

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**YAPRAK YAYLARIN BİLGİSAYAR DESTEKLİ
YORULMA ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR POLAT

BALIKESİR, NİSAN - 2012

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**YAPRAK YAYLARIN BİLGİSAYAR DESTEKLİ
YORULMA ANALİZİ**

YÜKSEK LISANS TEZİ

ONUR POLAT

BALIKESİR, NİSAN - 2012

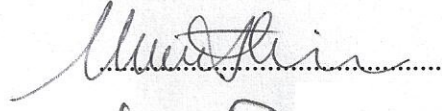
KABUL VE ONAY SAYFASI

Onur POLAT tarafından hazırlanan "YAPRAK YAYLARIN BİLGİSAYAR DESTEKLİ YORULMA ANALİZİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 02.04.2012 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

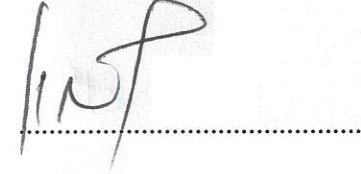
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Nurettin ARSLAN



Üye
Prof. Dr. İrfan AY



Üye
Yrd. Doc. Dr. Demet GÖNEN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Hilmi NAMLI

.....

ÖZET

**YAPRAK YAYLARIN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ONUR POLAT
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. NURETTİN ARSLAN)

BALIKESİR, NİSAN - 2012

Bu çalışmanın amacı yaprak yayların sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma analizlerinin yapılması ve çıkan sonuçlara göre yeni tasarımlar yapılmasıdır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan yaprak yayların, tarım sektöründe toprak işleme amacıyla kullanılan yaylı ayaklara adapte edilerek malzeme, üretim ve işçilik maliyetlerini düşürerek nasıl daha ekonomik üretim yapılabileceği üzerinedir. Yaprak yayların ve toprak işleme ayaklarının malzemesi 55Cr3 çeliktir. Numune yaprak yayların ve ayakların laboratuvar şartlarında yorulma deneyleri yapılarak sınır değerleri görülmüştür. Bu bilgiler ışığında yeni tasarım yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Yaprak yay, toprak işleme, yorulma analizi, sonlu elemanlar yöntemi

ABSTRACT

**COMPUTER AIDED FATIGUE ANALYSIS OF LEAF SPRINGS
MSC THESIS
ONUR POLAT
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: PROF. DR. NURETTİN ARSLAN)

BALIKESİR, APRIL 2012

The purpose of this study is making fatigue analysis of leaf spring using finite element method and creating new designs according to these results. It is about how to make more economical manufacture with minimize material, manufacture, worker costs as a result of adapted leaf springs - which are commonly used in our country – to tillage shank which used for tillage. The material of leaf spring and tillage shank is 55Cr3 steel. After finishing fatigue tests of leaf springs and shanks in laboratory, according to these results new design created.

KEYWORDS: Leaf spring, tillage, fatigue analysis, finite elements method

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|-----------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | v |
| TABLO LİSTESİ | vii |
| SEMBOL LİSTESİ..... | viii |
| ÖNSÖZ..... | ix |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Konvansiyonel Yaprak Yaylar | 2 |
| 1.2 Parabolik Yaprak Yaylar | 2 |
| 1.3 Literatür Araştırması..... | 3 |
| 1.4 Çalışmanın Amacı | 4 |
| 2. KÜLTİVATÖRLER | 5 |
| 2.1 Kültivatörlerin Genel Özellikleri | 5 |
| 2.2 Kültivatör Parçaları..... | 8 |
| 2.2.1 Uç Demirleri..... | 8 |
| 2.2.2 Ayaklar | 12 |
| 2.2.3 Çatı | 14 |
| 3. YAPRAK YAYLAR..... | 15 |
| 3.1 Yaprak Yayların Yapısı | 16 |
| 3.2 Yaprak Yayların Bağlantı ve Hareket İletim Şekillerine Göre Askı Donanımlarında Kullanılması..... | 19 |
| 3.2.1 Yaprak Yayın Ön Askı Donanımında Kullanılması | 19 |
| 3.2.1 Yaprak Yayın Arka Askı Donanımında Kullanılması | 20 |
| 3.2.2 Yaprak Yayın Ağır Hizmet Tipi Araçlarda Kullanılması | 20 |
| 3.2.1 Yaprak Yayın Özellikleri | 21 |
| 4. YORULMA..... | 22 |
| 4.1 Gerilme Yığılma katsayısı | 23 |
| 4.2 Tek eksenli Kuvvetin Tesiri..... | 25 |
| 4.3 Yorulmada Emniyet Katsayısı..... | 35 |
| 4.4 Yorulmaya Etki Eden Faktörler | 36 |
| 5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ..... | 37 |
| 5.1 Sonlu Elemanlar Metodunda Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar | 38 |
| 6. YORULMA TESTLERİ..... | 39 |
| 6.1 Yaprak Yay Yorulma Testi..... | 39 |
| 6.2 Yaprak Yay Teorik hesabı | 41 |
| 6.3 Kumlama..... | 43 |
| 6.4 Yorulma Deney Çalışmaları | 45 |
| 6.5 52RS001819 Test sonuçları | 45 |
| 6.6 CCK Ayak Yorulma Testleri | 46 |
| 6.6.1 Numuneler..... | 46 |
| 6.6.2 Ayak Yorulma Tezgahı ve Özellikleri | 47 |
| 6.6.3 Ayak yorulma testi sonuçları | 51 |
| 7. YENİ TASARIM | 53 |
| 7.1 Analizler | 55 |

| | | |
|------------|--------------------------------|-----------|
| 7.1.1 | Malzeme Özellikleri..... | 55 |
| 7.1.2 | Mesh işlemi | 59 |
| 7.1.3 | Sınır Şartları | 60 |
| 7.1.4 | Yorulma Şartları..... | 61 |
| 7.1.5 | Analiz Sonuçları..... | 62 |
| 7.1.5.1 | Toplam Deformasyon..... | 62 |
| 7.1.5.2 | Maksimum Gerilme..... | 63 |
| 7.1.5.3 | Ömür | 64 |
| 7.1.5.4 | Güvenlik Katsayısı | 65 |
| 8. | SONUÇ VE ÖNERİLER | 66 |
| 9. | KAYNAKLAR..... | 68 |
| 10. | EKLER..... | 70 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1: Yaprak yay | 1 |
| Şekil 1.2: Kompozit yaprak yay | 3 |
| Şekil 1.3: Çelik yaprak yay..... | 3 |
| Şekil 2.1: 9 ayaklı çizel..... | 6 |
| Şekil 2.2: Dipkazan..... | 7 |
| Şekil 2.3: Kültivatör uç demirleri | 8 |
| Şekil 2.4: Uç demirindeki kuvvetler | 9 |
| Şekil 2.5: Kazayağında ki açılar | 11 |
| Şekil 2.6: Çeşitli kültivatör ayakları | 12 |
| Şekil 3.1: Yaprak yay tasarımları | 15 |
| Şekil 3.2: Yaprak yayın yapısı..... | 16 |
| Şekil 3.3: Yaprak yayın parçaları | 17 |
| Şekil 3.4: Yüklü ve yüksüz yay durumu..... | 18 |
| Şekil 3.5: Yaprak yaylı süspansiyon sisteminin temel parçaları | 18 |
| Şekil 3.6: Yaprak yayların ön askı sisteminde kullanılması..... | 19 |
| Şekil 3.7: Yaprak yayların arka askı sisteminde kullanılması | 20 |
| Şekil 3.8: Ana ve yardımcı yaylı askı donanımı | 21 |
| Şekil 4.1: Geometrideki ani değişimlerin gerilmeye etkisi | 23 |
| Şekil 4.2: Karşı çentiklerle bir levhadaki gerilme yığılmasının azaltılması..... | 24 |
| Şekil 4.3: Tek eksenli kevvetin tesiri..... | 25 |
| Şekil 4.4: Negatif - Alternatif - Pozitif tekrar | 26 |
| Şekil 4.5: Temel gerilme değişkenleri | 27 |
| Şekil 4.6: Uygulanan deney örnekleri | 28 |
| Şekil 4.7: Tipik gerilme-ömür (S-N) eğrisi | 29 |
| Şekil 4.8: Deney 1, Deney 2, Deney 3 | 30 |
| Şekil 4.9: Toplu gösterim | 30 |
| Şekil 4.10: Smith eğrisi | 31 |
| Şekil 4.11: Smith eğrisinin rötuşlu hali | 32 |
| Şekil 4.12: Goodman-Soderberg ve Gerber diyagramları | 33 |
| Şekil 4.13: Yorulma emniyet eğrileri | 35 |
| Şekil 6.1: 52RS001819 Kodlu Yaprak Yay..... | 39 |
| Şekil 6.2: 52RS001819 Kodlu Yaprak Yayın Yük-Sehim Grafiği | 40 |
| Şekil 6.3: Makas bağlanmış stresli kumlama tezgâhı..... | 44 |
| Şekil 6.4: Düz konuma getirilmiş makas bağlı stresli kumlama tezgâhı | 44 |
| Şekil 6.5: Makas yorulma tezgahı | 45 |
| Şekil 6.6: Test edilen ayak teknik resmi..... | 46 |
| Şekil 6.7: Makas yormak için kullanılan yorulma tezgahı | 47 |
| Şekil 6.8: Ayak yormak için kullanılan yorulma tezgâhı | 48 |
| Şekil 6.9: Yorulma tezgâhına bağlanan monitör | 48 |
| Şekil 6.10: Yorulma tezgâhı kontrol paneli ve çevrim sayacı..... | 49 |
| Şekil 6.11: 5 nolu numunenin belli bir aralık için zaman-kuvvet verisi..... | 50 |
| Şekil 6.12: Kuvvet-Zaman sayısal verilerinin grafiksel gösterimi | 51 |
| Şekil 6.13: Test sırasında kırılan ayaklar..... | 52 |
| Şekil 7.1: Yeni ayak tasarımı..... | 53 |
| Şekil 7.2: Ayağın özellikleri | 54 |

| | |
|---|----|
| Şekil 7.3: 55Cr3 malzeme özellikleri | 55 |
| Şekil 7.4: Ansys Workbench programına girilen malzeme özellikleri..... | 55 |
| Şekil 7.5: 55Cr3 malzeme ait yorulma diyagramı [9]..... | 56 |
| Şekil 7.6: Ömür grafiği | 57 |
| Şekil 7.7: Strain-Life Parametreleri..... | 57 |
| Şekil 7.8: Strain-Life Diyagramı | 58 |
| Şekil 7.9: Mesh atılmış model | 59 |
| Şekil 7.10: Sınır Şartları | 60 |
| Şekil 7.11: Yorulma tipi | 61 |
| Şekil 7.12: Toplam deformasyon..... | 62 |
| Şekil 7.13: Maksimum gerilme | 63 |
| Şekil 7.14: Ömür..... | 64 |
| Şekil 7.15: Güvenlik katsayısı | 65 |
| Şekil 8.1: Karşılaştırma | 67 |

TABLO LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Tablo 4.1: Çeşitli malzemeler için σ_B , σ_F , σ_W , σ_M değerleri | 33 |
| Tablo 6.1: Kullanılan aşındırıcı tipleri ve standartları | 43 |
| Tablo 6.2: 52RS001819 Test sonuçları | 45 |
| Tablo 6.3: Ayak yorulma testi sonuçları | 51 |
| Tablo 7.1: Şekil 7.4 de bulunan grafikten çıkarılan ömür değerleri | 56 |

SEMBOL LİSTESİ

Sembol : Sembol Açıklaması veya Adı

| | |
|-------------------------|-------------------------------|
| P: | Bileşke Kuvvet |
| P_x: | Bileşke Kuvvet yatay bileşeni |
| P_y: | Bileşke Kuvvet düşey bileşeni |
| b_x: | Uç demiri kesme genişliği |
| q: | Özgül kesme direnci |
| β: | Kesme açısı |
| γ: | Sürtünme açısı |
| α: | Göğüs açısı |
| δ: | Parçalanma açısı |
| i: | Kama açısı |
| ε: | Boşluk açısı |
| L: | Yaprak yay eksen uzunluğu |
| C_r: | Yaylanma oranı |
| F_{Sp}: | Yüklenebilirlik |
| σ_{max}: | Maksimum gerilme |
| σ_{nom}: | Nominal gerilme |
| k: | Yığılma katsayısı |
| σ_m: | Ortalama gerilme |
| σ_a: | Gerilme genliği |
| R: | Gerilme oranı |
| σ_B: | Kopma mukavemeti |
| σ_g: | Genlik gerilmesi |

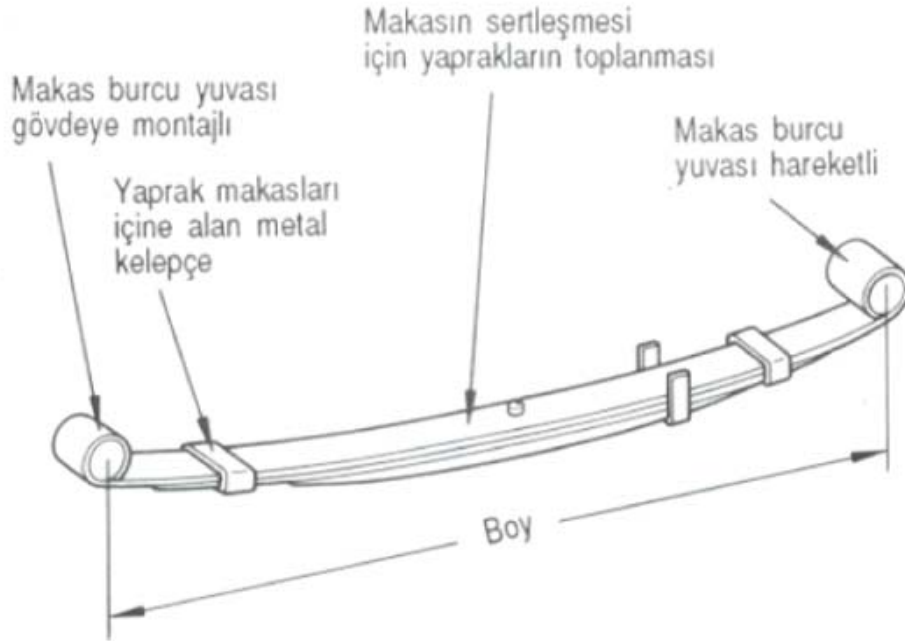
ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında ilk günden itibaren bilgi ve deneyimlerini benden eksik etmeyen Sayın Danışmanım Prof. Dr. Nurettin ARSLAN'a, deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen Aysan Çelik Makine A.Ş. firmasına teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu çalışma sürecinde desteklerini hep yanımda hissettiğim sevgili aileme sonsuz teşekkürler.

1. GİRİŞ

Süspansiyon sisteminin bir elemanı olan ve daha çok taşıtların arka askı donanımlarında kullanılan yaprak yaylar sayıları değişen plakalardan meydana gelirler. Yay yaprakları bir merkez civatası tarafından birbirlerine bağlanırlar ve merkezden uçlara doğru kaymayı önleyici kelepçelerle yapraklar birbirine tutturulmuşlardır. Taşıt üzerinde yayın ortası “U” civatası ile arka aks muhafazasına, uçları ise şasi çerçevesine hareket edebilecek özellikte olan bir yay küpesi ile bağlanmıştır. Yol engebelerinde dolayı çok yapraklı bir yay salınma geçerken hem eğilmeye hem de birbirleri üzerinde kaymaya çalışarak bu salınımları belirli ölçüde yok eder [1]. Şekil: 1.1’de yaprak yay ve bileşenleri açıkça gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Yaprak yay

Yaprak yaylar 2 ana grup altında toplanabilirler.

1.1 Konvansiyonel Yaprak Yaylar

Boyları kademeli olarak değişen sabit kalınlıklı en az üç adet katın bir araya getirilmesi ile tasarlanmış yaprak yaylardır. Bu yaylar, yaylanma katsayısının tek ya da birden çok değerlerde olması durumuna göre, kademesiz, yardımcı ve muavinli olmak üzere üç tipte üretilmektedir.

1.2 Parabolik Yaprak Yaylar

Kesitleri parabolik olarak değişen ve en az bir en çok üç kattan oluşan yaprak yaylardır.

Yaprak yay üretiminde 50CrV4, 51CrMoV4, 55Cr3, 60SiMn5 vb. gibi yay çelikleri kullanılır. Malzemenin kalınlığına göre 800-1000 °C arasında tavlansarak yağda soğutulur. Soğutulan yarı mamuller tav sonu sertliğine göre 450-550 °C arası menevişlenerek su takviyesi ile dış ortam sıcaklığında soğutulmaya bırakılır. (Sertlik 388-444 HB) Böylece malzeme yüksek esneme özelliğini kazanmış olur.

1.3 Literatür Araştırması

Balıkesir Üniversitesi mezunu olan Özden ESEN (2009) tez çalışmasında kompozit yaprak yaylar ile yaklaşık aynı ağırlığa sahip çelik yaprak yayları karşılaştırmış ve sonuçta kompozit yaprak yayların ömrünün çok daha uzun olduğunu göstermiştir. Konvansiyonel yaprak yaylarda ömür 50.000, parabolik yaprak yaylarda 100.000, kompozit yaprak yaylarda ise bu değer 1.000.000 çevrimdir [2]. Şekil: 1.2 ve Şekil: 1.3 de üretimi yapılan yaprak yaylar bulunmaktadır.



Şekil 1.2: Kompozit yaprak yay



Şekil 1.3: Çelik yaprak yay

Yapılan literatür araştırmasında yaprak yayların ve kùltivatör ayakların beraber incelendiği bir çalışma ile karşılaşılmamıştır.

1.4 Çalışmanın Amacı

Günümüzde tarım alanında vazgeçilmez olarak kullanılan kültivatör ayakları, ilk günden bugüne herhangi bir deęiŐiklięe uğramadan üretiliyor ve kullanılmaya devam ediliyor. GeliŐen piyasa ve ekonomik Őartlar iŐıęında kıymetlenen 55Cr3 gibi yay çeliklerinin hem lama olarak alım maliyeti hem de iŐlenen bu lamanın ısıl iŐlemine harcanan gaz vs. tüketimi gittikçe artmaktadır. Mevcut rekabet koŐullarında üretim zamanını düŐürüp verimi arttırmak ta başka bir boyuttur. Bu çalışmanın amacı üretimi zor olan, üretim hatalarına ve kusurlu mamul üretimine müsait olan bir ürüne alternatif geliŐtirmektir.

2. KÜLTİVATÖRLER

Kültivatörler, pulluktan sonra en yaygın kullanılan toprak işleme aletleridir. Çok farklı yapı tipleriyle tohum yatağı hazırlamadan meliorasyon amaçlı toprak işlemeye kadar olan işlemlerde ve tüm bitkililerin tarımında kullanılma alanı bulmuşlardır. [3]

Toprağı yırtarak kabartmak, havalandırmak, toprak keseklerini parçalamak, yabancı otları kesip köklerini toprak üstüne çıkartmak gibi işlemler kültivatörlerin temel görevlerini oluşturur. Kültivatörler toprak yüzeyine atılan tohum ya da mineral gübrenin toprakla karıştırılmasında kullanıldığı gibi, ağır tipleriyle anız bozma işlemleri de yapılmaktadır. Patates ve pancar gibi apa bitkilerinin hasadından sonra pullukla işleme yapmaksızın ve minimum toprak işlemenin en önemli toprak işleme aleti olan kültivatörler gerekli ayarlamalar yapıldığında bitkilerin sıra aralarının işlenmesinde de kullanılmaktadırlar. [3]

2.1 Kültivatörlerin Genel Özellikleri

Kültivatörlerin bu denli yaygın olarak kullanılmasında, yapılarının basit, satın alma bedellerinin oldukça düşük ve kullanılmalarının çok kolay olması en önemli etkenlerdir. Bu durum çok farklı yapıda çeşitli amaçlara uygun kültivatör tiplerinin ortaya çıkmasına neden olur. [3]

Hayvanla çekilen kültivatörler ilk örnekleri oluşturur. Ülkemizde de bu tip kültivatörler azda olsa tohum yatağı hazırlığı ve çapa işlerinde kullanılmaktadır. Genellikle iş genişliği 90 cm yi geçmeyen hayvanla çekilen kültivatörler üç yada dört tekerlek üzerine bindirilmiş üçgen şeklinde bir çatıya 5-7 işleyici organdan oluşurlar. Tekerleklerin konumu değiştirilerek ayarlanan iş derinlikleri 15 cm yi geçmez. [3]

Ağırlığı yaklaşık %40 daha az, dolayısıyla daha ucuz ve basit yapıda olan asma kültivatörler daha yaygındırlar. Traktörün iki askı arasına bağlanan asma kültivatörler özellikle sıra arası işlemede yeğlenmektedir. Traktörün iki askı arasına bağlanan asma kültivatörler daha yaygındırlar. Traktörün arkasına üç nokta bağlantı düzenine asılan kültivatörler ise, çok farklı amaçlar için üzerine çeşitli işleyici organların bağlanabileceği bir çatıya sahiptir. Bazı tiplerinde çalışma derinliği sınırlaması için tekerlek de kullanılmaktadır.

Ülkemizde “çizel” ya da “graham pulluğu” diye bilinen aletler, derin toprak işleme yapan ağır tip kültivatörlerden başka bir şey değildir. Çeki dirençlerinin yüksekliği nedeniyle çelik döküm ile yapılan ayaklar çatıya yaysız kelepçe ile bağlanır. Ayakların ucuna kullanılma amacına göre çeşitli uç demirleri takılmıştır. Çekme ya da asma tip ağır kültivatörler özellikle pulluksuz tarım uygulamasında her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. [3]



Şekil 2.1: 9 ayaklı çizel

Meliorasyon amaçlı kültivatörler dip kazan diye adlandırılır. Bunlar 40 cm nin üzerindeki derinliklerde çalıştırılırlar ve pulluğun oluşturduğu izi tabanı sertliğini kırmak için kullanılırlar. Orta güçlü bir traktör ancak bir, en fazla iki ayaklı olanını çekebilir. Açılan iziler arasındaki uzaklık genellikle 50 cm nin üzerindedir [3].



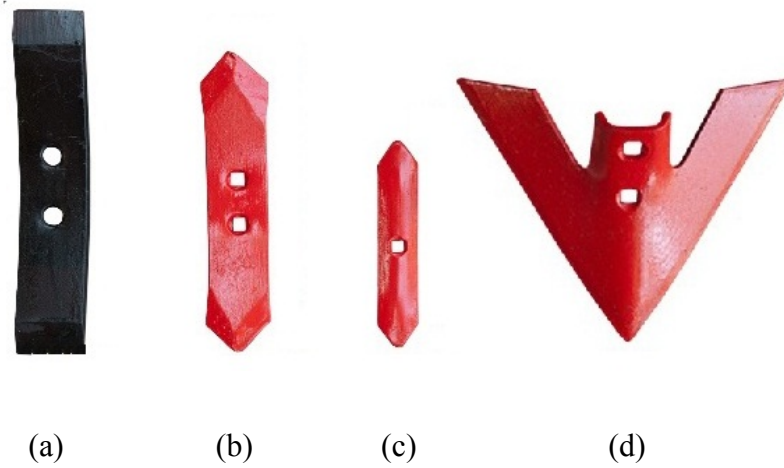
Şekil 2.2: Dipkazan

Meliorasyon amaçlı başka bir kültivatör tipi de ‘‘Dren pulluğu’’ diye adlandırılan ağır kltivatrdr. Özellikle ağır killi toprak koşullarında başarılı bir şekilde kullanılan bu kltivatrlerin uç demiri arkasına, ucu sivri bir silindir ya da bir topaç şeklinde parça bağlanmıştır. Kltivatrn belli bir eğim sağlayacak şekilde çekilmesiyle bu parça toprak içerisinde sıvama etkisiyle bir toprak boru oluşturur. Bu borunun ana kanal ile bağlantısı sağlanarak tarlanın drenajı gerçekleştirilir [3].

2.2 Kültivatör Parçaları

2.2.1 Uç Demirleri

Kltivatrlerde kesme, yırtma, parçalama ve kabartma işlemlerini yaparlar. Çeşitli amaçlar için farklı yapıda uç demirleri geliştirilmiştir. (şekil 2.3). En yaygın olarak kullanılan uç demirleri her iki ucu kullanılabilen dar uç demirleridir (a), (b) ve (c). Kesme genişliği 55 mm dolaylarında olan dar uç demirleri ikincil toprak işlemede yaygın olarak kullanılırlar. Bitkiler arası toprak işlemede ve kuru tarım bölgelerinde yeğlenen uç demiri tipi ise kazayağı şeklinde olan uç demiridir (d) [3].

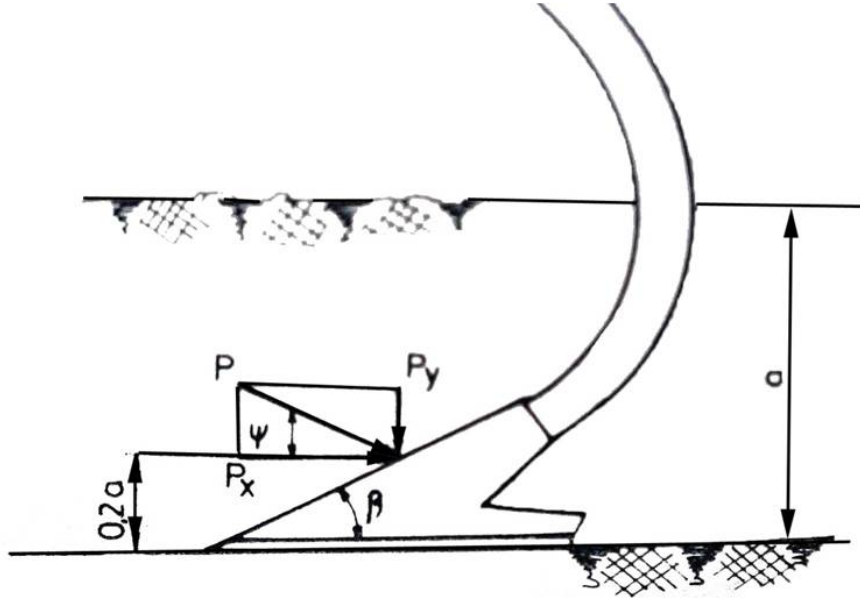


şekil 2.3: Kültivatör uç demirleri

Kesme genişlikleri 300 mm ye kadar olan bu uç demirleri özellikle yabancı ot savaşında daha etkili bir şekilde çalıştırılmaktadırlar. İş derinlikleri fazla olmayan ve çapa işlerinde de kullanılan bu uç demirlerinin arasında belli bir örtme payı bırakılır. [3]

Bir kültivatör uç demir toprakta çalışırken P bileşke kuvvetinin etkisinde kalır (şekil 2.4). Bu kuvvetin büyüklüğü kuvvetlerinin büyüklüğüne uç demiri üzerinde etki eden sürtünme ve özellikle yaylı ayaklarda ivme kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlıdır. P bileşke kuvvetinin yönü ise uç demiri kesme ve toprağın sürtünme açısına göre değişir. P kuvvetinin düşey bileşeni P_y uç demirini aşağı doğru bastırır ve

kültivatörün iş derinliğini arttırmaya zorlar. Bu bileşenin etkisi nedeniyle kültivatörün iş derinliğini arttırmadan ziyade bu iş derinliğinin artmaması için önlemler alınır. Bunun içinde kültivatörler genelde hafif bir yapıya sahiptirler ve bazılarının da iş derinliğini sınırlayıcı tekerleklerle donatılır. [3]



Şekil 2.4: Uç demirindeki kuvvetler

Asma kültivatörler bu düşey kuvvet nedeniyle traktör arka tekerleklerinde iyi bir tutunma sağlamalarına karşın, iş derinliğini sınırlayan tekerleklerle donatılmış örneklerine uygulamada rastlanmaktadır. P kuvvetinin yatay bileşeni P_x daha çok kesme kuvvetinden kaynaklanır ve değeri Denklem (2.1) ile hesaplanır [3].

$$P_x = b_k \times q \quad (2.1)$$

Burada;

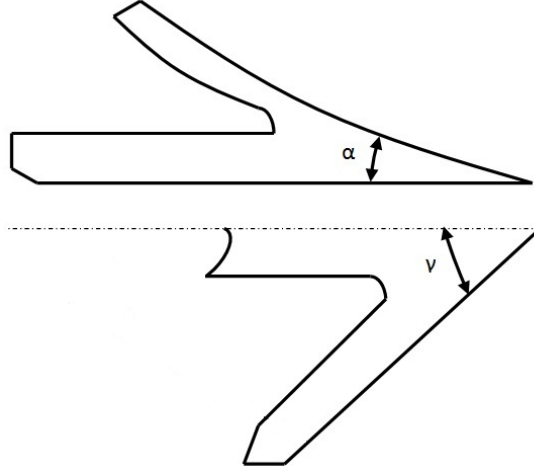
$b_k =$ Uç demiri kesme genişliği (cm),

$q =$ Özgül kesme direnci (kp / cm)

Uç demirinde β kesme açısı değerinin 30° yi geçmemesi istenir. Özellikle yaylı ayaklarda bu açı 20° dolayında seçilir. Ayağın geriye doğru gerilmesiyle bu açı dolayısıyla yatay çeki direnci daha büyük değerlere ulaşır. Bileşke kuvvet uç demiri yüzeyine normalden sürtünme açısı kadar saparak etki ettiğinden, P kuvvetinin yatayla yaptığı açı $25^\circ - 40^\circ$ arasındadır [3].

Dar uç demirlerinin kazayağı şeklindeki uç demirlerine göre daha derin çalıştırılması, sık sık daha sert engellere takılarak geriye doğru bükülmesi nedeniyle, daha yüksek çeki kuvvetine gereksinim duydukları ülkemizdeki yarım ayaklı kültüratörler üzerinde yapılan araştırmalarda saptanmıştır. Oysa dar uç demirlerinin kesme genişliği kazayağı şeklindeki uç demirlerine göre çok daha azdır [3].

Uç demirleri toprağı keskin kenarları boyunca keserler. Yabancı ot savaşında otların ve köklerin kesilebilmesi için keskin kenar boyunca kaymaları gerekir. Bu durum keskin kenarlar arasındaki açının 90° den küçük seçilmesiyle sağlanır. Çünkü çelikle bitki arasındaki sürtünme açısı değeri 45° ye yakındır. Uygulamada bu açı değeri $2\gamma = 55^\circ - 80^\circ$ arasındadır. Ülkemizde yapılan dar uç demirlerinde bu açı değeri 55° ; kaz ayaklarında ise 70° dolaylarındadır. Kaz ayaklarında yabancı ot savaşı yanı sıra toprağın parçalanması ve karıştırılması için gerekli açılar ve değerleri şöyledir: Göğüs açısı (α) $13^\circ - 30^\circ$, parçalanma açısı (δ) $18^\circ - 30^\circ$, kama açısı (i) $12^\circ - 15^\circ$ ve boşluk açısı (ε) $6^\circ - 15^\circ$ dir. Kültivatör uç demirleri çeşitli şekillerde bilinmelerine karşın daha çok üstten bilenirler. Bu durum, keskin kenar keskinliğinin kaybolma süresini uzatır. Bileme sırasında keskin kenar kalınlığı 0,5 mm altına düşmelidir [3].



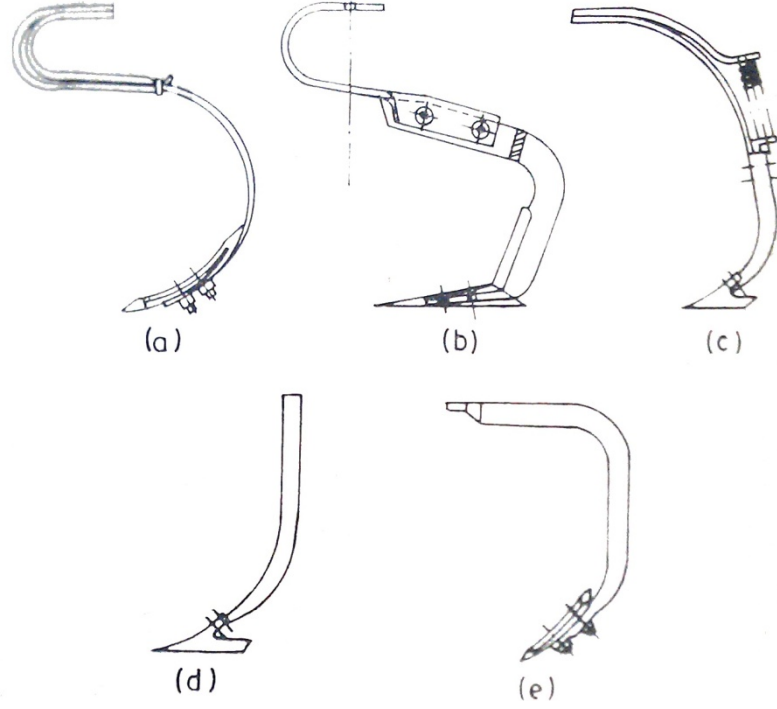
Şekil 2.5: Kazayağında ki açılar

Karbonlu çelik sacdan yapılan kültivatör uç demirinin kalınlığı, kesme genişliğine göre kaz ayaklarında 3-6 mm; dar uç demirlerinde 7-10 mm arasında değişir. Keskin kenarlar 25-40 mm genişliğinde yaklaşık 500 HB sertleştirilir. Diğer taraftan sertlik 350' HB den aşağı olmamalıdır [3].

Kültivatör uç demirleri genellikle iki adet gömme başlı cıvata ile ayaklara bağlanır [3].

2.2.2 Ayaklar

Uç demirlerini üzerinde taşıyan kültivatör ayakları yapılarına göre yaylı, yarım yaylı, yaysız tipler olurlar (Şekil 2.6) [3].



Şekil 2.6: Çeşitli kültivatör ayakları

Yaylı ayaklar S Şeklinde elik lamadan yapılmıŐlardır (a). Ayağın  st kısmındaki b k nt  ikinci bir yayla desteklenmiŐtir. Bu ayaklara dar uç demiri takılır. Çalışma sırasında ayak arkaya doğru bükülerek sürekli titreşim hareketi yapar. K ltivat re zarar verecek bir engele rastlanmadığı sürece ayağın bu geriye doğru bükülme uzunluğu 10'cm yi geçmemelidir. Böylece kesme açısı (β) 30' nin üstüne çıkmamıŐ olur [3].

Yaylı ayaklı kltivatrlerin tüm toprak koşullarında kullanılması sakıncalıdır. Özellikle kuru tarım bölgelerinde, ayaklardaki yaylanma nedeniyle altta bulunan toprağı yukarı çıkartarak hızlı bir Şekilde kurumasına neden olur. Öte yandan hafif topraklarda aşırı parçalanma nedeniyle çamurlaşmaya eğimli bir toprak yüzeyi oluşturur. Ayaklardaki sürekli geriye bükülmeden dolayı iş derinliği de tekdüze olmaz. Yaylı ayaklarda ayrıık otlu tarlalarda, bitki köklerini yolarak toprak yüzeyine çıkardığından yeğlenmektedir. Alışma derinlikleri 10 cm dolaylarında olan yaylı ayaklar son yıllarda ülkemizde de yapılmaya başlanmıştır [3].

Yarım yaylı ayaklar fazla titreşim hareketi yapmadıklarından daha sert ve ağır toprak koşullarında kullanılabilirler. Bu ayaklara toprağı yırtmak ve tohum yatağı hazırlamak için dar u demirleri; kuru tarım bölgelerinde, yabancı ot savaşında kazayağı Şeklinde uç demirleri takılırlar. Yarım yaylı ayaklar genelde iki bölümden oluşur. Alt kısım uç demirinin üzerine bağlandığı sabit olan ve üst kısım ise çatıya çeşitli Şekillerde bağlanan yaydan oluşmaktadır (b,c) [3].

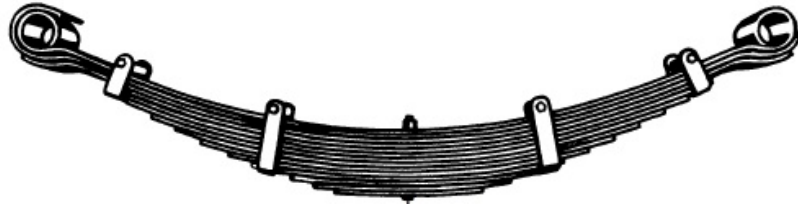
Yaysız ayaklar daha çok derin toprak işlemede kullanılan kültivatörler görülür (d,e). Büyük eki kuvveti iletmeleri gerektiğinden daha ağır ve sağlam yapıdırlar. Bazılarının çatıya bağlantıları özel emniyet pim ya da yayları üzerinden yapılır [3].

2.2.3 atı

Toprak içerisinde çekilen bir kültivatör uç demiri, toprağı yırtıp, kaldırıp parçalarken hem n tarafa doğru hem de yan taraflarına doğru bir etki göstererek kendi yapısal genişliğinden daha geniş bir alandaki toprak kütlesinin şekil değiştirmesine neden olur. Bu şekil değiştirmenin sınırları, kültivatör ayaklarının çatıya dizilmesinde ve çatının ölçülerinin saptanmasında en önemli etkendir. Uç demiri toprak içerisinde hareket ederken bir kama gibi etki eder [3].

3. YAPRAK YAYLAR

Motorlu taşıtlarda yaprak yaylar çoğunlukla arka süspansiyon donanımında kullanılırlar. Makas olarak da adlandırılan yaprak yaylar günümüzde binek otomobillerde pek kullanılmaz, çoğunlukla iş makineleri kamyon ve kamyonette kullanılmaktadır [4].



- a. 140 mm kalınlığında konvansiyonel çok katlı bir makas
Ağırlığı 122 kg ve düz uç kesimleri.14 katlı.



- b. Uç kısımları haddelenip kat aralarına takoz konarak geliştirilen çok katlı makas. 9 katlı; kalınlık: 127 mm; ağırlığı 94 kg



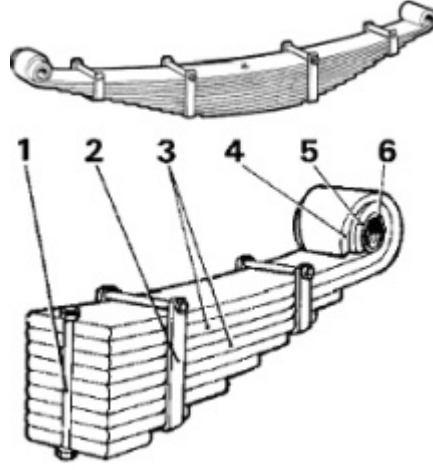
- c. Haddelenmiş parabolik makas (boy yaklaşık 1200 mm) ve aralarda lastik takoz konmuş 3 katlı; kalınlık: 64 mm; ağırlığı 61 kg

Şekil 3.1: Yaprak yay tasarımları

Şekil: 3.1 Krupp-Brüninghaus tarafından geliştirilen aynı verilere sahip arka kamyon makasların ağırlık karşılaştırılmasıdır; göz mesafesi $L = 1650$ mm, yaylanma oranı $c_r = 200$ Nmm⁻¹ ve yüklenebilirlik $F_{Sp} = 33$ kN; ancak tasarımları farklıdır [5].

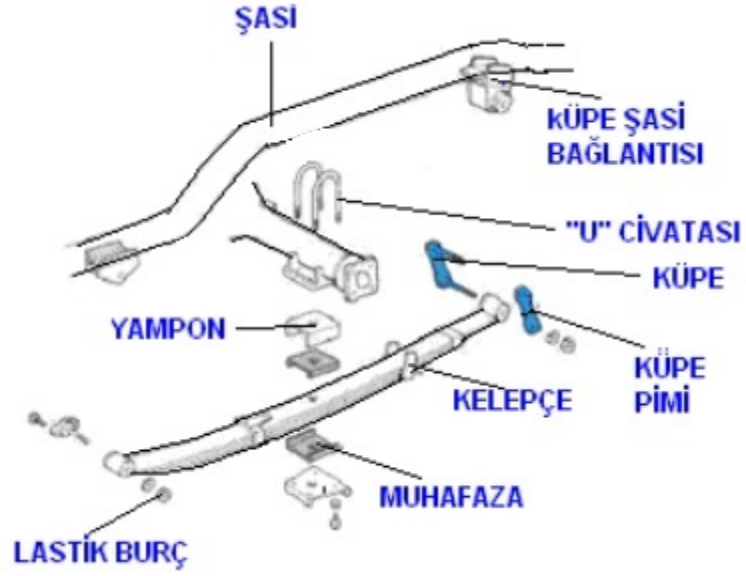
3.1 Yaprak Yayların Yapısı

Yaprak yaylar yassı çelikten bant şeklinde kıvrılarak yapılırlar. Birkaç ince yaprağın kısıdan uzuna doğru üst üste demetlenmesiyle oluşur. Bu bağlama şekliyle esnemesi durumunda kırılmaz, eğilmeğe zorlanır. Yaprığın her bir kıvrımına büküm denir ve uzun yapraktan kısa yaprağa doğru gittikçe büküm artar [4].



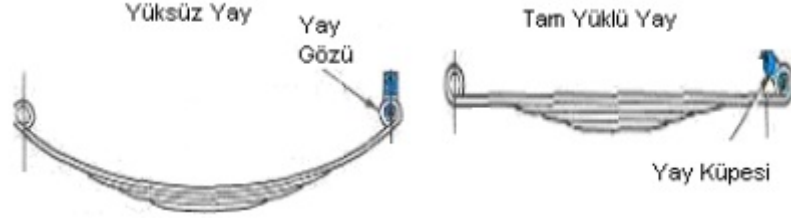
Şekil 3.2: Yaprak yayın yapısı

1. Merkez cıvata
2. Kelepçe
3. Yaprak yay
4. Bağlantı küpesi
5. Yay gözü
6. Lastik burç



Şekil 3.3: Yaprak yayın parçaları

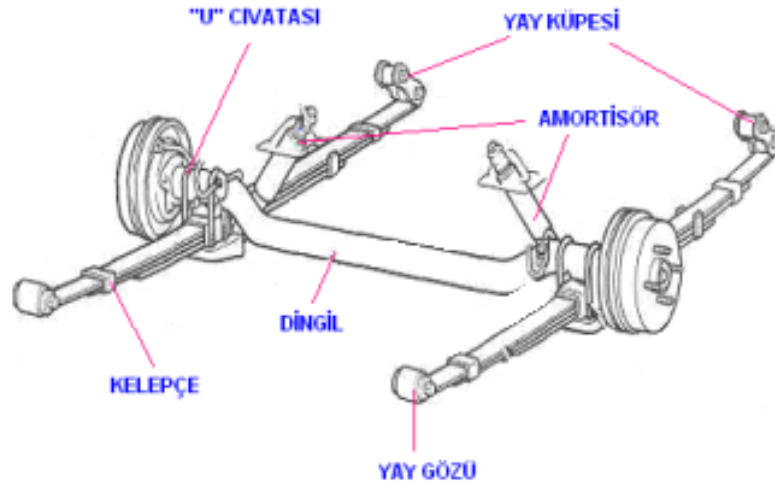
Yayı meydana getiren yapraklar bir merkez civatası tarafından birbirine bağlanır. Merkezden uçlara doğru kaymayı önleyici kelepçeler ile yapraklar birbirine tutturulmuştur. Kelepçeler yaprakları bir hizada tutmaya çalışır ve yaylanma hareketi sırasında yaprakların ayrılmasını engeller. Bazı yaprak yayların (makas) arasına pullar konulmak suretiyle eğilme sırasında birbiri üzerinde kayma imkânı sağlanmıştır. Böylece yayın kırılması önlenir. Yaprak sayısı arttıkça dayanacağı yük miktarı da artar [4].



Şekil 3.4: Yüklü ve yüksüz yay durumu

En uzun yayın ön ucu kıvrılmak suretiyle bir yay gözü meydana getirilmiştir. Bu kısımdan yay askısına bir cıvata ile asılmıştır. Cıvata ile askıdaki yuvası arasına kauçuk burçlar yerleştirilmiştir. Böylece metalin metale teması engellenmiştir. Bu kauçuk burçlar titreşimleri üzerlerine alır ve kendi yapılarında yok ederek şasiye iletilmesine engel olur. Aynı zamanda yay eğilmeye çalışırken yay gözünün ileri geri bükülmesine müsaade eder [4].

Ana yaprak yayın arka ucunda bir yay gözü meydana getirecek şekilde bükülmüştür. Bu göz bir yay küpesi üzerinden aracın şasisine bağlanmıştır. Yay küpesi yayın eğilmeye çalışması sırasında yay boyunun değişmesine olanak sağlar [4].

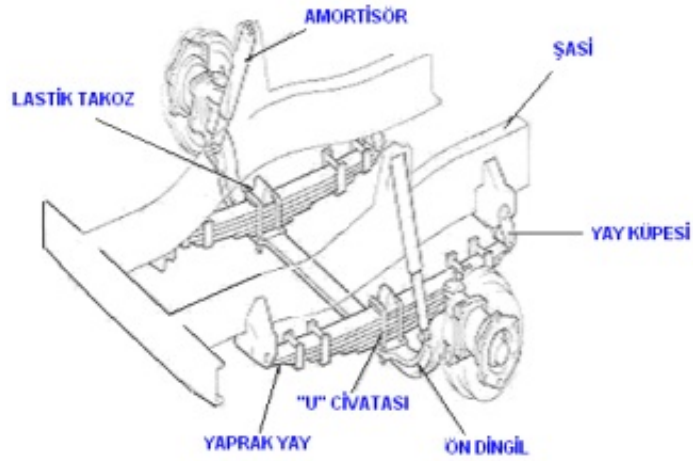


Şekil 3.5: Yaprak yaylı süspansiyon sisteminin temel parçaları

3.2 Yaprak Yayların Bağlantı ve Hareket İletim Şekillerine Göre Askı Donanımlarında Kullanılması

3.2.1 Yaprak Yayın Ön Askı Donanımında Kullanılması

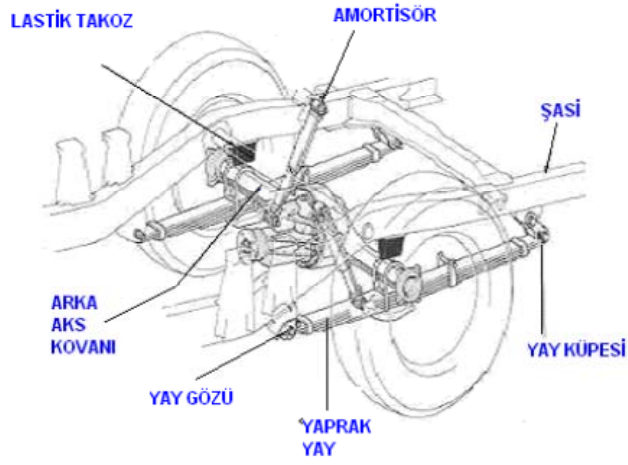
Yaylar ön dingile iki adet “U” cıvatası ile sabitlenmiştir. Amortisör ön dingil ile şasi arasına bağlanmıştır. Yaprak yayın ön tarafı şasiye sabitlenmiş, arka kısmı ise yay küpesi vasıtasıyla serbest hareket edebilecek şekilde şasiye bağlanmıştır. Daha çok ticari amaçlı kamyon ve iş makinelerinde kullanılır [4].



Şekil 3.6: Yaprak yayların ön askı sisteminde kullanılması

3.2.1 Yaprak Yayın Arka Askı Donanımında Kullanılması

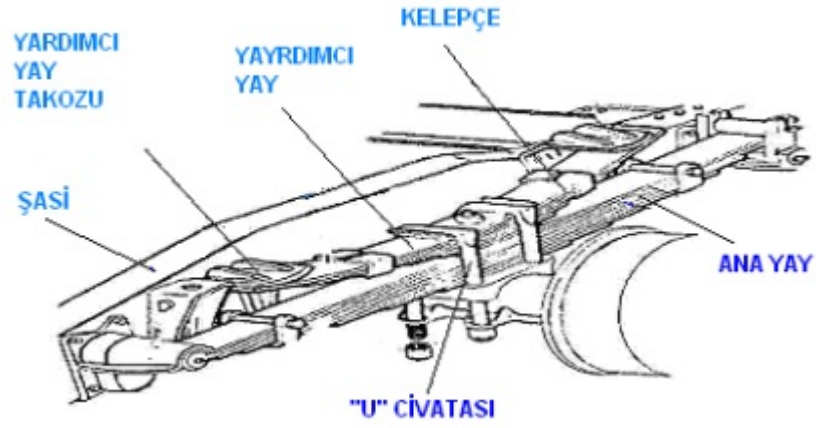
Hafif yük taşıtlarının arka süspansiyon sisteminde kullanılırlar. Bu askı donanımı makaslarla beraber kullanılan aks tipi, diferansiyel, aks milleri ve poyranın beraberce oluşturduğu sabit bir ünedir. Yaprak yaylar, frenleme kuvvetine, yüklerin oluşturduğu kuvvetlere ve tahrik kuvvetine dayanacak şekilde aşağı yukarı hareket eder. Sabit aks kovani yaprak yaylarla gövdeye tutturulmuştur [4].



Şekil 3.7: Yaprak yayların arka askı sisteminde kullanılması

3.2.2 Yaprak Yayın Ağır Hizmet Tipi Araçlarda Kullanılması

Ağır hizmet tipi araçlarda kullanılmakta olan yaprak yay, hafif araçlarda kullanılanların tersine arka köprüye bindirilmiş durumdadır. Bu tür araçlarda ana yaprak yayın üstünde bir de yardımcı yay vardır. Yardımcı yay ancak aşırı yükleme durumlarında çalışmaktadır. Birbiri üzerinde esneme yapacak şekilde arka köprüye iki adet “U” civatasıyla bağlanmıştır. Yol darbelerini ilk karşılayan ana yaprak yaydır [4].



Şekil 3.8: Ana ve yardımcı yaylı askı donanımı

3.2.1 Yaprak Yayın Özellikleri

- I. Makaslar sabittir. Uygun pozisyonda aksı içersine aldıklarından bağlantı parçalarına gerek yoktur. Ancak çok yer kaplar.
- II. Ağır hizmet kullanımı için oldukça dayanıklıdır, fakat yapımı zordur.
- III. Yaprak iç sürtünmeleri nedeniyle yol yüzeyinden gelen küçük titreşimleri sönmömleri zordur.
- IV. Sürüş konforu iyi değildir. Bundan dolayı yaprak yaylar büyük ticari araçlarda kullanılır.
- V. Kalkış ve duruş sarsıntılarını çok kolay sönmömler.
- VI. Yaprakların sürtünmesinden dolayı düzenli bakım gerektirir.

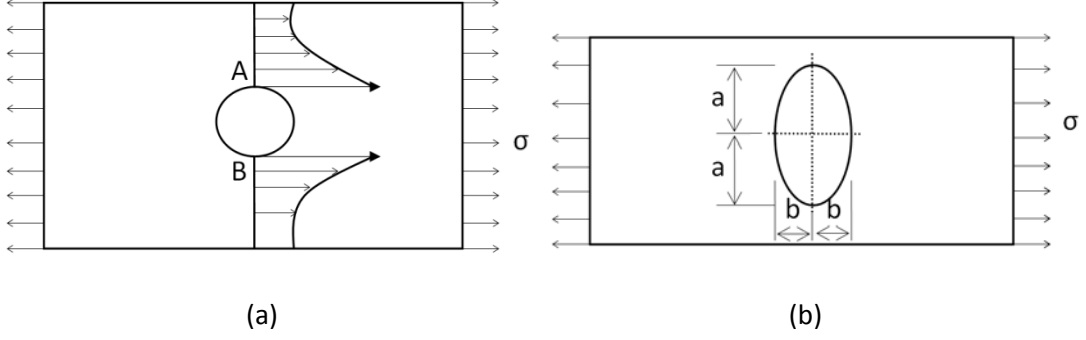
4. YORULMA

Kırılma ve akma teorileri tesirlerin “yavaş tesir” olması hali içindir. Uygulamada kuvvetin zamanla çok çabuk değişerek tesir ettiği de görülür. Bu hale inşaat mühendisliğinde, “fabrikalarda, tren raylarında, köprülerde” makine mühendisliğinde de “makine elemanlarında, piston kollarında, yaylarda, perçin ve civatalarda, kaynak dikişlerinde, uçak ve gemi elemanlarında” çok fazla rastlanır [6].

Bu tip tesirler altında kırılmanın meydana geleceğine dair önceden elemanın yüzeyinde hiçbir belirtiye rastlanmadığından, elemanın nasıl ve ne zaman kırılacağını önceden tahmin etmek mümkün değildir ve neticede feci kazalar da olabilir [6].

4.1 Gerilme Yığılma katsayısı

Kuvvetlerde yüklü olan cisimlerin geometrik yapısında ani bir değişiklik olursa gerilmelerde büyük artışlar meydana gelmektedir.



Şekil 4.1: Geometrideki ani değişimlerin gerilmeye etkisi

Şekil: 4.1 Dairesel deliğin her iki ucunda ortaya çıkan gerilmeler levhaya uygulanan gerilmenin üç katı çıkmaktadır. Gerilme yığılma katsayısı ise, ortaya çıkan maksimum gerilmenin ortalama gerilmeye oranı ile bulunur. O halde buradaki gerilme yığılma katsayısı Eşitlik: 4.1 e göre:

$$k = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nominal}} = \frac{3\sigma}{\sigma} = 3 \quad (4.1)$$

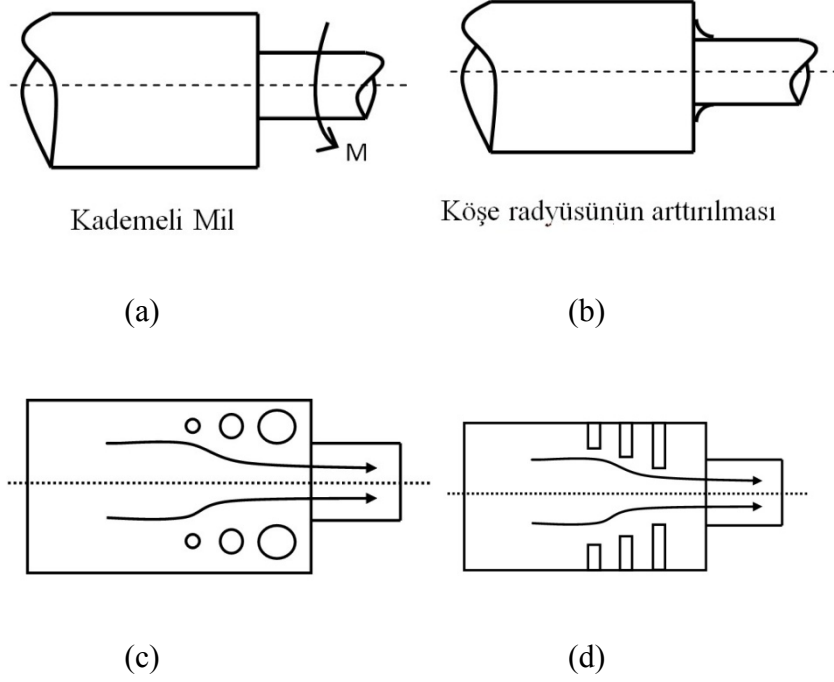
olacaktır.

Eliptik bir delik varsa (Şekil 4.1b) gerilme yığılma katsayısı;

$$k = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} = 1 + 2 \frac{a}{b} \quad (4.2)$$

dır.

Yığılma katsayıları ya ani geometrik değişimler azaltılarak yada karşı çentikler kullanılarak azaltılabilir.



Şekil 4.2: Karşı çentiklerle bir levhadaki gerilme yığılmasının azaltılması

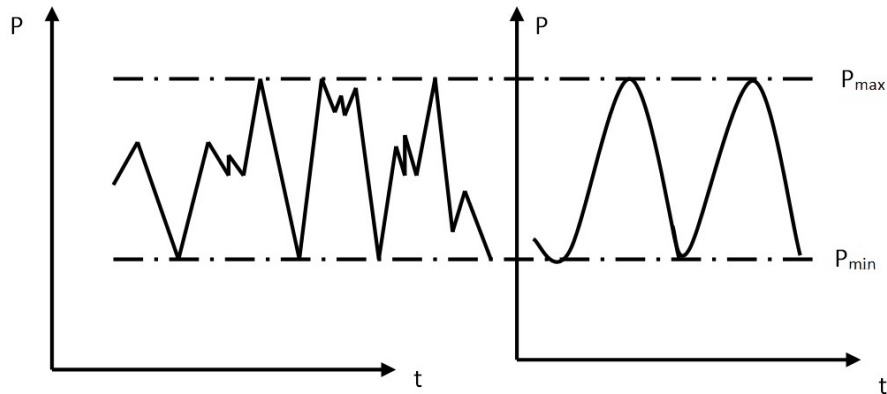
Şekil 4.2 a ve b'de bir mildeki radyüslerin arttırılmasıyla gerilme yığılmasının azaltılması gösterilmektedir. c ve d ise levhadaki gerilme yığılmasının karşıt çentiklerle azaltılmasını gösterir.

Kuvvetlerin statik yüklenmesi, yani tekrarlı olmaması durumunda gerilme yığılmasının malzemenin kopması veya kesitin bütünüyle akması üzerinde herhangi bir etkisi yoktur.

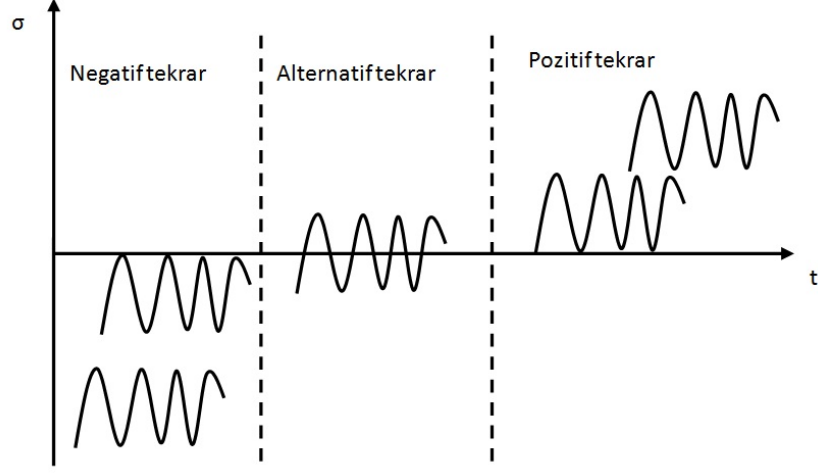
Eğer malzeme sünek (dövülebilir) ise ve plastik bölge mesela dairesel çentik civarında meydana gelmiş ise, lokal (bölgesel) bir plastik akma olur ve kesitin bütünüyle akması durumu üzerinde bir etkisi olmaz. Yalnızca tekrarlı yük durumu varsa, gerilme yığılmaları malzemenin erken yorulmasına sebebiyet vermektedir. [6]

4.2 Tek eksenli Kuvvetin Tesiri

Tek eksenli halde tekrarlı gerilmeler en genel durumda şu şekilde ifade edilir;

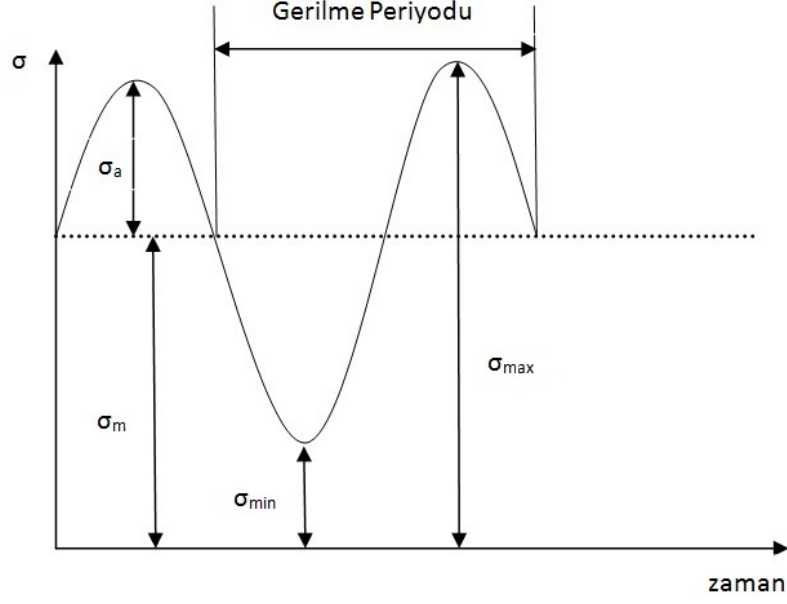


Şekil 4.3: Tek eksenli kuvvetin tesiri



Şekil 4.4: Negatif - Alternatif - Pozitif tekrar

İlk defa bu konuyu **Wöhler** incelemiştir. Bunun için önce ortalama gerilme ile genlik gerilmesinin tanımlanması gerekmektedir. (Şekil 4.4) [6].



Şekil 4.5: Temel gerilme değişkenleri

σ_m = Ortalama gerilme

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = C_1 = \text{sabit} \quad (4.3)$$

σ_a = Gerilme genliği

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (4.4)$$

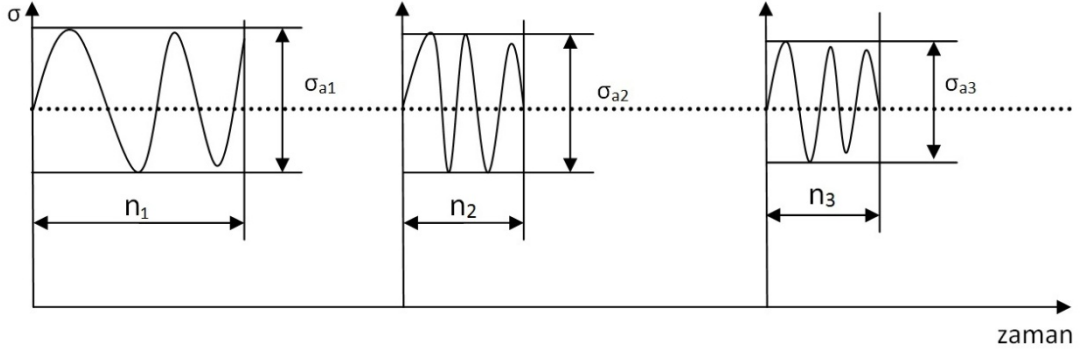
R = Gerilme oranı

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (4.5)$$

25x30 mm boyunda deney çubuğu imal edilir ve yukarıdaki kriterlerle deneye tabi tutulur.

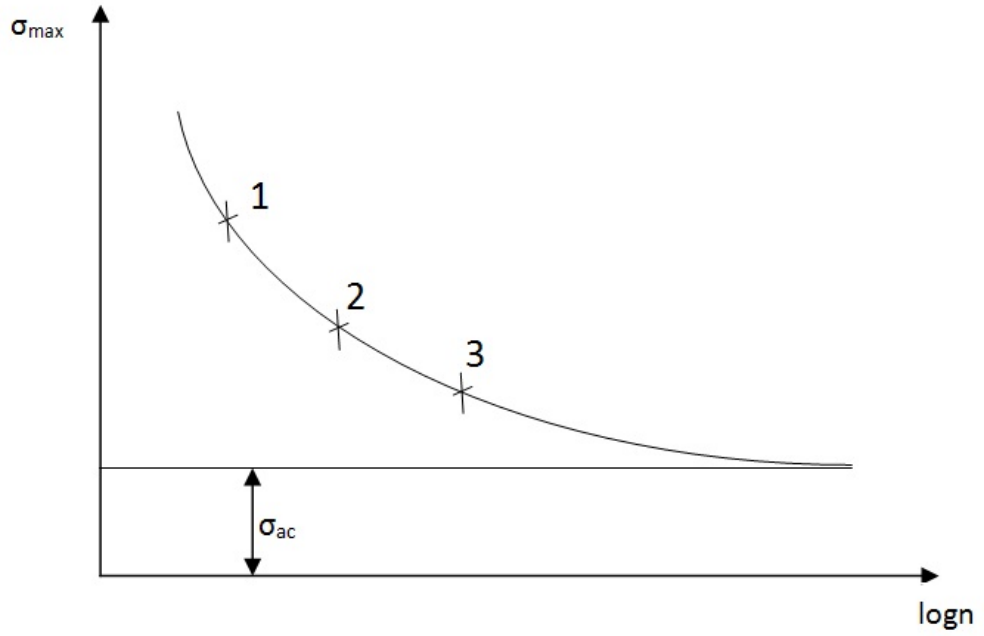
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = C_1 = \text{sabit}$$

alınarak farklı deneyler yapılır. Yani $\sigma_m = C_1$ için σ_{\max} değiştirilerek bununla ilgili n tekrar sayısı zaman ile gösterilebilir. Çünkü yorulma makinasının çalışma saati ve dakikadaki dönme sayısı biliniyorsa, çalışma saati ile dakikadaki dönme sayısı çarpımı toplam sayısını verir [6].



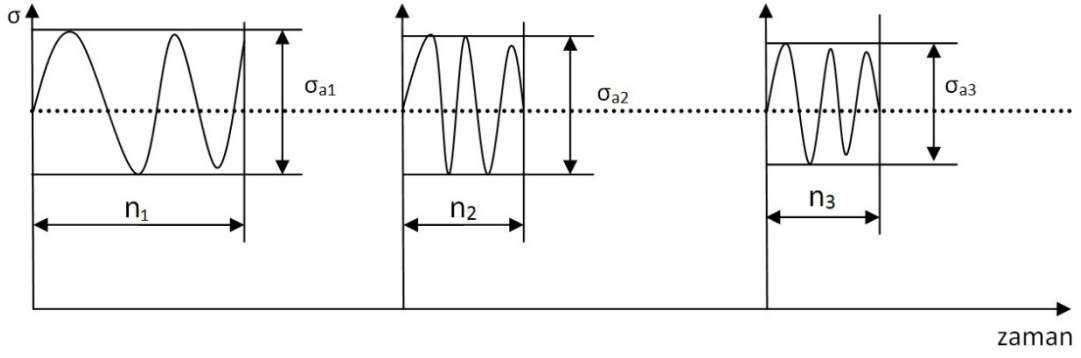
Şekil 4.6: Uygulanan deney örnekleri

Bunlar sırayla n_1 , n_2 ve n_3 vs. olsunlar. Çok büyük olmalarından dolayı toplam tekrar sayıları $\log n$ olarak eksen takımına yerleştirilirse Şekil.4.7 'deki diyagram bulunur. Bu eğri apsis eksenine paralel bir doğruya asimptotik olarak gider [6].



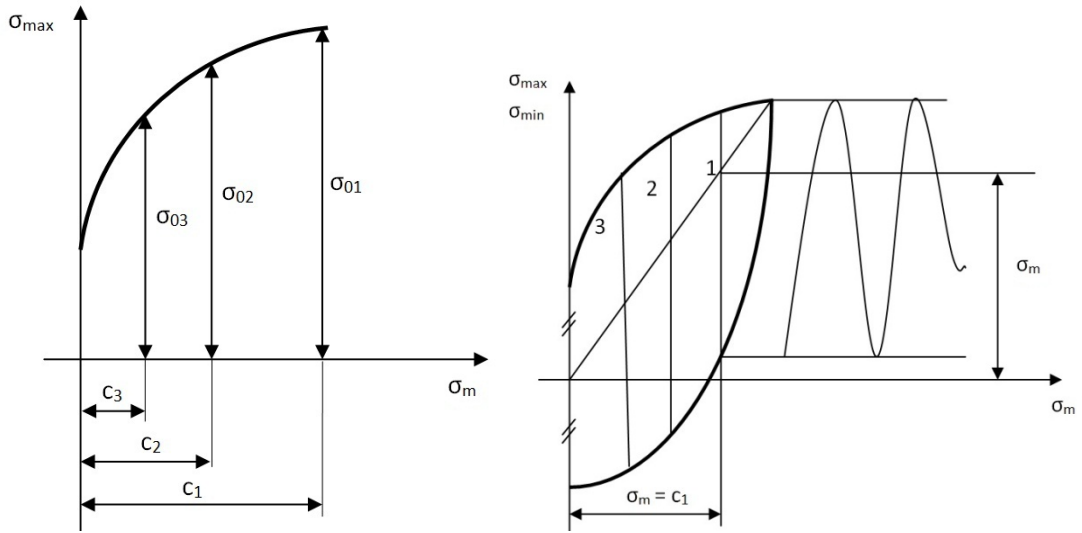
Şekil 4.7: Tipik gerilme-ömür (S-N) eğrisi

Sonsuz tekrar halinde bu eğriye değer. σ_{max} 'ın σ_0 değerine $\sigma_m=C1$ için “üst sınır yorulma mukavemeti” veya kısaca “üst sınır mukavemeti” denir. Buna wöhler eğrisi denir. Bundan sonra $\sigma_m = C_2$ için aynı deneyler tekrarlanır. $\sigma_{max} = C_3, C_4, C_5, \dots$ için deneyler tekrarlanır. Sonsuz döngü olarak uygulamada genellikle 10 milyon tekerrür alınmalıdır [6].



Şekil 4.8: Deneysel 1, Deneysel 2, Deneysel 3

Bunlar toplu halde şöyle gösterilir;

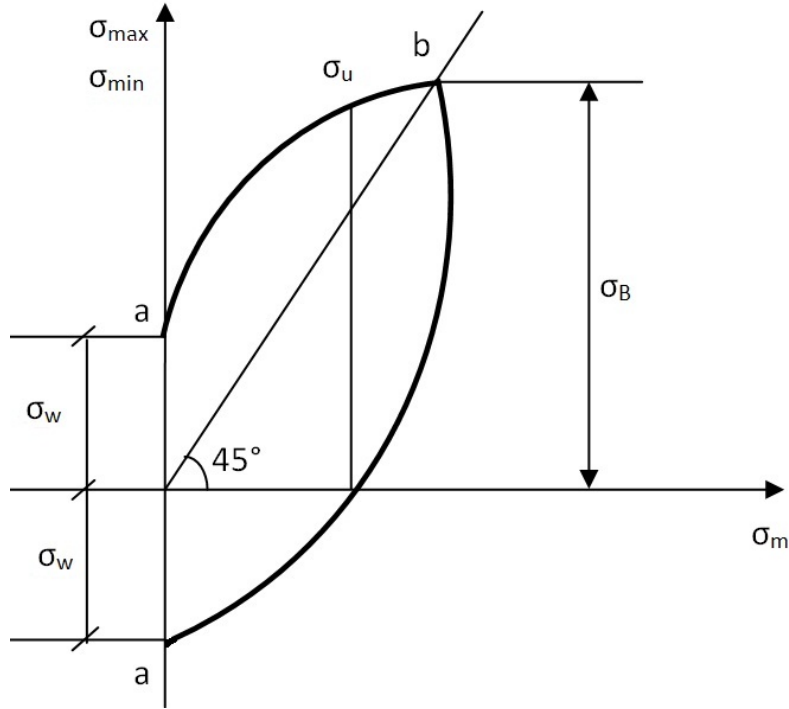


Şekil 4.9: Toplu gösterim

Eğer 45° lik açı çizilir ve bunun alt tarafına genlik kadar gidilirse, yani;

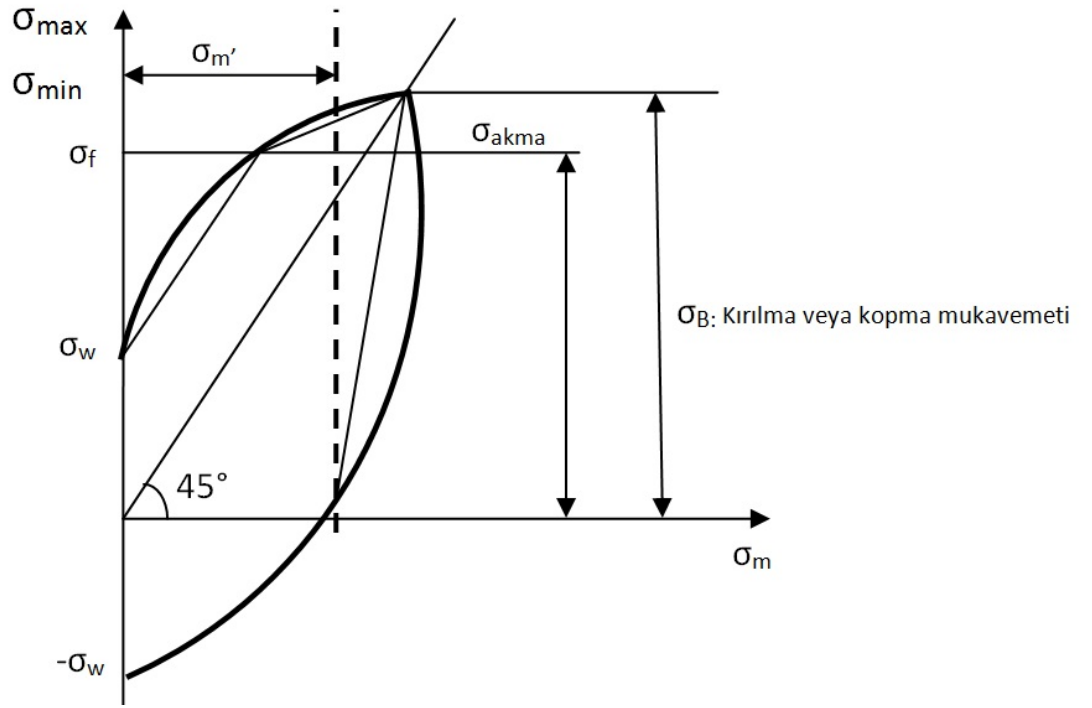
$$\sigma_R = \sigma_{max} - \sigma_{min} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (4.6)$$

Bu eğri σ_m 'e karşı gelen σ_{min} eğrisini verir. Buna “**alt sınır yorulma mukavemeti**” denir. B noktasında $\sigma_g = 0$ olduğundan statik kopmayı ve kırılmayı gösterir. A noktaları ortalama gerilmenin sıfır olduğu alternatif konumu göstermektedir, bu da σ ile verilmektedir. $\sigma_{min} = 0$, $\sigma_{max} = \sigma_u$ ile gösterilir. Buna eşik mukavemeti denir. Eğer bu eğrinin negatif σ_m 'leri de alınır Şekil.4.10 'daki eğri elde edilir. Buna uygulama eğrisi veya “**Smith eğrisi**” denir [6].



Şekil 4.10: Smith eğrisi

Smith eğrisi yerine şekildeki onun rötuşlu olan hali tercih edilmektedir. Şekil 4.11. Bu durumda üst taraftan σ_{akma} doğrusu ile sınırlanmaktadır. Çünkü sünek malzemelerde akma değeri pek geçilmez. Diyagramın çizilebilmesi için σ_f , σ_w , σ_m 'nin bilinmeleri yeterli olmaktadır. Farklı çelikler için gerekli bu değerler Tablo 4.1 de verilmektedir [6].



Şekil 4.11: Smith eğrisinin rötuşlu hali

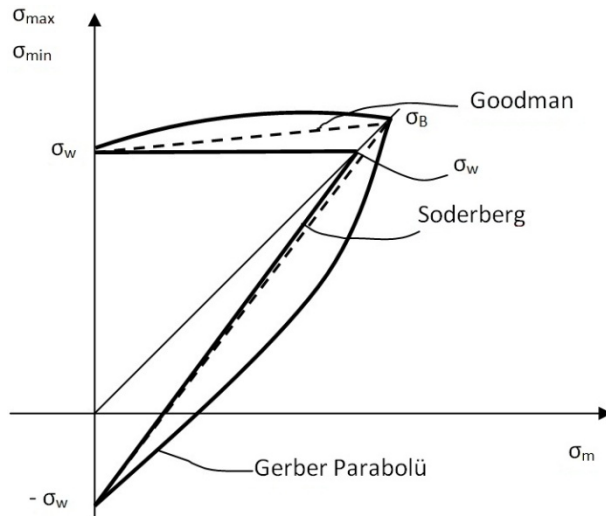
Bunun için $\sigma_f = \sigma_{akma}$, σ_m' ve σ_w belli olmalıdır. Bu değerlerin bilinmesi diyagram için yeterli olabilmektedir.

Tablo 4.1: Çeşitli malzemeler için σ_B , σ_F , σ_W , σ_M değerleri

| Malzeme | σ_B | σ_F | σ_W | σ_M |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| St-37 | 37 | 22 | 12 | 11 |
| St-42 | 42 | 25 | 13,5 | 13 |
| St-50 | 50 | 31 | 18 | 14 |
| St-60 | 60 | 36 | 2 | 18 |
| St-70 | 70 | 42 | 23 | 22 |
| Yay Çeliği | 120 | 84 | 52,5 | 49,5 |

Tablodaki gerilme birimleri daN/mm^2 dir. Yay Çeliği değerleri ısıl işlem görmüş malzeme özellikleridir [6].

Smith diyagramından daha kolay ama o kadar hassas metotlar bulunmaktadır. Bunlar Goodman-Soderberg ve Gerber diyagramlarıdır. (Şekil 4.12)



Şekil 4.12: Goodman-Soderberg ve Gerber diyagramları

Goodman diyagramında üst limit kırılma veya kopma (σ_B), Soderberg diyagramında ise akma mukavemeti alınır [6].

Goodman için;

$$\sigma_m > 0 \text{ için } \frac{\sigma_a}{\sigma_W} + \frac{\sigma_m}{\sigma_B} = 1 \quad (4.7)$$

$$\sigma_m < 0 \text{ için } \frac{\sigma_a}{\sigma_W} - \frac{\sigma_m}{\sigma_B} = 1 \quad (4.8)$$

Soderberg için;

$$\sigma_m > 0 \text{ için } \frac{\sigma_a}{\sigma_W} + \frac{\sigma_m}{\sigma_F} = 1 \quad (4.9)$$

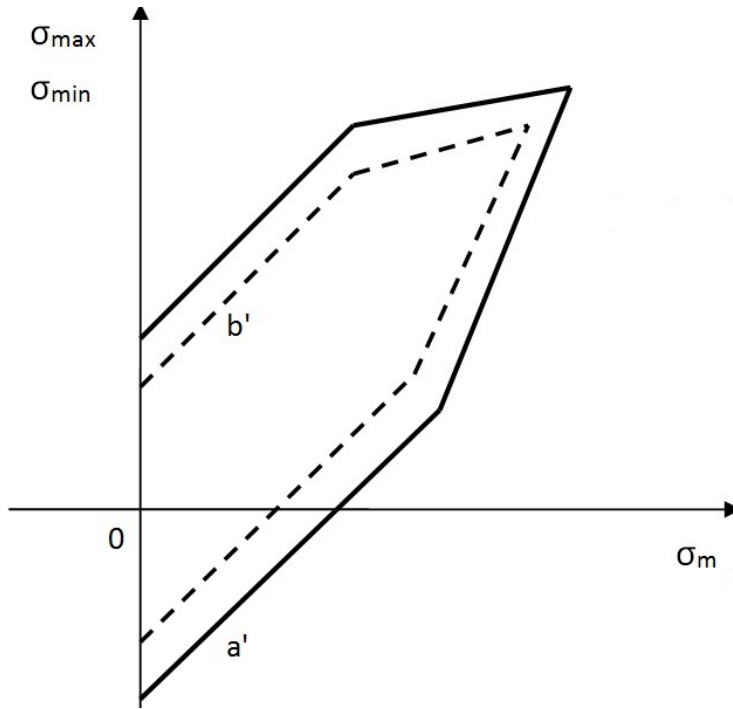
$$\sigma_m < 0 \text{ için } \frac{\sigma_a}{\sigma_W} - \frac{\sigma_m}{\sigma_F} = 1 \quad (4.10)$$

ve Gerber'e göre;

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_W} = 1 - \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_F} \right)^2 \quad (4.11)$$

4.3 Yorulmada Emniyet Katsayısı

Yorulmada da n emniyet katsayısı kullanılır. Deney yapılan parçaların geometrileri genellikle düzgün çubuklardır. Hâlbuki uygulamada kullanılan cisimlerin yüzeyleri pürüzlü olabilir. Bu durum gerilme yığılmalarına sebebiyet verebilir. Bundan dolayı yorulmaya veya tekrarlı yüklemeye maruz cisimlerde n emniyet katsayısı genellikle yüksek alınır. Ortalama olarak n değeri en az 3 civarında olabilir. Smith, Goodman, Soderberg eğrilerinin n ile kısaltılmış eğrilerine “Yorulma emniyet eğrileri” denir [6].



Şekil 4.13: Yorulma emniyet eğrileri

4.4 Yorulmaya Etki Eden Faktörler

- I. Gerilme birikmesi
- II. Artık gerilmeler
- III. Sıcaklık derecesi
- IV. Soğukta işlenme
- V. Sanayideki tekerrür
- VI. Korozyon tesiri
- VII. Yorulma sınırları dışındaki ve içindeki yüklemeler
- VIII. Yüzey şartları

5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Makine, uçak, inşaat gibi birçok mühendislik alanında uygulanan sonlu elemanlar metodu, özellikle makine mühendisliğinin çeşitli problemleri için son derece uygun çözümler sunar. Mühendisliğin birçok dalında elastik sürekli ortamda gerilme ve deformasyon dağılımlarının çözümü aranır. Bu durumda sonlu elemanlar yöntemi çok kullanışlıdır.

Katı cismin değişik geometrili cisimlere uygulanabilmesi, sınır şartlarının kolaylıkla uygulanması, problemlere cevap verecek kadar esnek olması ve tam çözüme eleman sayısı arttıkça yaklaşabilmesi gibi çeşitli avantajlar nedeniyle çok tercih edilir [7].

Sonlu elemanlar modeli ile problem çözümü için aşağıdaki işlemler yapılmalıdır;

- I. Cisim sonlu sayıda elemanlara ayrılır.
- II. Her eleman için rijitlik matrisi oluşturulur.
- III. Sınır şartları belirlenir.
- IV. x ve y doğrultularında yer değiştirmelerin sıfır olduğu noktalar belirlenir.
- V. Hangi düğüm noktalarında kuvvet olduğu belirlenir.
- VI. Sistemin rijitlik matrisi belirlenir.
- VII. Yer değiştirme denklemi yardımıyla bulunur. (P : Cisme uygulanan dış kuvvet, K : Rijitlik matrisi, δ : Yer değiştirme)
- VIII. Her bir eleman için gerilmeler bulunur.
- IX. Eşlenik gerilmeler hesaplanır.
- X. Akma kontrolü yapılır.
- XI. Plastik deformasyonun olduğu bölgelerde artık gerilmeler elde edilir.

Sonlu elemanlar analizi yönteminin en büyük özelliği, her bir elemanın ayrı ayrı formülize edilebilmesidir [7].

5.1 Sonlu Elemanlar Metodunda Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Bu hususlar maddeler halinde şöyle sıralanabilir.

1- Sonlu elemanlar metodunda yapının tipine göre çeşitli şekiller kullanılabilir (üçgen, dörtgen, yamuk v.b.). Problemin çözümünde eleman tipi önemlidir. Çünkü eleman tipi, yapılacak hatanın büyüklüğünde etkilidir.

2- Üçgen elemanlardan oluşmuş bir yapıda meydana gelebilecek üçgen elemanın boyutunun karesi ile doğru orantılı iken dörtgen elemanda küpüyle doğru orantılı olmaktadır. Yani dörtgen elemandaki hata, üçgen elemandaki hatadan daha azdır.

3- Seçilen elemanın tipinde düğüm sayısı önemlidir. Örneğin lineer bir üçgen elemanda yapılacak hata, kübik üçgen elemanda yapılacak hatadan çok daha fazladır.

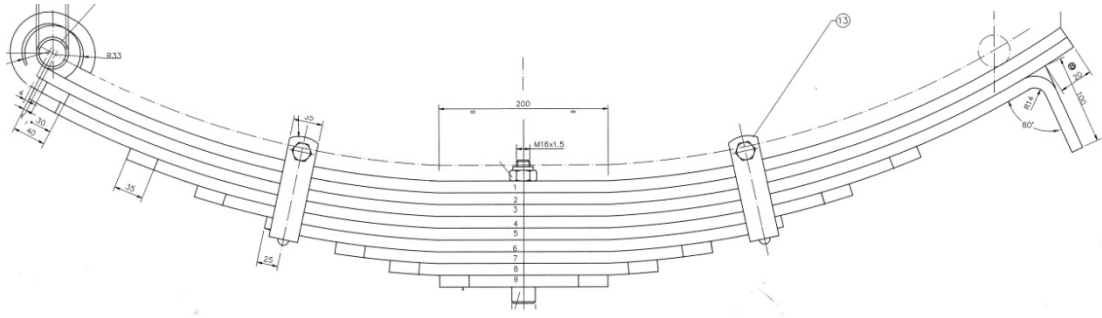
4- Eleman sayısı arttıkça çözüme yaklaşım daha da artmaktadır. Bu sebeple ortamın eleman sayısı mümkün mertebe yüksek olmalıdır.

5- Elemanların sıklığı da önemlidir. Örneğin malzemenin bir kısmının incelenmesi önemli olabilir. Böyle bir durumda o bölgedeki elemanlar sıkı tutulup, diğer kısımlarda seyrekleştirilebilir [7].

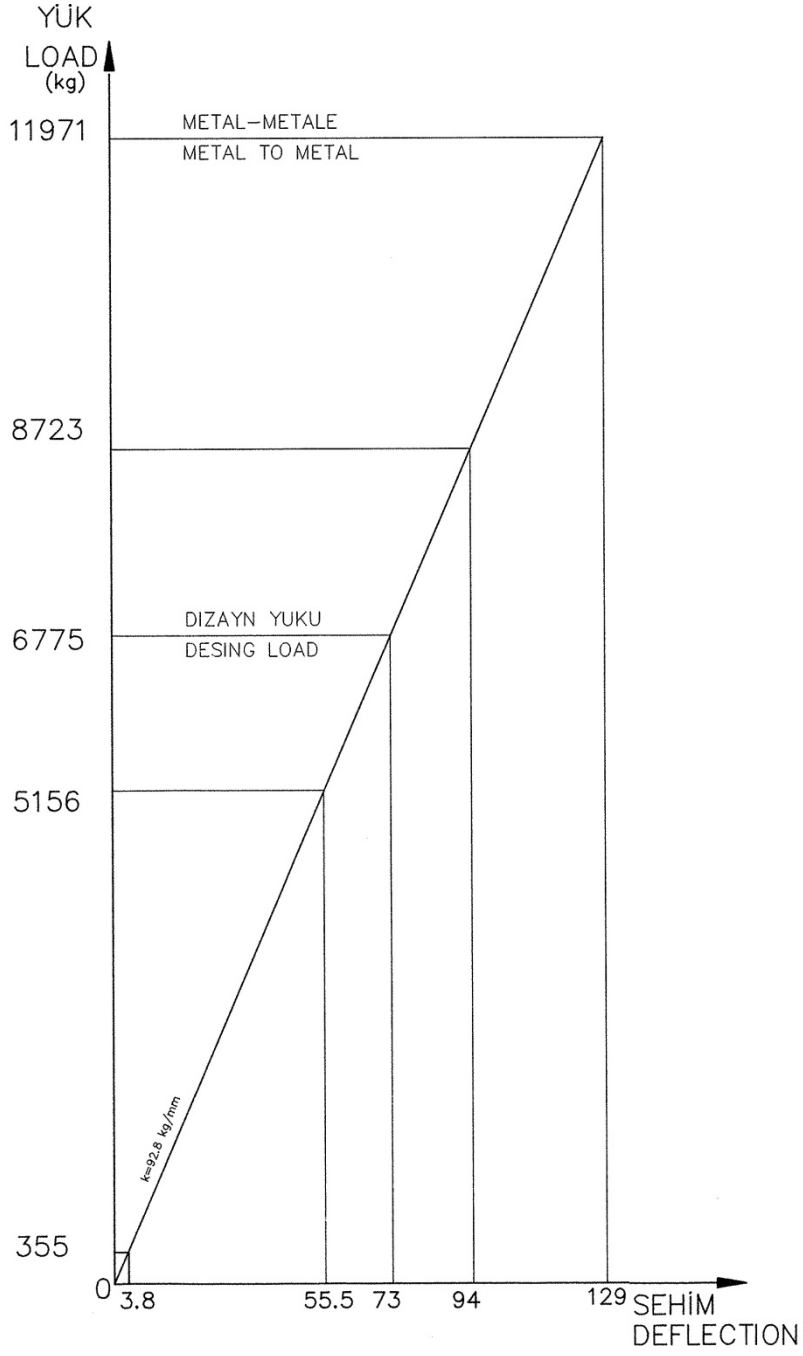
6. YORULMA TESTLERİ

6.1 Yaprak Yay Yorulma Testi

55Cr3 malzemededen 100x14 lamadan orijinal BMC resmine (EK1) uygun üretilmiş olan makasın kodu 52RS001819 dur. Makas 9 katlı olup toplam yaprak kalınlığı 126 mm dir.



Şekil 6.1: 52RS001819 Kodlu Yaprak Yay



Şekil 6.2: 52RS001819 Kodlu Yaprak Yayın Yük-Sehim Grafiği

6.2 Yaprak Yay Teorik hesabı

BMC - 52RS001819

$$P_{\max}=119710 \text{ N}$$

$$\sigma_{ak}=1400 \text{ MPa (55Cr3)}$$

$$N= 9$$

$$w=100 \text{ mm}$$

$$t=14 \text{ mm}$$

$$L=1180 \text{ mm}$$

$$c=1.5$$

Burada;

N= Kat sayısı

w= Malzeme genişliği

t= Malzeme kalınlığı

L= Eksen

c= Emniyet katsayısı'nı göstermektedir.

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_{ak}}{c} = \frac{1400}{1,5} = 933,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{3.P.L}{2.w.N.t^2} = \frac{3.119710.1180}{2.100.9.14^2} = 1202 \text{ MPa} \not\leq 933,33 \text{ MPa UYGUN DEĞİL}$$

$P_{\text{dizayn}} = 67750 \text{ N}$ için;

$$\sigma = \frac{3.67750.1180}{2.100.9.14^2} = 680 \text{ MPa} < 933,33 \text{ MPa UYGUN}$$

Sehim Açısından:

$$k = \frac{P}{f} = \frac{8.E.w.N.t^3}{3.L^3} . Sf$$

$$Sf = 1 + \frac{n}{2N}$$

$$k = \frac{8.210000.100.9.14^3}{3.1180^3} . \left(1 + \frac{2}{2.9}\right)$$

$$k = 942,7 \text{ N/mm} = \frac{P}{129}$$

$$P = 121608 \text{ N}$$

Dönme açısından gerilme;

$$\sigma = \frac{4.E.t.f}{L^2} . Sf = \frac{4.210000.14.129}{1180^2} . \left(1 + \frac{2}{18}\right) = 1210 \text{ MPa} \not\leq 933 \text{ MPa YETERSİZ}$$

$P_{\text{dizayn}} = 67750\text{N}$ için $f = 94 \text{ mm}$

$$\sigma = \frac{4.210000.14.94}{1180^2} . \left(1 + \frac{2}{18}\right) = 873 \text{ Mpa} < 933 \text{ MPa YETERLİ}$$

Teorik olarak yapılan hesaplar ile de yaprak yayın uygunluğu kontrol edilmiştir.

6.3 Kumlama

Soğuk şekil verme olarak bilinen kumlama işleminde yüksek hızda fırlatılan aşındırıcılar bütün yüzey üzerinde bir ön gerilme tabakası oluşturur. Bu ön gerilme mukavemeti yük altında kullanılan malzemenin yorulma dayanımını önemli ölçüde arttırmakla birlikte, stres korozyon çatlaklarına karşı direnç meydana getirir. Yaylar, dişliler, torsiyon barları, vs. çeşitli otomotiv ve hava endüstrisinde kullanılan malzemelerin imalatları esnasında geçtikleri talaşlı imalat, kaynak, taşlama, ısıl işlem, eğme, hadde vb. değişik üretim süreçlerinde malzeme iç gerilmelere maruz kalır. Kumlama prensip olarak malzemelerde mevcut olan iç gerilmelerine ve çatlaklara karşı yüzeyde direnç oluşturma prensibidir. Bu sayede yük altında malzemelerin daha uzun ömürlü olmaları hedeflenmektedir. Bu işlem için aşındırıcı olarak çelik bilye, yuvarlatılmış tel kesme, cam kürecik ve seramik bilya kullanılmaktadır.

Tablo 6.1: Kullanılan aşındırıcı tipleri ve standartları

| Aşındırıcı Tipi | Standart | Sertlik |
|-----------------|------------------------|--------------------------|
| Çelik Bilya | AMS 2431/1 veya 2431/2 | 45-52 HRC veya 55-62 HRC |
| Tel Kesme | AMS 2431/3 veya 2431/8 | 45-52 HRC veya 55-62 HRC |
| Cam Kürecik | AMS 2431/6 | 48-52 HRC |
| Seramik Bilya | AMS 2431/7 | 58-63 HRC |



Şekil 6.3: Makas bağlanmış stresli kumlama tezgâhı



Şekil 6.4: Düz konuma getirilmiş makas bağlı stresli kumlama tezgâhı

6.4 Yorulma Deney Çalışmaları



Şekil 6.5: Makas yorulma tezgahı

6.5 52RS001819 Test sonuçları

Testlerin ardından görülmüştür ki konvansiyonel bir yaprak yay için stresli kumlama yapmak ömrünü 2 katından fazla arttırıyor.

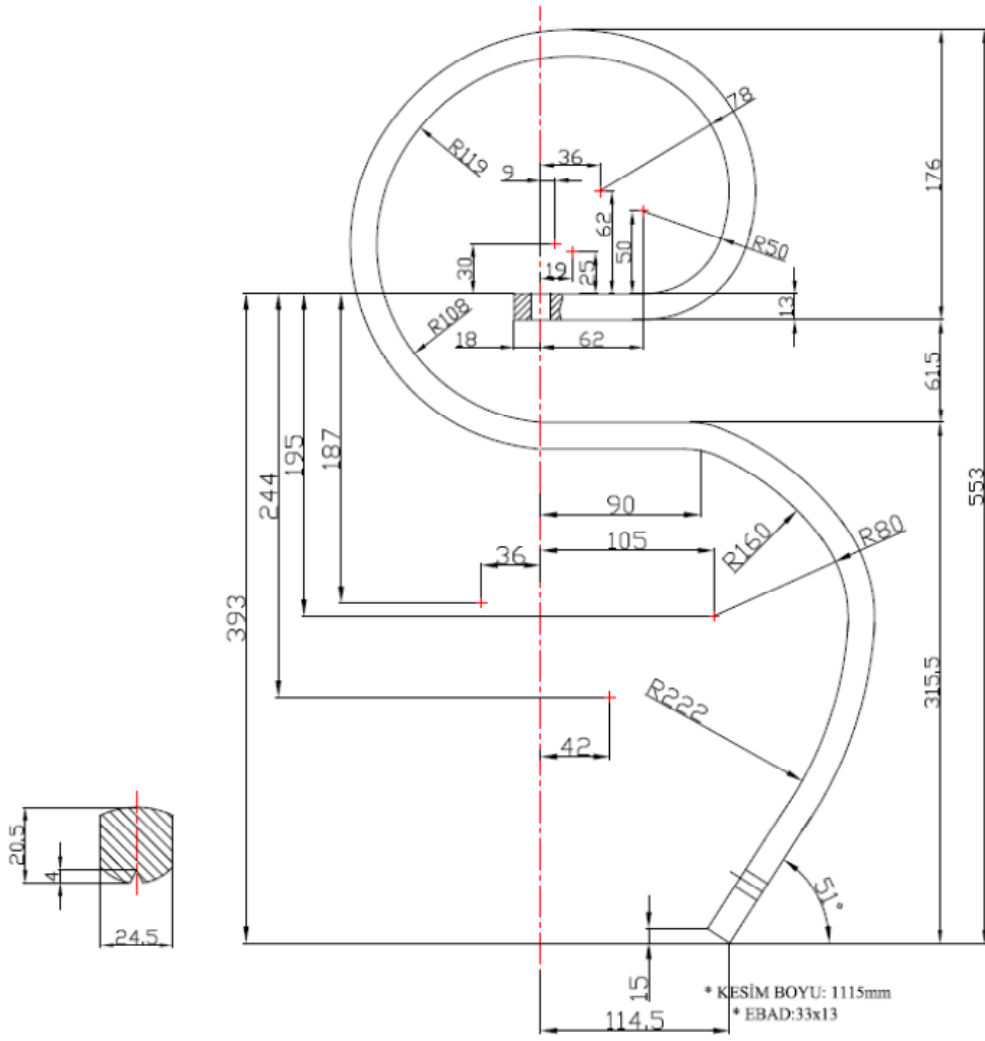
Tablo 6.2: 52RS001819 Test sonuçları

| MAKAS KODU | KUMLAMA TİPİ - ŞİDDETİ | UYGULANA YÜK kg | MAKAS SERTLİĞİ | CYCLE |
|------------|--------------------------|-----------------|----------------|--------|
| 52RS001819 | NORMAL KUMLAMA-50 ALMEN | 6775 | 411 HB | 57000 |
| 52RS001819 | STRESLİ KUMLAMA-50 ALMEN | 6775 | 407 HB | 117000 |

6.6 CCK Ayak Yorulma Testleri

6.6.1 Numuneler

55Cr3 malzemeden kesiti 33x13 lamadan teknik resme uygun üretilerek yapılan ayaklar kullanılmıştır.



Şekil 6.6: Test edilen ayak teknik resmi

6.6.2 Ayak Yorulma Tezgahı ve Özellikleri

Makas yormak için kullanılan yorulma tezgâhında bir takım değişiklikler yapılarak ayak yormak için uygun hale getirilmiştir.



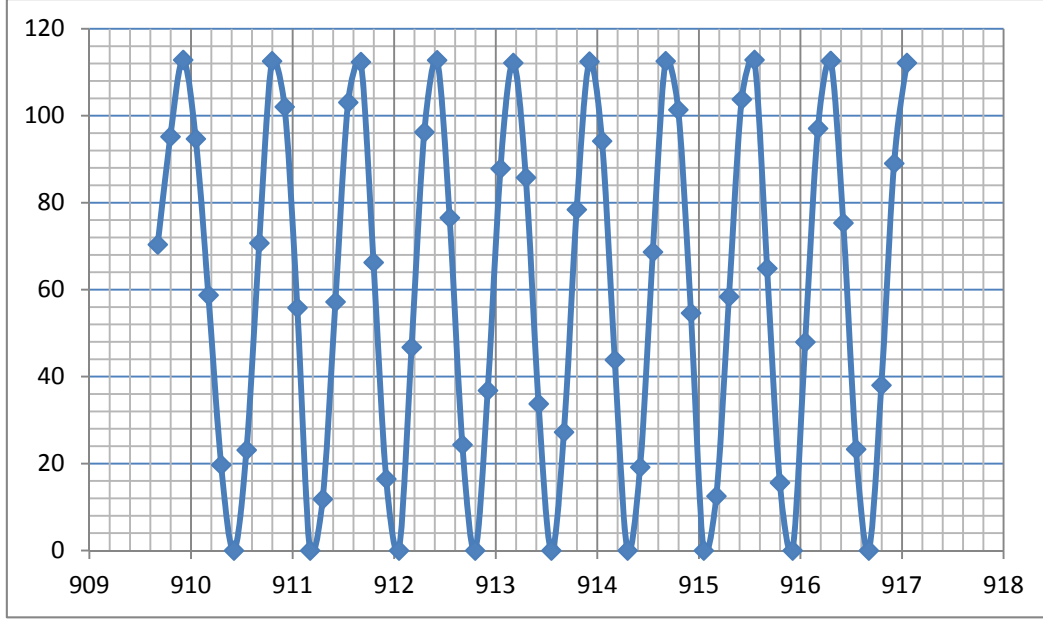
Şekil 6.7: Makas yormak için kullanılan yorulma tezgahı



Şekil 6.10: Yorulma tezgâhi kontrol paneli ve çevrim sayacı

Şekil 6.11: 5 nolu numunenin belli bir aralık için zaman-kuvvet verisi

| Zaman(s) | Kuvvet(kg) | Zaman(s) | Kuvvet(kg) |
|----------|------------|----------|------------|
| 909,672 | 70,367 | 913,422 | 33,728 |
| 909,797 | 95,192 | 913,547 | 0 |
| 909,922 | 112,827 | 913,672 | 27,222 |
| 910,047 | 94,679 | 913,797 | 78,414 |
| 910,172 | 58,725 | 913,922 | 112,457 |
| 910,297 | 19,689 | 914,047 | 94,165 |
| 910,422 | 0 | 914,172 | 43,83 |
| 910,547 | 23,113 | 914,297 | 0 |
| 910,672 | 70,709 | 914,422 | 19,175 |
| 910,797 | 112,547 | 914,547 | 68,655 |
| 910,922 | 102,041 | 914,672 | 112,547 |
| 911,047 | 55,814 | 914,797 | 101,356 |
| 911,172 | 0 | 914,922 | 54,616 |
| 911,297 | 11,813 | 915,047 | 0 |
| 911,422 | 57,184 | 915,172 | 12,498 |
| 911,547 | 103,068 | 915,297 | 58,382 |
| 911,672 | 112,348 | 915,422 | 103,753 |
| 911,797 | 66,258 | 915,547 | 112,835 |
| 911,922 | 16,436 | 915,672 | 64,888 |
| 912,047 | 0 | 915,797 | 15,58 |
| 912,172 | 46,74 | 915,922 | 0 |
| 912,297 | 96,22 | 916,047 | 47,939 |
| 912,422 | 112,772 | 916,172 | 97,076 |
| 912,547 | 76,531 | 916,297 | 112,601 |
| 912,672 | 24,312 | 916,422 | 75,332 |
| 912,797 | 0 | 916,547 | 23,284 |
| 912,922 | 36,81 | 916,672 | 0 |
| 913,047 | 87,83 | 916,797 | 38,008 |
| 913,172 | 112,142 | 916,922 | 89,029 |
| 913,297 | 85,776 | 917,047 | 112,142 |



Şekil 6.12: Kuvvet-Zaman sayısal verilerinin grafiksel gösterimi

6.6.3 Ayak yorulma testi sonuçları

Yorulma tezgâhının strok ayarı yapılarak farklı kuvvetler altında ayakların yorulma davranışı gözlenmiştir. En yüksek ömür değeri 112 kg yük altında 50040 çevrim yapan 1 numaralı numunedir. Ayrıca deney sırasında her 27000 - 30000 çevrim arasında kelepçeye bağlanan civatada koptuğu için yenisi ile değiştirilmiştir.

Tablo 6.3: Ayak yorulma testi sonuçları

| | STROK mm | KUVVET kg | CYCLE |
|----------|-------------|--------------|-------|
| NUMUNE 1 | 150 | 112 | 50040 |
| NUMUNE 2 | 150 | 108 | 47000 |
| NUMUNE 3 | 200 | 116 | 33000 |
| NUMUNE 4 | 200 | 124 | 23000 |
| NUMUNE 5 | 200 | 120 | 22000 |

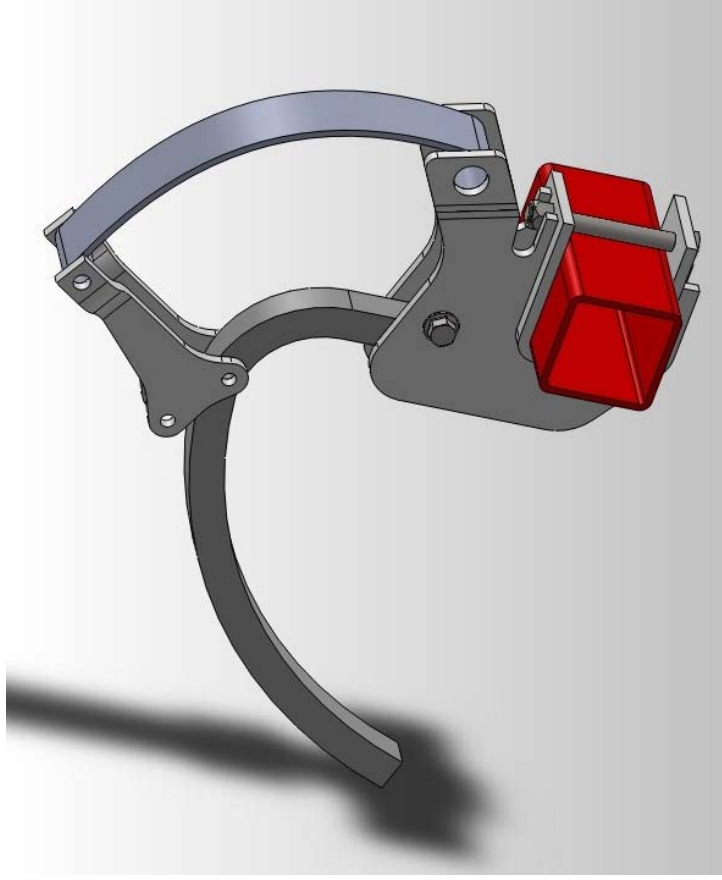
Test sırasında kırılan bütün ayaklar aynı noktadan kırılmıştır.



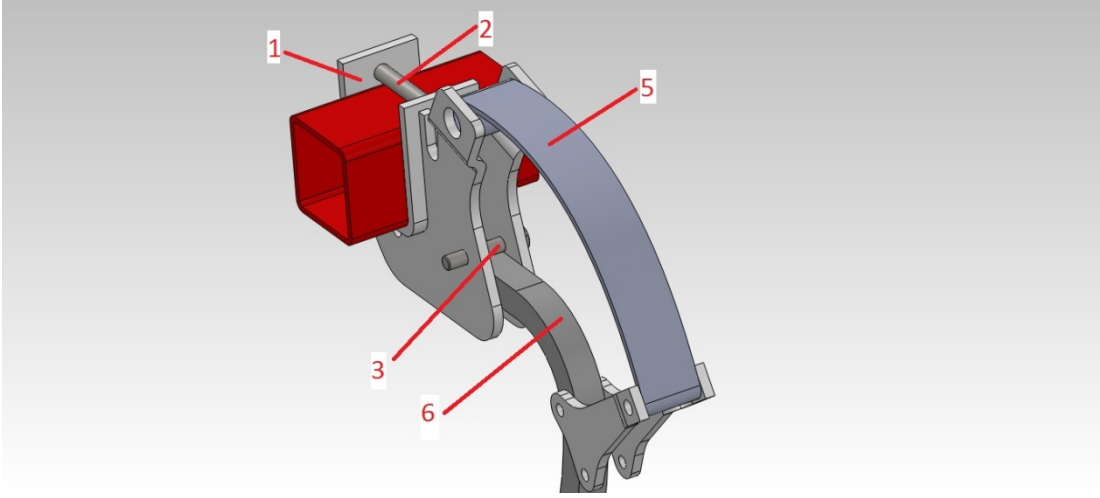
Şekil 6.13: Test sırasında kırılan ayaklar

7. YENİ TASARIM

SolidWorks 2011 programında kültivatörün ağır tipi olan ‘‘TİLLER’’ için yeni tasarım yapıldı. Bunun nedeni mevcut kullanılan tiler ayağı 12,2 kg. Buradaki amaç ayağa kullanılan kıymetli, pahalı ve ithal ürünü olan 12,2 kg 55Cr3  azaltmak ve zahmetli olan ve zaman alan iŖiliđi kolay hale getirip üretim verimini arttırmak.



Ŗekil 7.1: Yeni ayak tasarımı



Şekil 7.2: Ayağın özellikleri

1. U şeklinde form verilmiş profili tutan kelepçe.
2. Kelepçe montaj civatası
3. Emniyet pimi. M14.
4. 30x30 ebatlarında 55Cr3 malzemedan ayak.
5. 60x6 ebatlarında 55Cr3 malzemedan yaprak yay.

7.1 Analizler

7.1.1 Malzeme Özellikleri

Ayak ve makas için kullanılan 55Cr3 malzeme özellikleri SAE J1099 standardından alınmıştır.

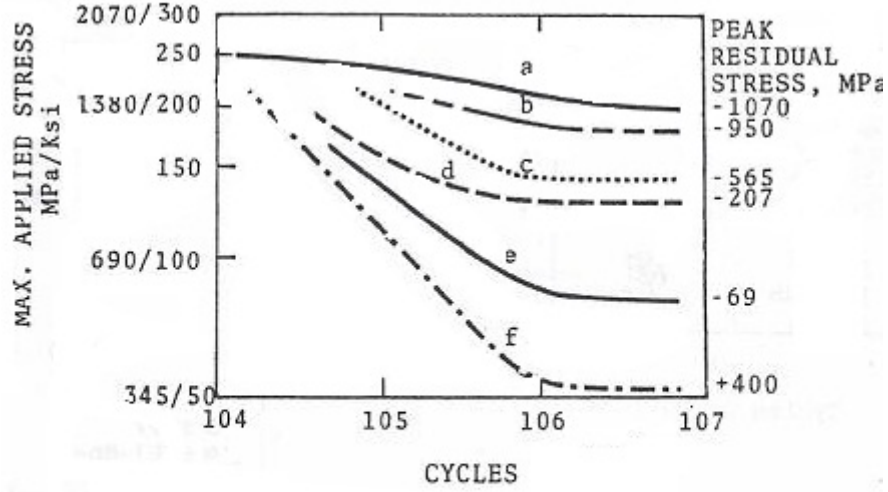
| Steel 5160, Q&T, BHN = 430 | | | | |
|---|-----------------------------------|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| Fatigue Strength Coefficient (σ_f') in MPa | Fatigue Strength Exponent (b) | Fatigue Ductility Coefficient (ϵ_f') in MPa | Fatigue Ductility Exponent (c) | Elastic Modulus (E) in MPa |
| 2054 | -0.081 | 1.571 | -0.821 | 193000 |
| Fatigue Limit (S_{FL}) in MPa | Fatigue Limit (N_{FL}) in MPa | Cyclic Strength Coefficient (K') | Cyclic Strain Hardening Exponent (n') | Ultimate Strength (S_u) in MPa |
| | | 1964 | 0.099 | 1584 |

Reference SAE J1099 - June 1998

Şekil 7.3: 55Cr3 malzeme özellikleri

| Properties of Chart : Density 55Cr3 | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------|--------------------|
| | A | B | C |
| 1 | Property | Value | Unit |
| 2 | Density | 7850 | kg m ⁻³ |
| 3 | Isotropic Elasticity | | |
| 4 | Young's Modulus | 1,93E+05 | MPa |
| 5 | Poisson's Ratio | 0,29 | |
| 6 | Alternating Stress Mean Stress | Tabular | |
| 7 | Scale | 1 | |
| 8 | Offset | 0 | Pa |
| 9 | Interpolation | Log-Log | |
| 10 | Strain-Life Parameters | | |
| 18 | Tensile Yield Strength | 1400 | MPa |
| 19 | Tensile Ultimate Strength | 1584 | MPa |

Şekil 7.4: Ansys Workbench programına girilen malzeme özellikleri



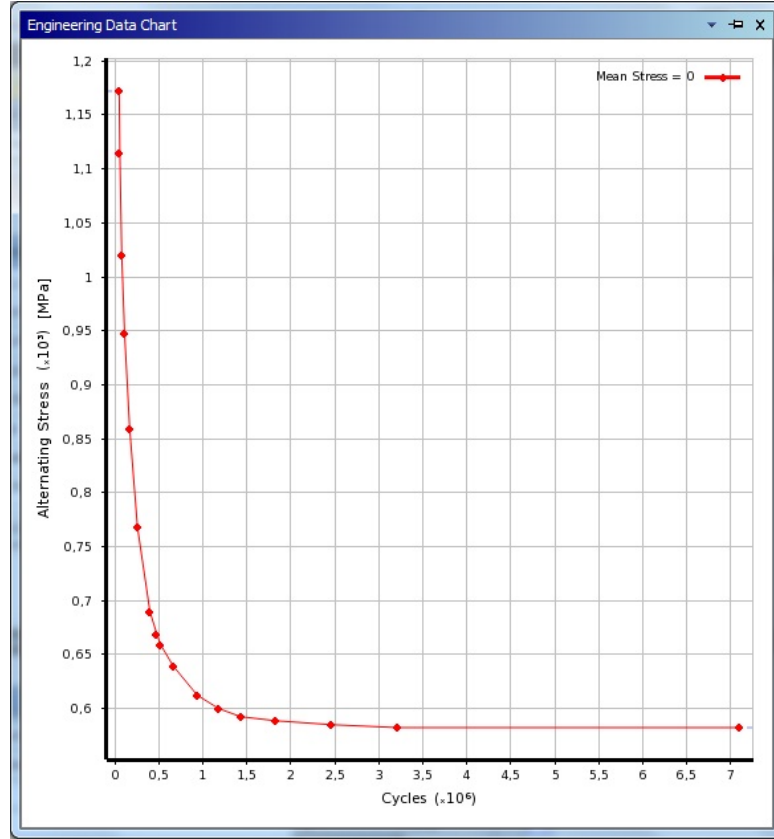
Residual stress and unidirectional bending fatigue data for strain-peened SAE 5160 steel. Applied strain during peening curve a, -0.60%; curve b, -0.30%; curve c, 0% (conventional peening); curve d, preset only; curve e, +0.30%; and curve f, +0.60%.

Şekil 7.5: 55Cr3 malzeme ait yorulma diyagramı [9]

Tablo 7.1: Şekil 7.4 de bulunan grafikten çıkarılan ömür değerleri

| 55Cr3 Ömür Değerleri | |
|----------------------|-----------|
| Mpa | n |
| 1.172 | 47.706 |
| 1.115 | 55.774 |
| 1.020 | 76.862 |
| 948 | 109.108 |
| 860 | 167.054 |
| 768 | 256.195 |
| 689 | 398.107 |
| 669 | 477.058 |
| 659 | 517.947 |
| 639 | 662.870 |
| 612 | 936.329 |
| 600 | 1.178.769 |
| 592 | 1.428.894 |
| 588 | 1.831.712 |
| 585 | 2.458.750 |
| 582 | 3.214.718 |
| 582 | 7.102.783 |

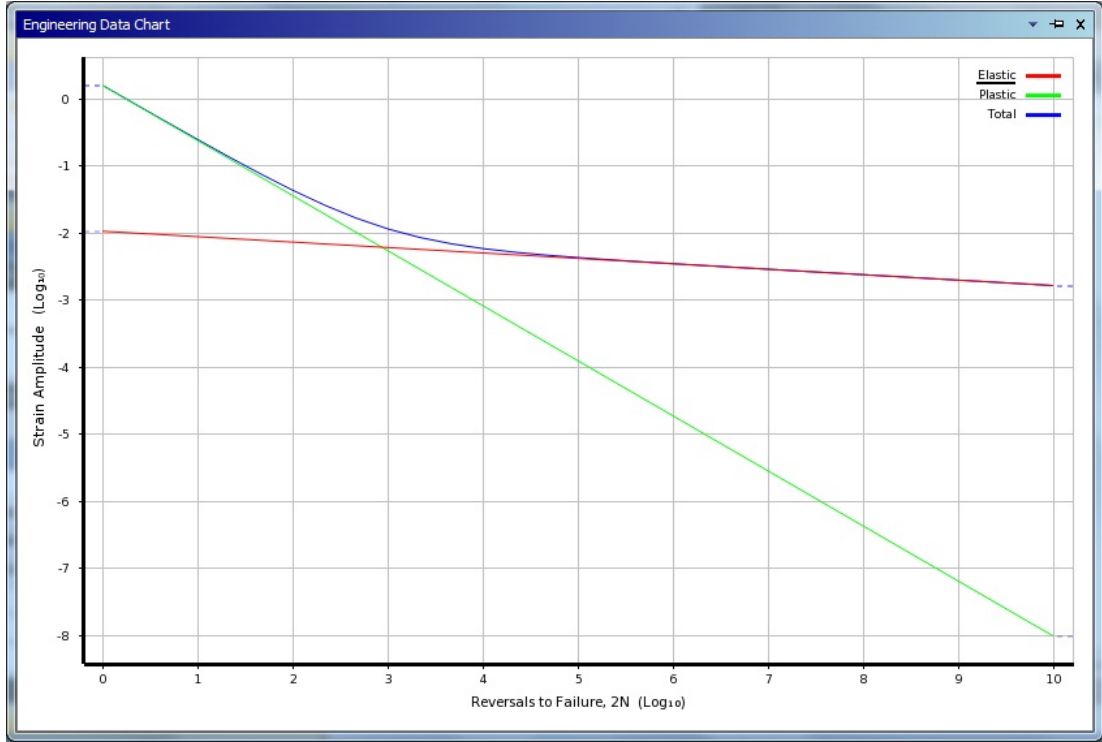
Elde edilen verilerin Ansys workbench te malzeme özelliklerine girilmesiyle aşağıdaki grafik elde edildi.



Şekil 7.6: Ömür grafiği

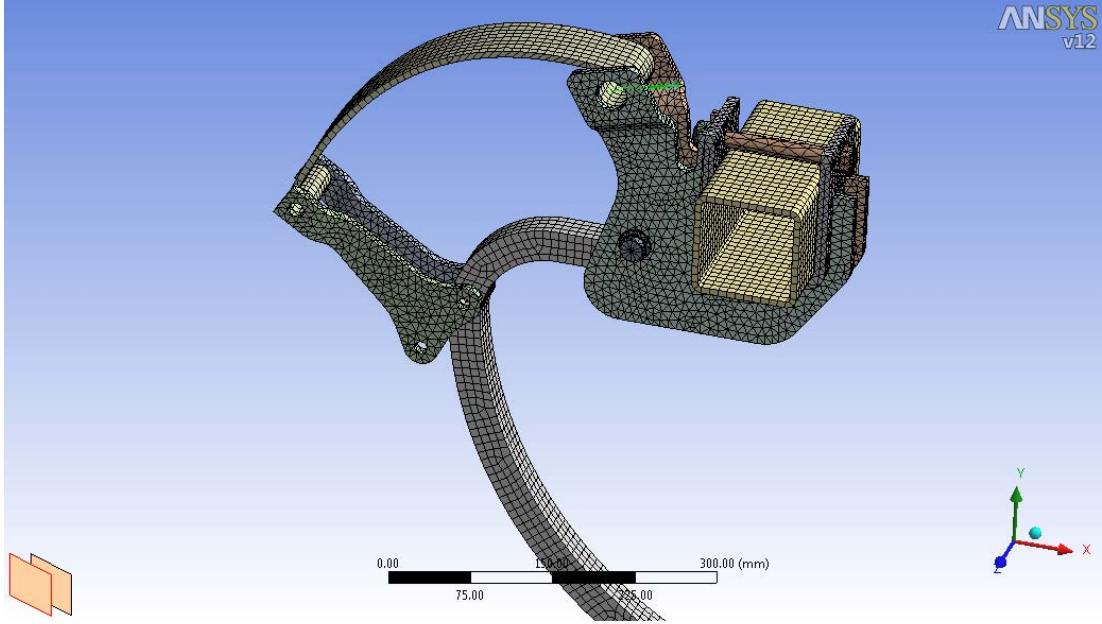
| Table of Properties Row 10: Strain-Life Parameters | | | | | | |
|--|----------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| 1 | Strength Coefficient (MPa) | Strength Exponent | Ductility Coefficient | Ductility Exponent | Cyclic Strength Coefficient (MPa) | Cyclic Strain Hardening Exponent |
| 2 | 2054 | -0,081 | 1,571 | -0,821 | 1964 | 0,099 |

Şekil 7.7: Strain-Life Parametreleri



Şekil 7.8: Strain-Life Diyagramı

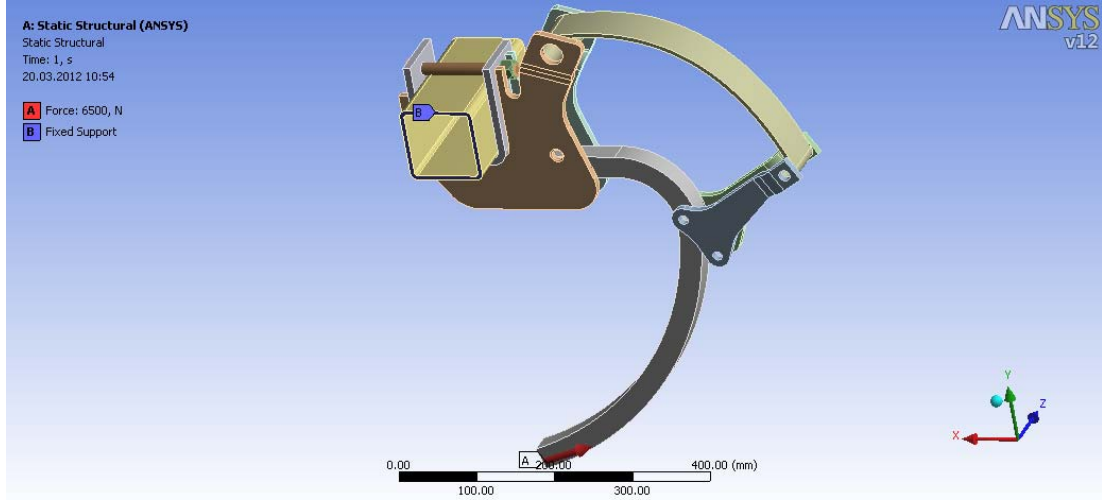
7.1.2 Mesh işlemi



Şekil 7.9: Mesh atılmış model

Meshleme işlemi sonucunda toplamda 29690 eleman ve 70712 düğüm noktasından oluşmuştur. Kullanılan meshleme metodu ise Tetrahedrons dur.

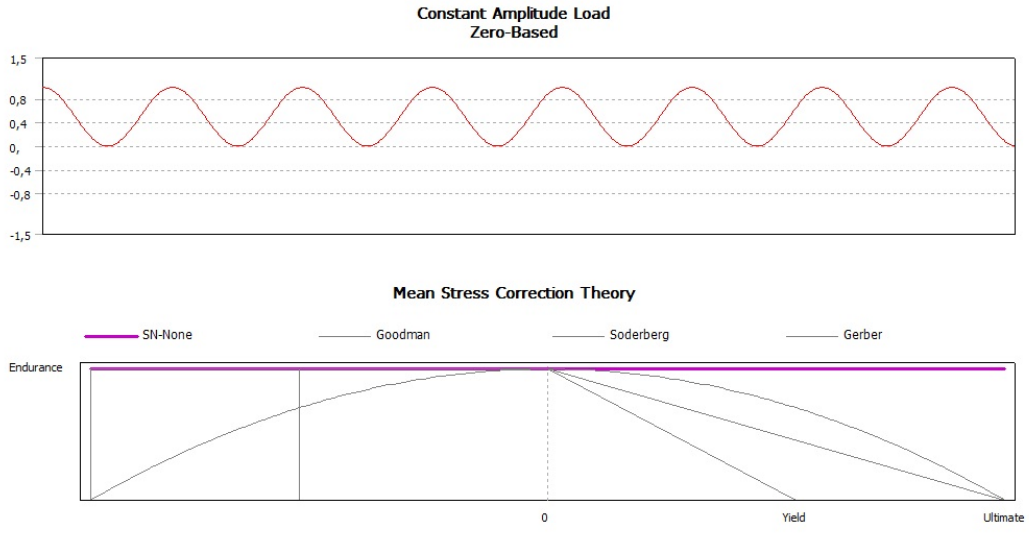
7.1.3 Sınır Şartları



Şekil 7.10: Sınır Şartları

Tasarımında ayak numune testlerinde uygulanan kuvvetin 6 katından fazla yük uygulanmıştır.

7.1.4 Yorulma Şartları

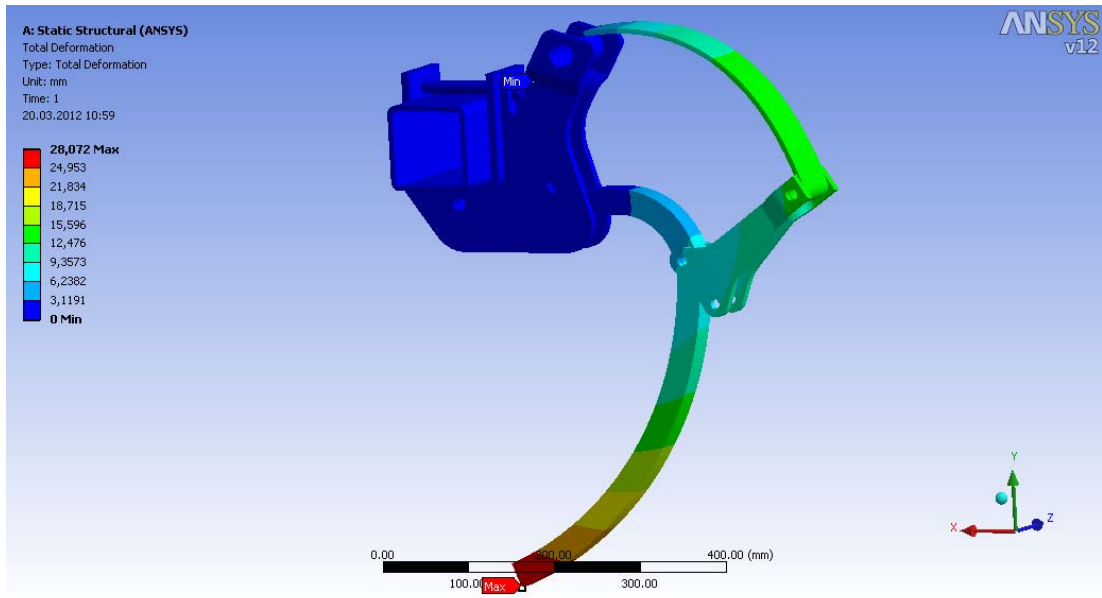


Şekil 7.11: Yorulma tipi

Zero-Based tipi yorulma seçilmiştir.

7.1.5 Analiz Sonuçları

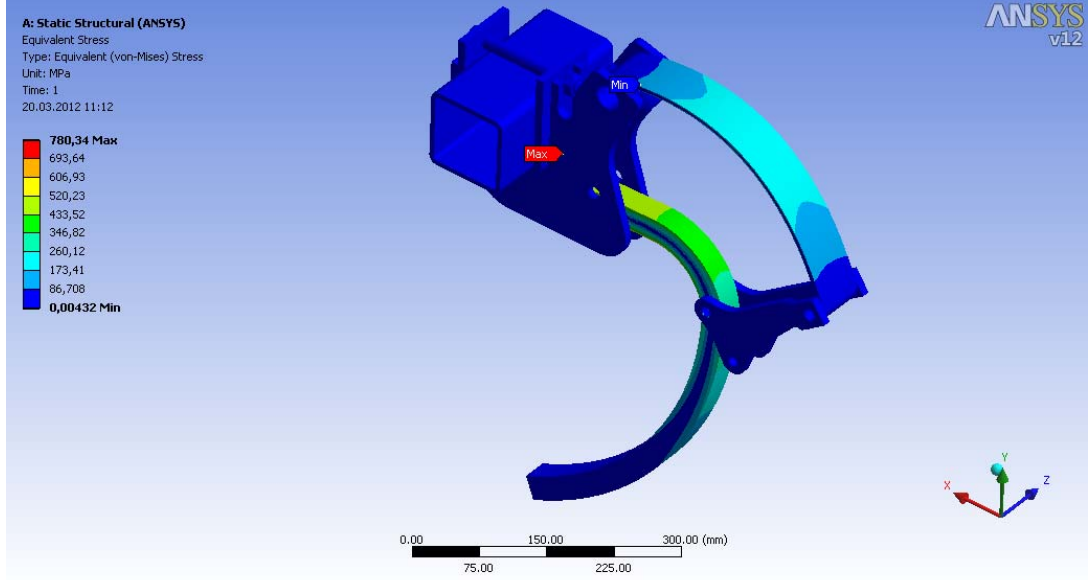
7.1.5.1 Toplam Deformasyon



Şekil 7.12: Toplam deformasyon

Tiller ayağın CCK ayaktan farkı toprak içinde yaptığı titreşim ile toprağı yırtmasıdır. Max. deplasmanın CCK ya nispeten düşük olması bu ayağın özelliğidir.

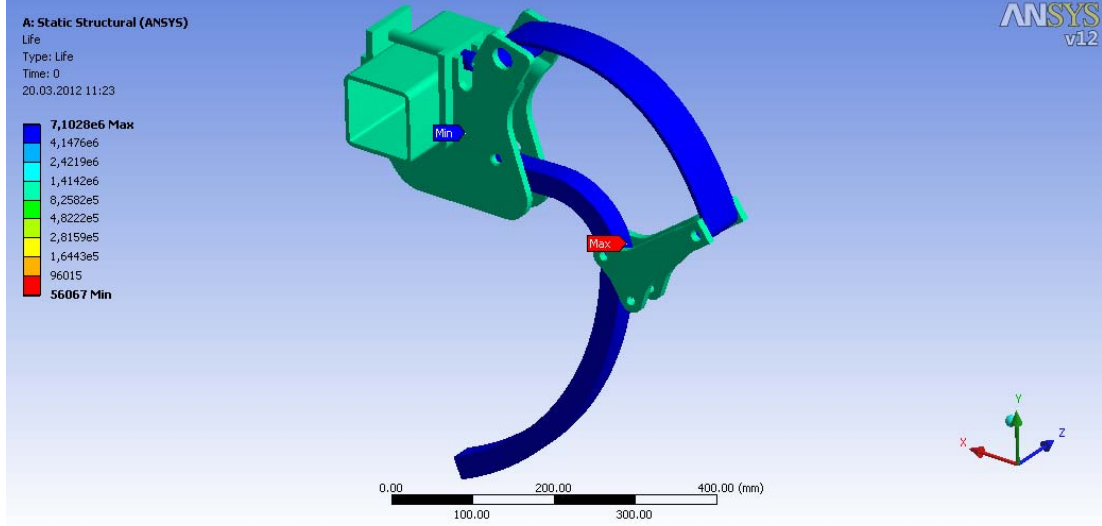
7.1.5.2 Maksimum Gerilme



Şekil 7.13: Maksimum gerilme

Yaprak yayda görülen maksimum gerilme 346 MPa dır. Ayakta ise kelepçeye temas ettiği noktada 780 MPa dır. Bu değerler sertleştirilmiş yay çeliğinin akma/kopma mukavemetinin altındadır.

7.1.5.3 Ömür

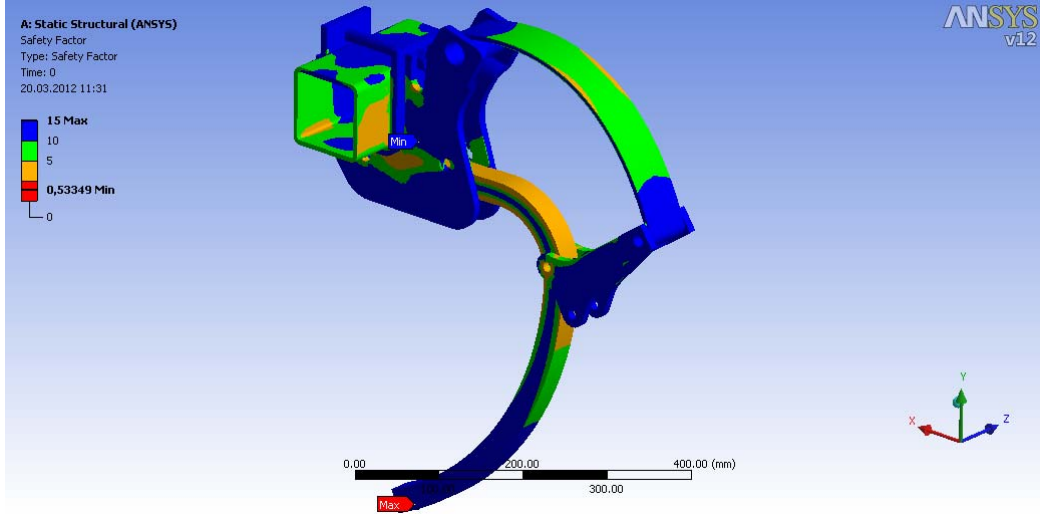


Şekil 7.14: Ömür

Ömür analizi sonucu 55Cr3 malzemeden yapılmış olan makasta ve ayakta ömür sonsuza yakın çıktı. Bunun anlamı ayak yada makas kırılmasının yorulma sonucunda görülmeyeceğidir. Kırılmaların esas sebebi traktör hızının yüksek olması ve ayağın tarlada köke ya da taşa sert bir şekilde çarpması ile olacağını söyleyebiliriz.

56067 cycle olan minimum ömür labaratuvar testlerinde gözlenen testlere yakın değerdir ve tasarlanan yeni ayak modelinin kullanım süresi için yeterlidir.

7.1.5.4 Güvenlik Katsayısı



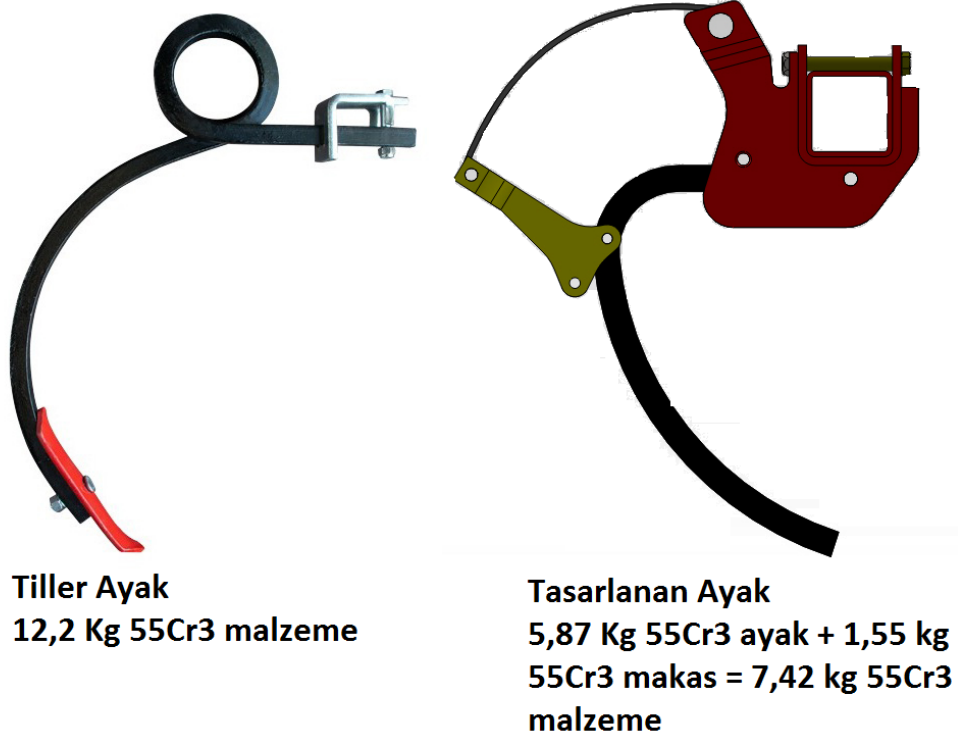
Şekil 7.15: Güvenlik katsayısı

Güvenlik katsayısı yan kulakta 0,533 çıkmıştır. Geri kalan kısımlarda minimum 5 dir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Hem ayak hem de 52RS001819 kodlu BMC makasının yorulma testleri başarı bir şekilde yapılmıştır.
- Yaprak yay yorulma testinde stresli kumlamanın konvansiyonel bir yaprak yayın ömrünü 2 kattan fazla arttırdığı görülmüştür. Normal kumlama ile 56.000 çevrim olan ömür stresli kumlama ile 117.000 değerine ulaşmıştır.
- Testler sonunda görülen yorulma ömürleri tasarım için ışık tutmuştur.
- Yapılan tasarım analizlerinde yaprak yayda ömrün sonsuza yakın çıkmıştır.
- Yapılan tasarım analizlerinde ayakta ömür 56067 çıkmıştır. Labaratuarda yapılan test sonuçlarında görülen ömür değerlerine yakın bir değerdir ve bu değer tasarlanan ayağın kullanım ömrünün yeterli olduğunu göstermektedir.

Gerek piyasa rekabetine farklı, yenilikçi ürünler ile fark yaratmak gerekse üretim kolaylığı, kıymetli malzemenin haddinden fazla yerine yeteri kadarını kullanarak milli servetin israfının önlenmesi üzerine durulmuştur.



Şekil 8.1: Karşılaştırma

Bundan sonraki süreç numune üretiminin yapılmasıdır. Numune olarak yapılan makineler Türkiye'nin farklı bölgelerinde çiftçilere test etmeleri için verilerek eksiklerinin görülmesi ve farklı toprak türlerinde nasıl bir davranış sergilediğine bakılarak gerekli revizyonlar yapılmasıdır. Bundan sonraki bu süreç başka bir çalışma ile izlenebilir.

9. KAYNAKLAR

- [1] Hasçalık, A., “Yaprak yay yapımında kullanılan 35 Cr4 çeliğinin fretting yorulma davranışının araştırılması ”, Fırat Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi , Elazığ, (1998)
- [2] Esen, Ö., “Kompozit Yaprak Yayların Sonlu Eleman Yöntemi İle Yorulma Analizinin Yapılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, (2009).
- [3] Gökçebay, B., *Tarım Makinaları*, Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 979, 135-144, (1986).
- [4] MEGEP, *Süspansiyon Sistemleri*. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı, 6-10, (2005).
- [5] Reimpell, J., Stoll, H. and Betzler, J. W., *The Automotive Chassis: Engineering Principles*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 344, (2001).
- [6] Sayman, O., Aksoy, S., *Mukavemet II*. İzmir: Dokuz E. U. Müh. Fak. Basım Ünitesi, 135-144, .(1998).
- [7] Reddy, J.N., *Mechanics of laminated composite plates theory and analysis* (1th ed.) US: CRC Press., (1997).
- [8] Boyer, H., E., *Atlas of Fatigue Curves*. 1986

EKLER

10. EKLER

EK A: 52RS001819 Teknik Resmi