ayar, bakım kolaylıkları açısından tekrar incelenmiştir. Mümkün olduğu kadar piyasada bulunan ve kullanılan malzemelerin seçilmesine özen gösterilmiştir. Makinenin imalatında gereksiz detaylardan kaçınılmış ve aynı zamanda tezgah kapasitelerine göre makinenin fonksiyonlarında sınırlama yapmadan işlem yapılmaya çalışılmıştır.

Tasarımda estetik görünüşün göze hoş gelmesine de dikkat edilmiştir. Gelişme çalışmalarının sonunda tasarım son hale getirilmiştir. Bu aşamada cihazın parçaları arasındaki ilişkilerinin tümünün gösterildiği bir montaj resmi ve parçaların detay resmi çizildi.



Şekil 2.2 Makinenin Üretim Aşamasındaki Hali

2.3 Makinenin Montaj Aşaması

İmal edilen ve dışarında hazır alınan parçaların montajının, en hızlı,kolay ve ekonomik olmasına dikkat edilerek makinenin montajı yapılmıştır.Yapılan iş analizlerinde en kolay yöntemler seçilmiş, gerek sökülebilir gerekse de sökülemeyen parçaların birleştirilmesinde makinenin kullanım kolaylığı ve ergonomik özellikler göz önüne alınarak belli bir sıra takip edilerek işlemler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.3 Makinenin montaj aşamasından ve boyandıktan sonraki hali



Şekil 2.4 Makinenin eksantrik bölümünden bir görüntü

2.4 İmalat Aşamasındaki İşlem Sıraları

- 1- Ana gövdenin saclarının kesilmesi ve işlenmesi,
- 2- Ana gövde saclarının kaynak edilmesi,
- 3- Alt ve üst plakaların malzemelerinin kesilmesi işlenmesi ve deliklerinin delinmesi,
- 4- Alt ve üst plaka kapaklarının hazırlanması ve üretilmesi,
- 5- İndüksiyonlu millerin temin edilmesi ve işlenmesi,
- 6- Kılavuzlama mili pullarının imal edilmesi,
- 7- Ana gövdenin İndüksiyonlu millerle, pullar vasıtasıyla monte edilmesi,
- 8- Ana gövdeyi tutan köşebentlerin kesilmesi ve kaynak edilmesi,
- 9- Köşebentlerin ana gövdeye cıvata ile monte edilmesi,
- 10- Eksantrik milin işlenmesi,
- 11- Hazır yatakların temin edilmesi,
- 12- Eksantrik mil kasnağının işlenmesi,
- 13- Motor kasnağının işlenmesi,
- 14- Eksantrik grubunun oluşturulması ve ucuna rulmanın monte edilmesi,
- 15- Yaylara baskı uygulayacak olan baskı kütesinin imalatı,

- 16- Eksantrik grubuyla ana gövdenin birleştirilmesi,
- 17- Makinenin ana şasesinin profillerinin temin edilmesi,
- 18- Profillerin kesilmesi ve kaynak edilmesi,
- 19- Motor oturtma plakasının imalatı,
- 20- Motorun oturtulması ve ayış mesafelerinin belirlenmesi,
- 21- Kayışların takılması,
- 22- Yayların yataklanması için yataklama pimlerinin yapılması,
- 23- Motor muhafazasının yapılması,
- 24- Ayar cıvatasının imalatı,
- 25- Elektrik panosunun temin edilmesi,
- 26- Kullanılacak elektrik ekipmanlarının temin edilmesi ve montajı,
- 27- Swich takozunun imalatı,
- 28- Elektrik montajı,
- 29- Makinenin boyanması,
- 30- Makinenin çalıştırılması,

2.5 Eksantrik Tahrikli Yay Yorulma Makinesi

Bu çalışmada, farklı tel çaplarında ve farklı boylarda olabilecek bası yaylarının, belirli aralıklarda değişen yükler altındaki ömür analizlerinin yapılabilmesine olanak sağlayan bir deney cihazının tasarlanması ve imalatı amaçlanmıştır.

Tasarlanan yay yorma makinesi 3 ana bölümden oluşmaktadır

- 1-Ana gövde: Yayların yataklandığı ve deneyin gerçekleştiği ana bölüm,
- 2-Eksantrik grubu: Eksantrik mil vasıtasıyla yaylara kuvvet uygulanan eksantrik bölüm,
- 3-Makine şasesi: Ana gövde ile eksantrik grubun monte edildiği sistemin dengesini sağlayan bölüm,

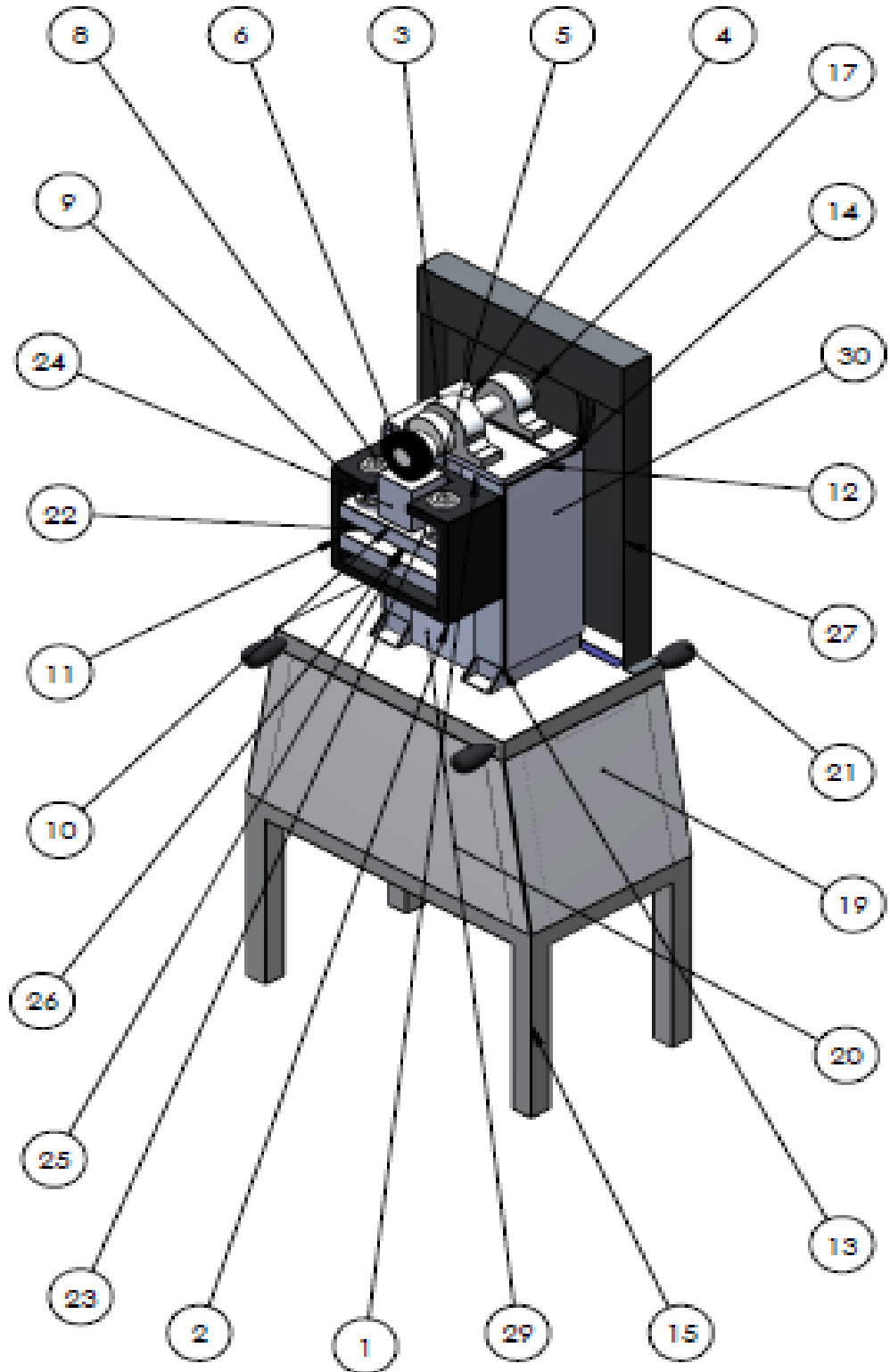
Test cihazının temel çalışma prensibi motordan gelen tahrik, kayış kasnak mekanizmasıyla, devri düşürüldükten sonra eksantrik milin ucuna çakılan rulman vasıtasıyla, üst tablaya uyguladığı baskı sonucu yükün yaya uygulanması şeklindedir. Burada üst tabla hareketli alt tabla sabittir. Yay her tahrikte aynı miktarda sıkışmakta, dolayısıyla her tahrikte sabit bir kuvvet yaya uygulanmaktadır. Maksimum eksantrik

mesafesi 25 mm olup minimum mesafe ise, sabit olan alt tablanın altındaki ayar civatası ile ayarlanıp değişmektedir. Bu sayede istenilen yay boyutu ve basma mesafesi ayarlanıp baskı uygulanmaktadır. Ana gövdeye yerleştirilen milimetrik cetvel vasıtası ile yayın sıkışma miktarı dolayısıyla yaya uygulanacak olan kuvvet ayarlanabilmektedir. Makinenin ebatları 1440 mm yüksekliğinde 630mm genişliğinde ve 360 mm kalınlığında olmaktadır..

Test cihazında test edilebilecek olan yayların ortalama çapı 15-40 mm, boyları da 25-90 mm arasında değişebilmektedir.

Yay, alt tablaya takılan pim ile yataklanmakta ve sabit kalmaktadır. Pim çapları standart bazı çaplarda hazırlanmış olup, özel durumlarda numuneye göre hazırlanmaktadır. Üst ve alt tablanın yataklanması ise indüksiyonlu miller kullanılmıştır. Bu sayede hem merkezleme hem de yataklama yapılmaktadır.

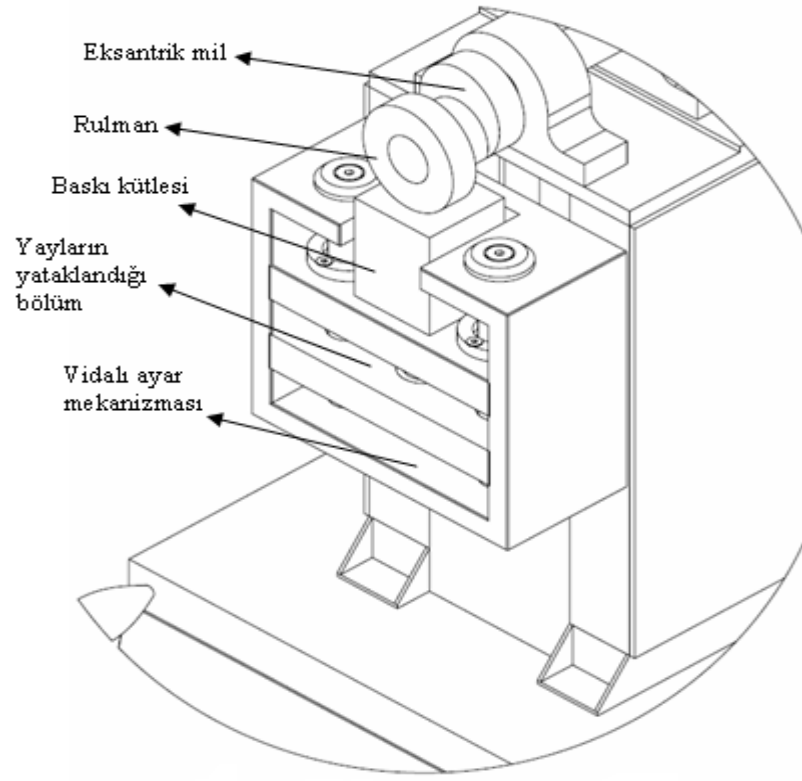
Motorun çalışmasıyla eksantrik milin ucundaki rulman, üst tablaya kuvvet uygulamakta ve yay yorma işlemi başlamaktadır. Otomatik sayaçta, uygulanan kuvvet sayısını elektrik panosunun üzerindeki göstergeden okunabilmektedir. Ana gövdenin arkasında bulunan anahtar takozu üst tablayla beraber hareket etmekte, yay kırıldığı anda üst tabla sınır anahtarına basmakta ve sistem otomatik olarak kendini durdurmaktadır. Böylece yayın kırıldığı tekrar sayısı hatasız şekilde tespit edilmektedir.



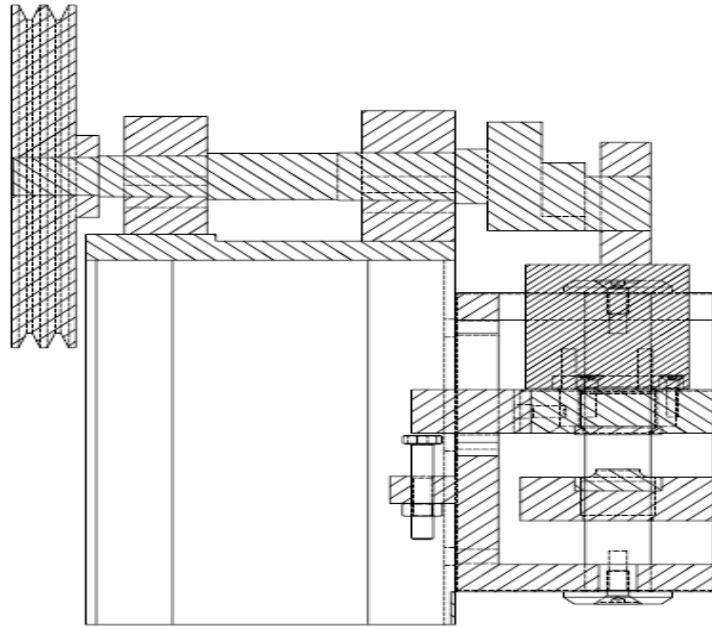
Şekil 2.5 Eksantrik Tahrikli Yay Yorma Makinesi

Çizelge 2.1 Makinenin İmalat Parçaları ve adetleri

PARÇA NO	PARÇA ADI	PARÇA ADEDİ
1	Ana gövde bağlantı U profili	2 adet
2	Ana gövde	1 adet
3	Eksantrik mil yatağı Ø35	1 adet
4	Eksantrik mil yatağı Ø30	1 adet
5	Eksantrik mil	1 adet
6	Rulman	1 adet
7	Swich takozu	1 adet
8	Kılavuz mil pulu	4 adet
9	Kılavuz mili	2 adet
10	Üst plaka	1 adet
11	Alt plaka	1 adet
12	Eksantrik mil yatağı sacı	1 adet
13	Şase-gövde bağlantı U profili	2 adet
14	Şase-gövde bağlantı köşebenti	2 adet
15	Makine şasesi konsolu	1 adet
16	Motor	1 adet
17	Eksantrik mil kasnağı	1 adet
18	Motor oturma plakası	1 adet
19	Yan kapama sacı	2 adet
20	Ön ve arka kapama sacı	2 adet
21	Makine taşıma elcikleri	4 adet
22	Burç	4 adet
23	Üst plaka kapakları	2 adet
24	Kam kolu	1 adet
25	Yay yataklama üst pimi	1 adet
26	Yay yataklama alt pimi	1 adet
27	Kasnak muhafaza sacı	1 adet
28	Motor kasnağı	1 adet
29	Ana gövde ön kapak	1 adet
30	Ana gövde yan kapama sacı	2 adet

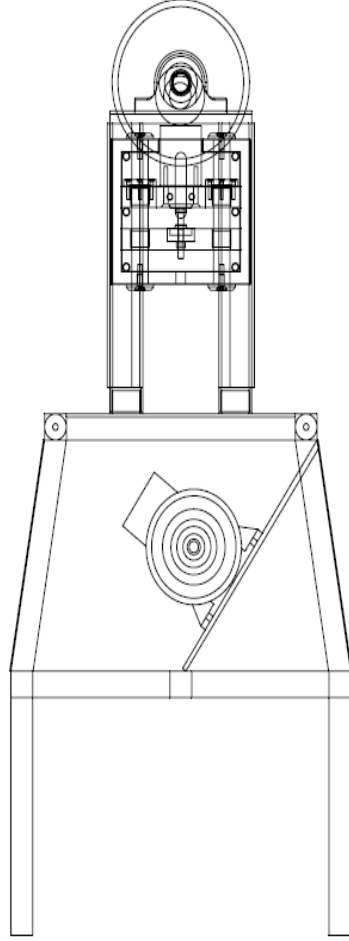


Şekil 2.6 Yayların yatakladığı bölüm

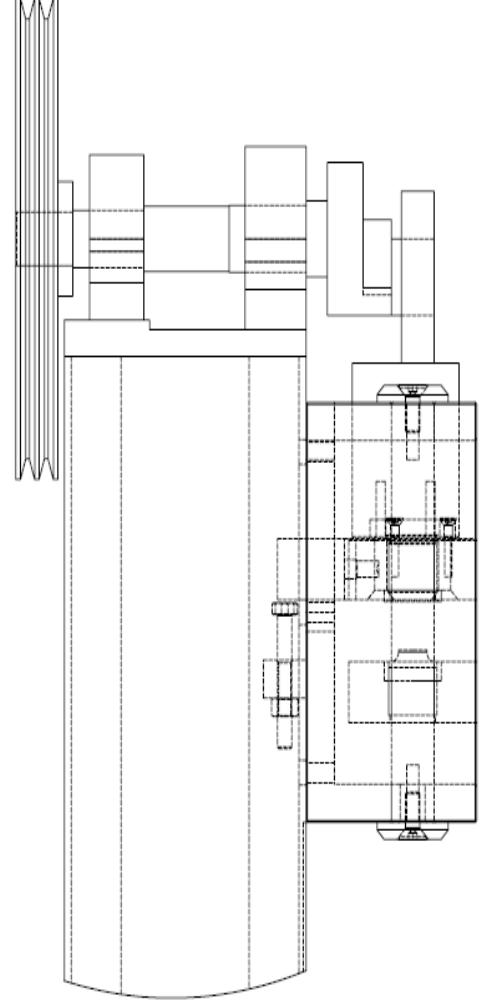


Şekil 2.7 Tahrik bölümü kesit resmi

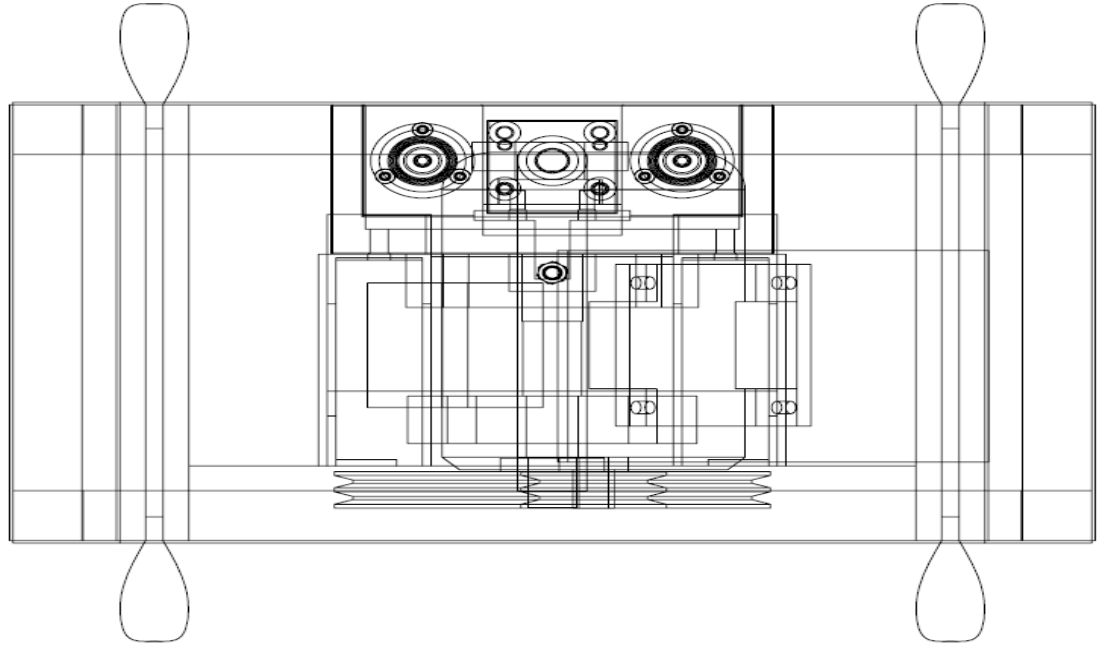
2.6 İmal Edilen Makinenin Montaj Resmi, Bazı Kesit Resimleri, Parçalara Ait Bazı Teknik Resimler Ve Bilgiler



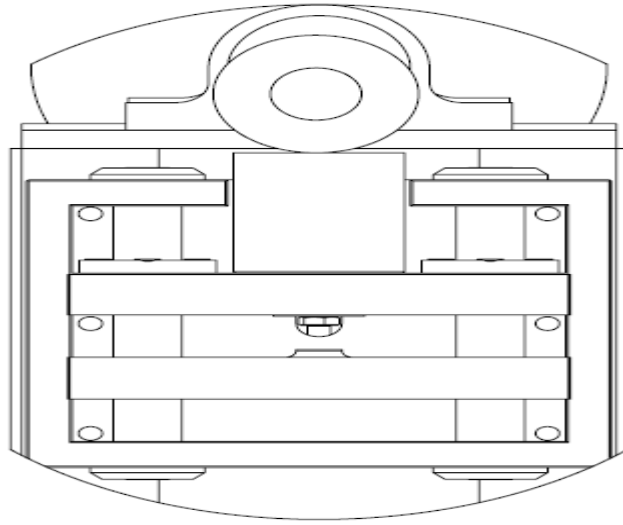
Şekil 2.8 Makinenin önden görünümü



Şekil 2.9 Tahrik grubu



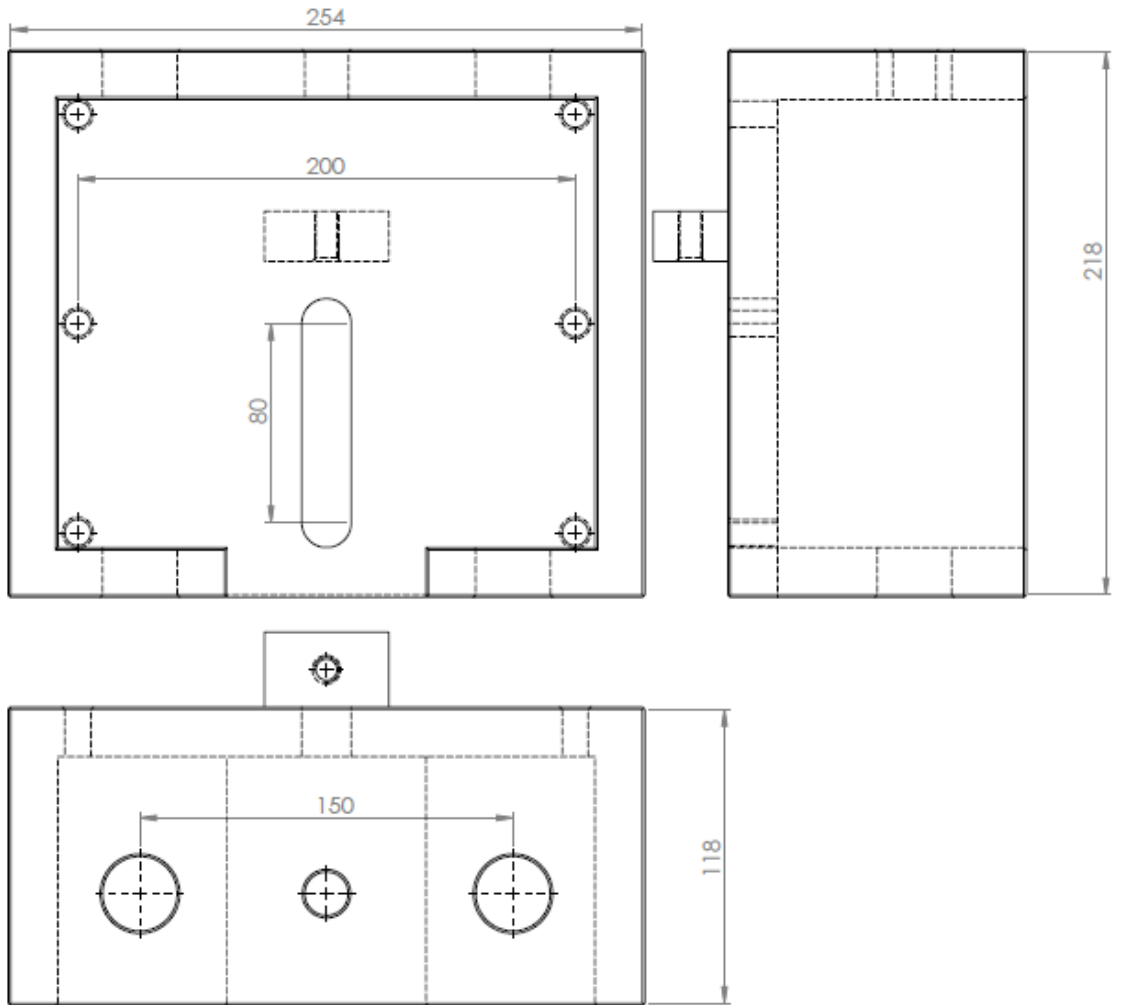
Şekil 2.10 Makinenin üstten görünüm



Şekil 2.11 Ana gövde detay görünüm

1-Ana gövde bağlantı U profili : Ana gövde imal edildikten sonra bu profiller istenilen boylarda hazırlanarak kaynak işlemi uygulanmıştır.

2-Ana gövde: Bu kısım yayların yataklandığı ve deneyin gerçekleştiği kısımdır. Bu bölüm için st 42 malzeme seçilmiştir. Saclar istenilen ölçülerde kesilip kaynakla birleştirilmiştir. Parçanın dış yüzeylerinden talaş alınmıştır. Cıvata ile u profiline bağlanmıştır.

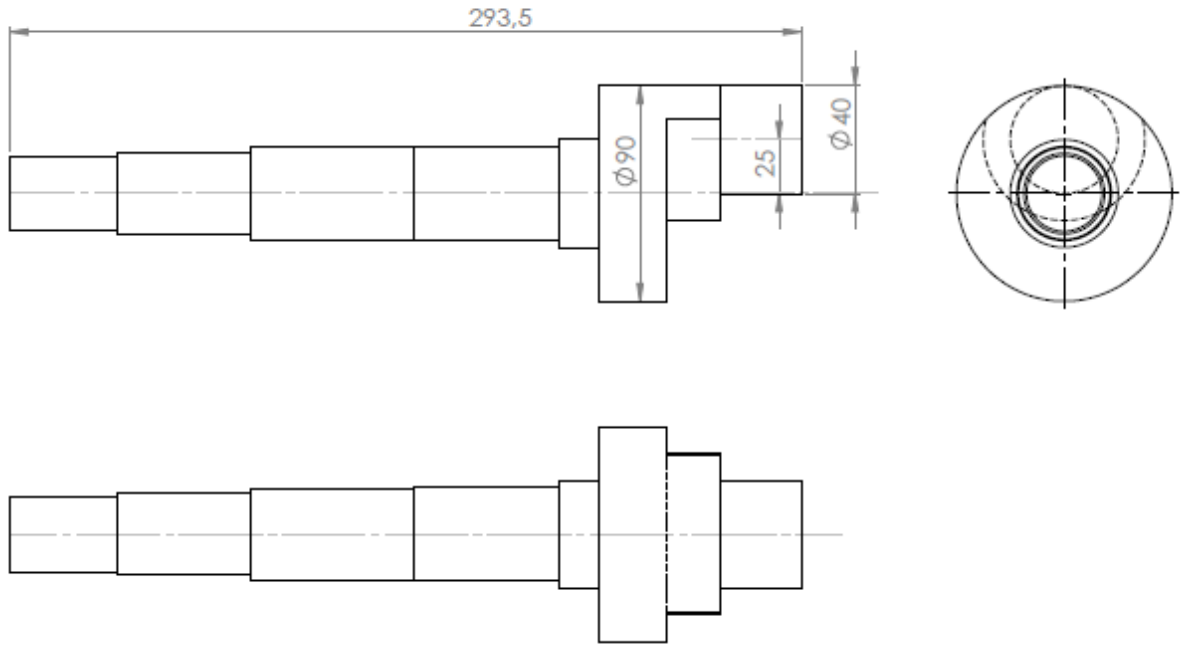


Şekil 2.12 Ana gövde

3- Ekrantik mil yatağı(Ø35): IRS P207

4- Eksantrik mil yatağı(Ø30): IRS P206

5- Eksantrik mil: Ç1050 malzemeden imal edilmiştir.



Şekil 2.13 Eksantrik mil

6-Rulman: Tek sıralı sabit bilyalı rulman No: 6308

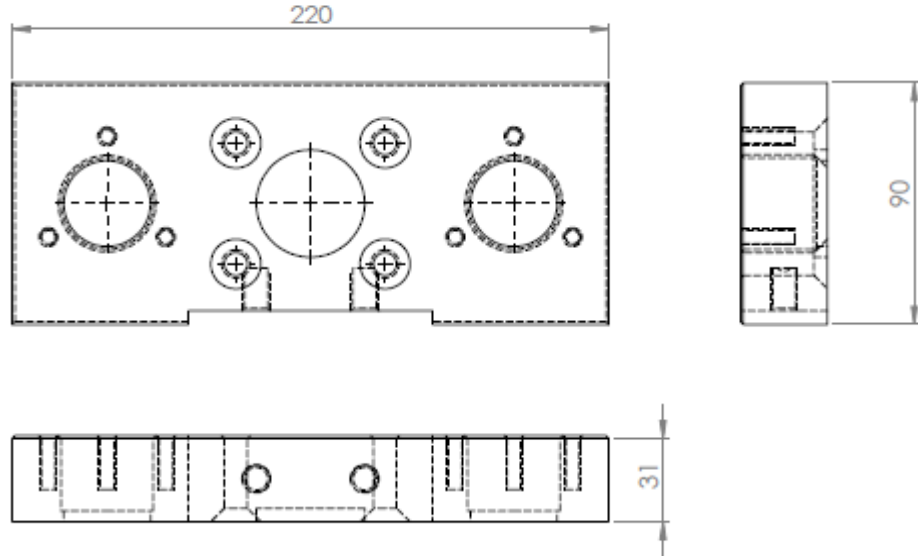
7-Swich takozu: Üst plakayla beraber gezen ve ana gövdenin arkasına yerleştirilen swich e basarak sistemin durmasını sağlayan parçadır.

8- Yataklama mili pulu: Yataklama millerini cıvata vasıtasıyla birleştiren parçadır.

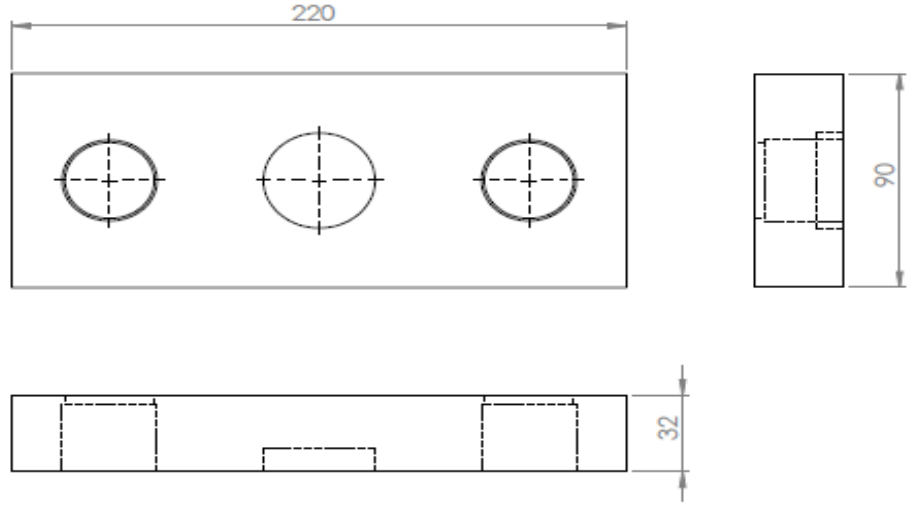
9-Yataklama mili : Bu miller indüksiyonla sertleştirmiş millerdir. Aşınma dayanımı yüksektir. Başlarına diş çekilip yataklama puluyla beraber cıvata vasıtasıyla ana gövdeye monte edilmiştir.

10-Üst plaka : Parça istenilen ebatlarda kesilip işlendikten sonra yataklama millerinin ve burcu monte edebilmek için delikleri delinmiştir. Kullanılan burçlar kendinden yağlamalıdır. Ayrıca milleri yağlama gereği gerekmez. Ayrıca üst plakaya eksantriğin bastığı kütleyi cıvata ile bağlayarak beraber hareket etmesi sağlanır.

11-Alt plaka: Bu parçada üst plaka gibi yüzeyleri işlendikten sonra yataklama milleri için delikleri delinmiştir. Burada sistem alttan ayar mekanizmalı olduğu için plakanın alt kısmına ayar mekanizması için işlem yapılmıştır ve yayların sabit kalmaları ve deney esnasında hareket etmemeleri için de pim yuvaları açılmıştır.



Şekil 2.14 Üst plaka



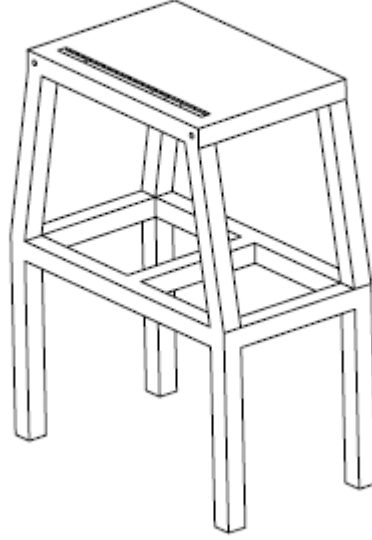
Şekil 2.15 Alt ayarlı plaka

12-Eksantrik mil yatağı sacı: Bu sac eksantrik milin yataklarının oturduğu sactır.yataklar bu saca cıvata ile bağlanmıştır. Bu sac ana gövde bağlantı U profillerine kaynak ile birleştirilmiştir.

13- Şase-Gövde bağlantı U profili: Ana gövde bağlantı U profillerinin altında ki profillerdir. Ayrıca makinenin alt ve üst kısım olarak ayrılmasını sağlayan ekipmandır. Ana gövdeye kaynak ile birleştirilmiştir.Alt şaseye ise cıvata ile birleştirilmiştir.

14-Şase-Gövde bağlantı köşebentisi: Ana gövde bağlantı u profilinin karşı saclarıdır. Şase-gövde U profilinin arka bağlantı saclarıdır.

15-Makine şasesi konsolu: Bu kısım makinenin sehpa kısmıdır. Sistemin dengesini sağlayan bölümdür. 40*40 profillerden oluşmuştur.



Şekil 2.16 Makine konsolu

16- Motor: Motor gücü 1kw 1000 devir/dakika

17-Eksantrik mil kasnağı: Pik dökümden yapılmıştır. 10'luk kayışlara göre kayış yerleri açılmıştır. Kasnak çapı 252 mm dir.

18-Motor oturtma plakası: Makine konsolunun alt kısmına kaynak edilmiştir.

19-Yan kapama sacı : Makine konsolunun yan kısımlarını kapatan sactır.

20-Ön ve arka kapama sacı: Makine konsolunun ön ve arkasını kapatan kısımdır. Bir taraf kaynakla birleştirilmiştir. Diğer taraf ise herhangi bir aksaklık anında müdahale edebilmek için cıvatalı yapılmıştır.

21-Makine taşıma elcikleri: Ergonomik açıdan herhangi bir taşıma anında elcikler sayesinde daha rahat bir taşıma sağlanabilir.

22-Burç: Yataklama millerinin rahat bir şekilde yağlama gerektirmeden plakalar içinde hareketini sağlayan ekipmanlardır.

23-Üst plaka kapakları: Hareketli olan üst plakanın içine ve ya millere herhangi toz yada pislik kaçmasını engellemek için kapaklar yapılmıştır ve içlerine toz keçeleri konulmuştur.

24- Baskı kütlesi: Üst plakayla beraber hareket eder ve cıvata ile birbirine bağlıdır. Motor hareket ettikten sonra eksantrik milin dönmesiyle rulman bu kütleye baskı uygular. Bu sayede yaylara baskı uygulanır.

25-Yay yataklama üst pimi: Bu parça üst plakanın altına cıvata ile bağlanır. Amacı yayların sürekli temaslarından dolayı ilerleyen zamanlarda olası bir aşınma halinde üst plaka değil de bu pim aşınmış olur ve değişmesi hem maliyet açısından hem de zaman açısından daha uygundur.

26-Yay yataklama alt pimi: Yayların dengede durmasını sağlayan pimdir. İstenilen yay numunelerine göre bu pimler değişir.

27- Kasnak muhafaza sacı: Koruma amaçlı yapılmıştır. Kayış kopması veya olası bir kazayı engellemek amacıyla yapılmıştır.

28- Motor kasnağı: Motor miline göre imal edilmiştir. İstenilen devir sayısına göre çap belirlenmiştir. 10'luk kayışa göre kayış yerleri açılmıştır.

29- Ana gövde ön kapak: Ana gövdenin altında ki küçük sactır.

30-Ana gövde yan kapama sacı: Ana gövde u profillerinin yanlarını kapatan sactır.

3.ARAŞTIRMA SONUÇLARI

3.1 Yapılan Deneyler ve Deney Sonuçları

3.1.1 Numune yayların rijitlikleri ve hesaplamaları

Yay Numune Numarası	50 N	100 N	150 N	200 N	250 N
1	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm
2	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm
3	2 mm	4 mm	5,5 mm	7,5 mm	9,5 mm
4	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	9,5 mm
5	2 mm	4 mm	6 mm	7,5 mm	9,5 mm
6	2,5 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm
7	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm
8	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	9,5 mm
9	2,5 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm
10	2,5 mm	4,5 mm	6 mm	8,5 mm	10 mm
11	2 mm	4 mm	5,5 mm	7,5 mm	9,5 mm
12	2 mm	4 mm	5,5 mm	7,5 mm	9,5 mm
13	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm
14	2,5 mm	4,5 mm	6 mm	8 mm	10 mm
15	2 mm	4 mm	6 mm	7,5 mm	9,5 mm
16	2 mm	4 mm	6 mm	7,5 mm	9,5 mm
17	2 mm	4 mm	6 mm	7,5 mm	9,5 mm
18	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	9,5 mm
19	2 mm	4 mm	5,5 mm	7,5 mm	9,5 mm
20	2 mm	4 mm	6 mm	7,5 mm	9,5 mm

Çizelge 3.1 Yaylara göre kuvvet-sıkışma değerleri

Laboratuarda yapılan deneyler sonucunda deney numunesine sırayla 50 N, 100N, 150N, 200N, 250N, yükleri uygulanmış ve sıkışma miktarları gözlenmiştir. Yukarıdaki tabloda bu değerler verilmiştir.

Bu deneyler sonucunda aşağıdaki tabloda gözlemlendiği gibi sırasıyla yükler uygulandığında aynı miktarda sıkışma ölçülmüştür.

1. Kuvvet için Sıkışma Miktarı	2. Kuvvet için Sıkışma Miktarı	3. Kuvvet için Sıkışma Miktarı	4. Kuvvet için Sıkışma Miktarı	5. Kuvvet için Sıkışma Miktarı
2	4	6	8	10
2	4	5,5	7,5	9,5
2	4	6	8	9,5
2	4	6	7,5	9,5
2,5	4,5	6	8,5	10
2,5	4	6	8	10
2,5	4,5	6	8	10
2	4	5,5	8	10

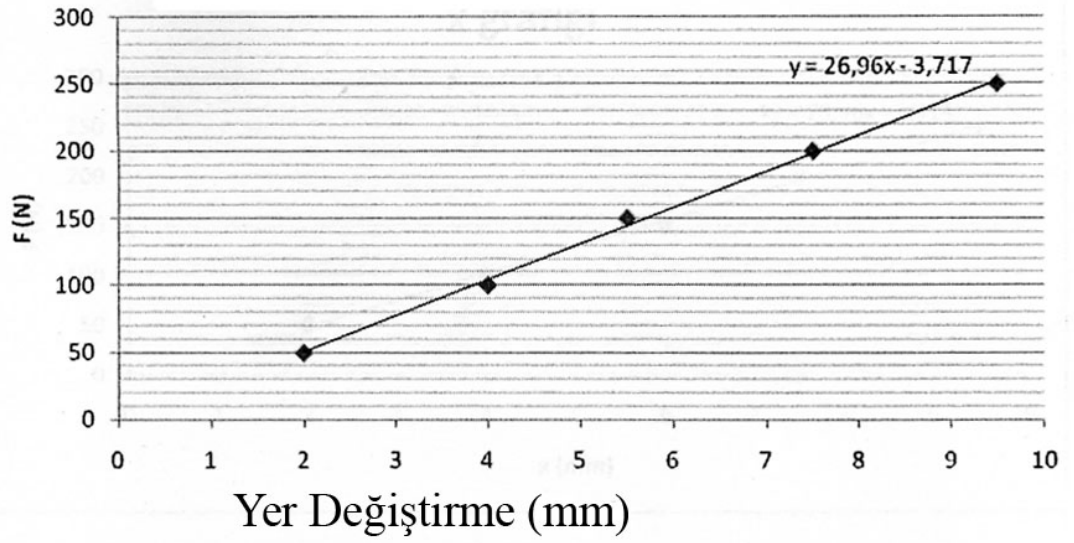
Çizelge 3.2 Uygulanan kuvvet karşısında ki sıkışma değerleri

(c) Rijitlik katsayısı	Numune numaraları
26,96	5-7-15-16-17-20-14-3-11-12
26,24	6-9-1-4-8-18
26,17	10
25	2 13
24,87	19

Çizelge 3.3 Yayların rijitlik değerleri

Aşağıdaki grafiklerde ardı ardına uygulanan 5 yük karşısında ki sıkışma miktarları verilmiştir. Bu grafikler kullanılan deney numunelerinin grafiklerinden bazılarıdır. Bu grafiklerde F/s oranı yay katsayısını verir ve rijitlik olarak adlandırılır.

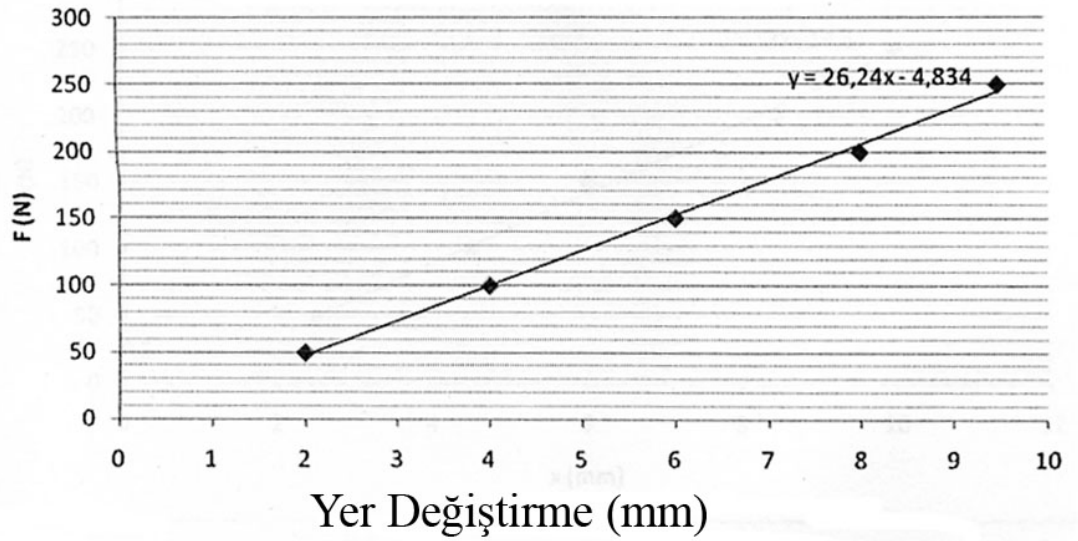
3,11 ve 12 Nolu Yaylar İçin Rijitlik Grafiği



$$c_3 = c_{11} = c_{12} = 26,96 \text{ N/mm}^2$$

Şekil 3.1 3,11,12 nolu yaylar için rijitlik grafiği

1,4,8 ve 18 Numaralı Yaylar için Rijitlik Grafiği



$$c_1 = c_4 = c_8 = c_{18} = 26,24 \text{ N/mm}^2$$

Şekil 3.2 1,4,8,18 nolu yaylar için rijitlik grafiği

Malzeme	R_e (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	Poission
DIN 54SiCr6	1180	1370	206000	80000	0,3

$$D_d = 28,81 \text{ mm}$$

$$D_i = 20,61 \text{ mm}$$

$$d = 4,13 \text{ mm}$$

$$a = 5,21 \text{ mm}$$

$$L_0 = 70,61 \text{ mm}$$

$$\dot{I}_t = 9$$

$$D_0 = \frac{D_d + D_i}{2} = 24,71 \text{ mm} \quad (3.1)$$

$$w = D_0 / d \text{ nin bir fonksiyonudur.} \quad (3.2)$$

$$w = \frac{D_0}{d} = 5,983$$

$$k = 1 + \frac{5}{4} \frac{1}{w} + \frac{7}{8} \frac{1}{w^2} + \frac{1}{w^3} \quad (3.3)$$

$$k = 1,238$$

Soğuk sarılmış yaylarda pratik sınır değerler;

$$d \leq 17 \text{ mm} \quad D_m \leq 200 \text{ mm} \quad L_0 \leq 630 \text{ mm}$$

$$i_y \geq 2 \quad w = D_m/d = 4 \dots 20$$

olarak verilir.

Sıcak sarılmış yaylarda pratik sınır değerleri;

$$D = 8 \dots 60 \text{ mm} \quad D_0 + d \leq 460 \text{ mm} \quad L_0 \leq 800 \text{ mm}$$

$$\dot{I}_y \geq 3 \quad w = D_0 / d = 3 \dots 12 \quad (\text{bir partide üretim sayısı} < 5000)$$

$$d = 9 \dots 18 \text{ mm} \quad D_0 + d \leq 180 \text{ mm} \quad L_0 \leq 180 \text{ mm}$$

$$\dot{i}_y = 5 \dots 12 \quad w = 6 \dots 12$$

Bizim deneylerde kullandığımız yaylar soğuk sarılmış yaylardır.

$$i_y = i_t - 2 \quad i_y = 9 - 2 = 7 \text{ sarım} \quad (3.4)$$

Yay blok uzunluğu :

$$L_{bl} = (i_t + 1) \cdot d \quad (3.5)$$

$$L_{bl} = 41,2 \text{ mm}$$

Yaya gelen en büyük kuvvet $F_{\max}$ uygulandığında yay sarımları arasında toplam s_a kadar boşluk olur.

$$s_a = \left(0,0015 \frac{D_0^2}{d} + 0,1 \cdot d \right) \cdot i_y \quad (3.6)$$

$$s_a = 4,44 \text{ mm}$$

yay rijitliği :

$$c = \frac{F}{s} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_0^3 \cdot i_y} \quad (3.7)$$

$$c = 27,54 \text{ N/ mm}$$

En büyük yük altında iken yayın uzunluğu L_n :

$$L_n = L_{bl} + s_a \quad (3.8)$$

$$L_n = 45,74 \text{ mm}$$

$$L - L_n = s_{\max}$$

$$s_{\max} = 24,86 \text{ mm}$$

$$F_{\max} = c \cdot s_{\max} = 27,54 \cdot 24,86 = 685,01 \text{ N} \quad (3.9)$$

$$\tau_i = \frac{8.F.D_0}{\pi.d^3} = \frac{8.685,01.24,71}{\pi.4,13^3} = 611,87 N / mm^2 \quad (3.10)$$

$$\tau_{\max} = k.\tau_i = 1,238.611,87 = 757,52 N / mm^2 \quad (3.11)$$

Serbest yüksüz halde yay uzunluğu:

$$L_0 = 2.D_0.i_y.\tan \alpha \quad (3.12)$$

$$\alpha = 11,53^\circ$$

Yay teli hacmi:

$$V = \frac{\pi.d^2.D^0.i_y}{4} = 2317,18 mm^3 \quad (3.13)$$

Üst tabla ağırlığı dolayısıyla bir kuvvet uygulanacaktır. Üst tablanın ağırlığı 8,8 kg dır.

$$8,8 \cdot 9,81 = 86,328 N$$

$$\tau_{alt} = \frac{8.F.D_0}{\pi.d^3} = \frac{8.86,328.24,71}{\pi.4,13^3} = 77,11 N / mm^2 \quad (3.14)$$

1 numaralı yay için yapılan hesaplar

$$s_1 = 21,5 mm$$

$$F = c.s$$

$$F = 592,27 N$$

$$s = \frac{F.D^3.\pi.i_y}{4.G.J_p} = \frac{8.F.D_0.i_y}{G.d^4} \quad (3.15)$$

$$s = 21,49$$

deneyde bulduğumuz değer 21,5 mm dir

$$\tau_i = \frac{8.F.D_0}{\pi.d^3} = 529,035 \text{ N/mm}^2 \quad (3.16)$$

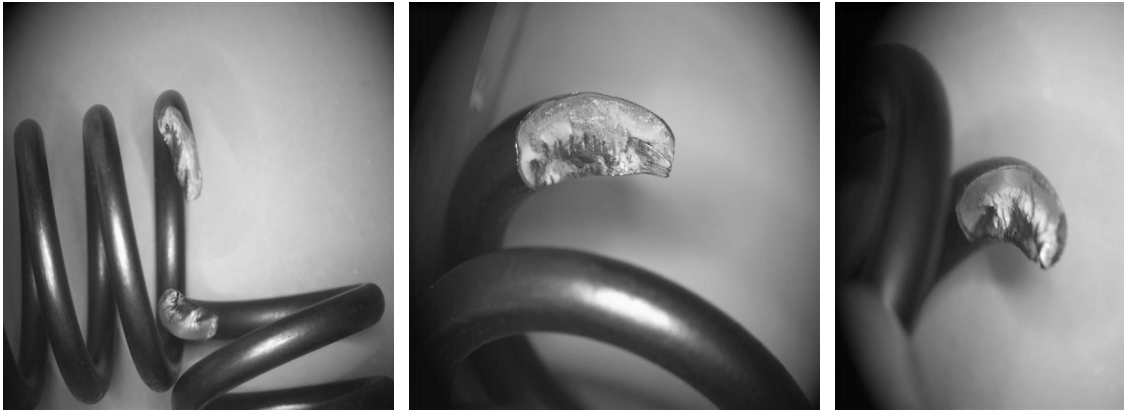
$$\tau_{\max} = k.\tau_i = 1,238.529,035 = 654,96 \text{ N/mm}^2 \quad (3.17)$$

Makinenin denenmesi amacıyla bazı deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin bazılarında numunelerin kırılması başarılmaz bazılarında ise sonsuz ömür değerlerine ulaşılmıştır. Gerçek deneylere başlamak için yol gösterici olacak olan bu deneylerde kullanılan yayın özellikleri şöyledir;

Yay teli çapı	4 mm
Dış çap	28 mm
İç çap	20 mm
Boy	55 mm
Yaylanan sipir sayısı	6
Yay malzemesi	54SiCr6

Yukarıda özellikleri belirtilen yay 770 N değerindeki maksimum kuvvetin etkisi altında 520799 tekrar sayısında kırılmıştır. Burada yaya uygulanan kuvvet sadece bu maksimum kuvvet olmayıp konstrüksiyon gereği yay her zaman 8,8 kg'lık baskı kuvvetinin de etkisi altındadır. Dolayısı ile yay uygulanan kuvvet ~ 80 N ile + 850 N arasında değişen bir dinamik kuvvettir.

Kırılan yayın kırılma bölgesinin fotoğrafları Şekil 'de görülmektedir.



Şekil 3.3 Kırılan yayın kesit resimleri

Yapılan deney sonucunda numune olan yay kırılmıştır. Bu aşamadan sonra deneylere yay malzemesi değiştirilerek devam edilmektedir. Şu anda üzerinde çalışılan yaylarlar DIN 17223-C serisi olmaktadır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1 İmal Edilen Cihazdaki Aksaklıklar Ve İyileştirmeler

- İmal edilen cihazda ilk göze çarpan husus eksantrik mesafesinin sabit olmasından kaynaklanan aksaklıktır.
- Üst tablanın olması yaya eksantrik dışında bir kuvvetin uygulanacağı anlamına gelmektedir. Bu durum da bileşik bir gerilme meydana gelecektir.
- Üst kütlenin ağırlığı kullanım açısından biraz zor olduğu için makine tasarımında bir hata olarak göz önünde bulundurulabilir.
- Yay boylarının ve çaplarının sınırlı olması sadece belli başlı yaylar için deney imkanı vermektedir.
- Belli rijitlikler dışında ki yayların deney numunesi olmaması tasarım için aksaklık boyutu olarak nitelendirilebilir.

Bununla beraber yapılan çalışmada cihazın konstrüksiyon ve tasarım açısından olumlu yönlerinin de diğer cihazlara göre daha fazla olduğu düşünülmektedir. Bunlardan bazıları;

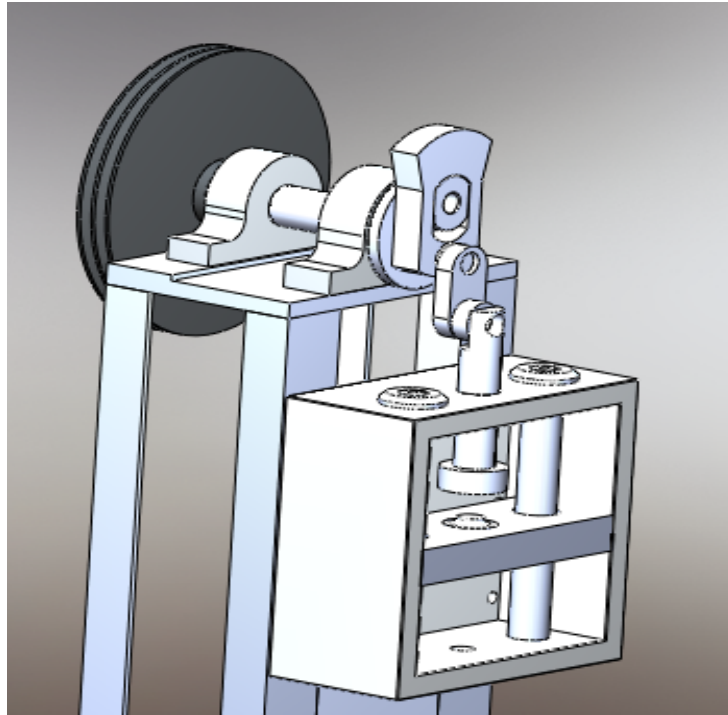
- Eksantriğin, yayları kaç kez bastığı otomatik olarak makine üzerinden izlenmesi
- Yay kırıldığı zaman cihazın otomatik olarak durması,
- Yay mesafesini ayarlama kolaylığı,
- Kurs mesafesini ayarlamak mümkündür,
- Kırılan yayın fırlamaması için önüne muhafaza yapılması,
- Taşınabilirliğinin kolay olması,

Tüm bu durumlar göz önünde bulundurularak, cihazın olumlu ve olumsuz yönleri kontrol edilip, tekrar bir konstrüksiyon tasarladığımızda, ilk cihaza göre daha kullanışlı bir makine çıkacaktır.

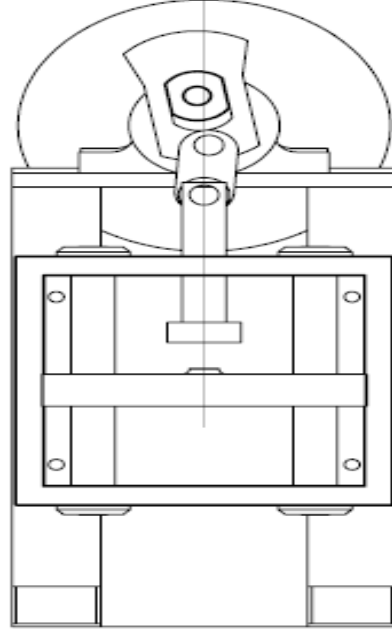
4.2 Tasarlanan Yeni Cihaz

Bu cihaz tasarlanırken daha önceki tasarlanıp üretilen yay yorma makinesin de görülen aksaklıklar giderilerek yapılmaya çalışılmıştır. İlk plan da yapılan çalışma önceki makinede sabit olan eksantriği hareketli konuma getirmektir. Bunun için eksantrik olan mil değiştirildi. Eksantrik milin ucuna takılan rulman çıkarıldı. Bunun yerine yeni tasarlanan milin ucuna aparat tasarlanarak bu aparata koza delikleri açılıp aşağı-yukarı hareket mesafesi sağlandı. Üst tablo yerine, yaya baskı yapacak olan mili tasarlanan aparata bir pim vasıtasıyla bağlayıp, motordan gelen tahrik, mili döndürdüğü zaman sistem çalışmakta ve yaya baskı uygulamaktadır. Yayların uçlarına yayların kırıldığını tespit edebilmek için sensor takılacaktır. Bu sayede yay kırılınca motor duracaktır.

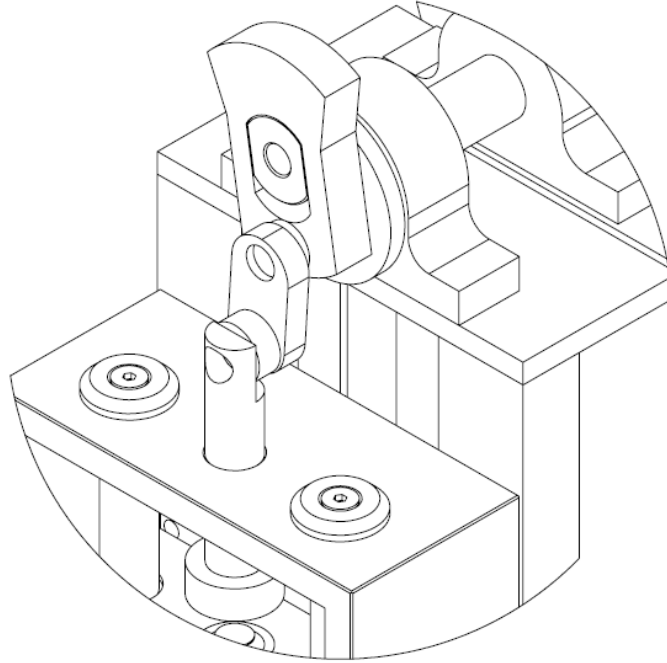
İstenilen kurs mesafesi, milin ucuna bağlanan aparat ile istenilen mesafede ayarlayıp bir cıvata ile sabitlenir. İstenilen yay boyuda yine alt tablada ki ayar mekanizması ile ayarlanmaktadır. Şekilde sistemin bazı görüşleri ve resimleri verilmiştir.



Şekil 4.1 Tasarlanan yeni konstrüksiyon



Şekil 4.2 Yeni tasarımın önden görünüm



Şekil 4.3 Baskı mesafesinin detay resmi

Bu konstrüksiyonun diğer tasarıma göre avantajları,

- Eksantrik mesafesi ayarlanabilir.
- Üst plakanın olmaması sayesinde yaya bir ön gerilme uygulanmayacaktır.
- Rijitliği daha yüksek yaylar da denenebilmektedir.
- Gürültü daha az olmaktadır.

Bu çalışmada yay yorulma deneylerinin yapılması için, değişken özellik ve boyutlardaki yaylara farklı kuvvetler uygulayabilecek bir yorulma deney cihazının tasarlanması ve imalatı amaçlanmıştır. Başlangıçta belirlenen isteklere göre tasarlanan cihaz imal edilmiş ve çalışması ön deneyler yapılarak kontrol edilmiştir. Bu deneylerin sonucunda üretilen cihazın çalışma koşulları incelenmiş ve cihazın çalışması konusunda herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Bunun neticesinde yeni yay numuneleri elde edilerek deneylere başlanmıştır. Deneyler hala devam etmektedir.

Çalışma sonucunda oluşan tüm aksaklık ve hatalara rağmen, bunların hepsinden birer ders çıkarılmış olup tasarım konusunda deneyimimiz biraz daha artmıştır. Bunun sonucunda kendi imkanlarımızla neler yapabileceğimizi görmüş olup, yerli malzeme kullanılarak ve teknolojik gelişimleri takip ederek te , yeterli hassasiyet ve güvenilirlikte bir cihazın imalatı yapılmış olmaktadır.

Cihazın tasarım, imalat, montaj ve deneme safhalarında çıkan hatalar üzerinde uzun süre düşünülmüş olup, bazı safhalarda gereğinden fazla vakit kaybı oluşmuştur. Bu durumda , böyle bir tasarım ve imalatla koordine bir çalışanın ne kadar gerekli olduğunu göstermektedir.

Yapılan ön deneylerin sonucunda cihazın özellikle kuvvet uygulama konusunda sınırlarının olduğu gözlenmiştir. Bunun dışında cihazın tasarımı gereği belirli rijitliğin altındaki yayların denemesi yapılamamaktadır. Bu olumsuzlukların imal edilecek olan ikinci bir cihazda değiştirilmesi düşünülmektedir. Şu aşamada cihaz üzerinde rijitliği yüksek helisel kalıp yaylarının denenmesine devam edilmekte olup ayrı bir cihazın da tasarımı yapılmış olmakla birlikte, bazı eksikliklerinin giderilmesi durumunda üretime başlanacaktır.

KAYNAKLAR

BABALIK, F.C. 2008. Makine elemanları ve konstrüksiyon örnekleri ,Nobel Yayınları

BERGER, C. And KAİSER, B. 2006. Result of very high cycle fatigue tests on helical compression springs, Internotional Journal of Fatigue ,28, 1658-1663

GÖKBAKAR, H. 2000. Enerji biriktirme elemanlarının incelenmesi ve bilgisayar programı ile hesaplanması, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (23-25)

GÜMÜŞ, F. 2006. Bilgisayar Destekli helisel yay tasarımı, Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara 10-24, 39-42

HASÇALIK, A.1998. Yaprak yay yapımında kullanılan 35Cr4 çeliğinin Fretting yorulma davranışının araştırılması, Doktora tezi , Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (30-43)

[http:// www.batiyay.com.tr](http://www.batiyay.com.tr) Erişim Tarihi 15.11.2008 Konu: Değişik yay örnekleri

[http:// www.estetikyay.com.tr](http://www.estetikyay.com.tr), Erişim Tarihi 10.03.2009 Konu: Helisel bası yay örnekleri.

[http:// www.instron.co.uk](http://www.instron.co.uk), Erişim Tarihi: 17.09.2008 Konu: Değişik yay makineleri

[http:// www.karcelik.com.tr](http://www.karcelik.com.tr), Erişim Tarihi : 11.02.2009 Konu : Kepenk yayı örneği

[http:// www.tursanyay.com.tr](http://www.tursanyay.com.tr), Erişim Tarihi : 12.03.2009 Konu : Helisel yay çeşitleri

[http:// www.yayse.com.tr](http://www.yayse.com.tr), Erişim Tarihi: 09.11.2008 Konu: Yay çeşitleri

L.DEL LLANO-VIZCAYA ve ark. 2006. Multiaxial fatigue and failure analysis of helical compression springs, Engineering Failure Analysis 13, 1303-1313

MEISSNER, M. And SCHORCHT, H.J. 2007. Metallfedern, Springer, Berlin.

MUSULLUOĞLU, M. 1987. Helisel yayların statik karakteristiklerini ölçme ve kontrol etme cihazının tasarımı ve imalatı, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ÖZPAR, T. 2007. Makine parçalarının ömür hesaplarında weibull dağılımının hasar teorileri ve istatistik dağılım fonksiyonlarıyla karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13-15

PIHTILI, H. ve ÖZLER, L. 1997. Yay tellerinde yorulma ve yorulma deneylerinde izlenecek temel esaslar , Mühendis ve Makine Şubat (2007) , (38-41)

- TARHANLI, N. ve SAATÇI, G. 2007. Makine parçalarının ömür hesaplarında Wöhler eğrilerinin pratik çizimi, Makine Mühendisleri Odası II. Demir –Çelik Sempozyum bildirileri / 2007 (11-15)
- TOSUN, N. ve ÖZLER, L. 2000. Laboratuvar tipi bir yay yorma makinesinin tasarımı ve imalatı ,Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi UMTIK ,ODTÜ, Ankara (62-69)
- ÜN, H. 2009. PAÜ İnşaat Bölümü Malzeme bilgisi ders notları,

ÖZGEÇMİŞ

MAHMUT BURHAN

E-posta: mahmutburhan@hotmail.com

Kişisel Bilgiler:

Doğum yeri: Bursa

Doğum tarihi: 05.08.1984

Medeni Durumu : Bekar

Eğitim Durumu

Lisans Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü 2003 - 2007

Lise Bursa Erkek Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı) 1998 – 2002

İş Tecrübeleri:

KAMGARN TEKSTİL A.Ş. Ağustos 2006 (STAJYER)

BURÇELİK A.Ş. Haziran 2006 (STAJYER)

KARAN MAKİNA SAN.TİC.LTD.ŞTİ. (Ekim 2007 den beri)

Yabancı Dil Bilgisi : İngilizce

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Yard.Doc.Dr. Kadir ÇAVDAR'A , deneylerin yapımında yardımını esirgemeyen Öğretim Görevlisi Dr. Fatih KARPAT' a, makinenin imalatı sırasında her türlü desteği sağlayan Karan Makina Genel Müdür Yardımcısı Mustafa KARAN' a ve Karan Makina personeline, sunum çalışması sırasında sağladıkları katkılarıyla Oğuz KALAFAT ve Metin ÇALIŞKAN' a , çalışmalarım süresince her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

