

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



KUMLAMA İŞLEMİNİN YAPRAK YAYLARIN YORULMA ÖMRÜ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

HALİM KARAKAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sare ÇELİK (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Murat BAYDOĞAN
Doç. Dr. Gülcan TOKTAŞ

BALIKESİR, OCAK - 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Halim KARAKAŞ tarafından hazırlanan “**KUMLAMA İŞLEMİNİN YAPRAK YAYLARIN YORULMA ÖMRÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 16 Ocak 2020 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Prof. Dr. Sare ÇELİK
Balıkesir Üniversitesi

Üye

Prof. Dr. Murat BAYDOĞAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Üye

Doç. Dr. Gülcan TOKTAŞ
Balıkesir Üniversitesi

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

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Kumlama İşleminin Yaprak Yayların Yorulma Ömrü Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Halim KARAKAŞ

ÖZET

**KUMLAMA İŞLEMİNİN YAPRAK YAYLARIN YORULMA ÖMRÜ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HALİM KARAKAŞ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. SARE ÇELİK)
BALIKESİR, OCAK - 2020**

Araçlardaki süspansiyon sistemleri, aracın sürüş konforunu ve dengesini sağlayan çok önemli bir bileşendir. Lastik ilerledikçe, süspansiyon sistemi değişen sürüş (yol) koşullarını sürekli olarak dengeleyen ve ayarlayan dinamik bir denge durumundadır. Süspansiyon sisteminin bileşenleri; araç sürüş yüksekliğinin korunması, şok kuvvetlerinin etkisinin azaltılması, araç ağırlığının desteklenmesi, sürüş torkunun taşınması gibi temel işlevleri yerine getirir. Yaprak yaylar, süspansiyon sisteminin ana elastik bileşeni olmasının yanı sıra bu eleman aksın uzunlamasına ve yanal yönlendirmesinide üstlenir. Yaprak yaylar, temel olarak yol girdileriyle ilgili enerjiyi emmek ve geri salmak için arka süspansiyon sistemlerinde kullanılır. Yaprak yayların ayrıca yük altında istenen araç sürüş yüksekliğini sağlama görevide vardır. Yaprak yaylar genelde hafif ve ağır ticari araçların hotchkiss arka süspansiyon uygulamalarında, iş makinelerinde, römorklarda, otobüslerde ve demir yolu taşımacılığında kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ilk olarak yaprak yayların yapısı ve yaprak yay terminolojisi detaylı olarak incelenmiştir. Yaprak yay çeşitlerinden ve çalışma prensiplerinden bahsedilmiştir. Yaprak yaylarda kullanılan malzeme de çok büyük bir önem teşkil ettiği için yaprak yay çelikleri araştırılıp en çok kullanılan 55Cr3 ve 50CrV4 yay çelikleri detaylı olarak açıklanmıştır. Yaprak yay üretim aşamaları teker teker detaylı olarak incelenmiştir. Yaprak yaylarda yorulma konusu araştırılıp yaprak yayların yorulma ömrüne etki eden kumlama işlemi konusu üzerinde durulmuştur. Serbest halde normal kumlama ve stresli kumlama işlemleri detaylı olarak incelenmiştir. Daha sonra toplamda 6 adet aynı tip yaprak yay numuneleri üretilmiştir. Bu 6 adet numunenin 2 tanesine herhangi bir kumlama işlemi yapılmamıştır. 2 adet numuneye serbest halde normal kumlama işlemi ve kalan 2 adet numuneye ise stresli kumlama işlemi uygulanmıştır. Son olarak, tüm yaprak yay numunelerine aynı laboratuvar şartlarında yorulma ömür testleri yapıp elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, stresli kumlama işlemi uygulanan yaprak yayların yorulma ömrünün, normal kumlama işlemi yapılmış yaprak yayların yorulma ömrüne kıyasla 2 kat, hiçbir kumlama işlemi uygulanmamış yaprak yayların yorulma ömrüyle kıyaslandığında ise 3 kat daha fazla olduğu bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Yaprak yay, kumlama işlemi, stresli kumlama işlemi, yorulma ömür testi.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SANDING PROCESS ON FATIGUE LIFE OF LEAF SPRINGS

MSC THESIS

HALIM KARAKAŞ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF.DR. SARE ÇELİK)

BALIKESİR, JANUARY - 2020

Suspension systems in vehicles are a very important component that ensures the driving comfort and stability of the vehicle. As the tire progresses, the suspension system is in a dynamic equilibrium state that constantly balances and adjusts to change the driving (road) conditions. Components of the suspension system; it protects the driving height of the vehicle, reduces the impact of shock forces, supports the weight of the vehicle, carries out the basic functions of driving torque. The leaf springs are the main elastic component of the suspension system as well as the longitudinal and lateral orientation of the axle. Leaf springs are mainly used in rear suspension systems to absorb and release energy from road inputs. Furthermore, the leaf springs have the task of providing the desired vehicle driving height under load. Generally, leaf springs are used in hotchkiss rear suspension applications of light and heavy commercial vehicles, construction equipment, trailers, buses and rail transportation.

In this thesis, firstly the structure of leaf springs and leaf spring terminology are examined in all details. Leaf spring types and working principles are mentioned. Since the material used in leaf springs is of great importance, leaf spring steels have been investigated and the most commonly used spring steels 55Cr3 and 50CrV4 have been explained in detail. Leaf spring production stages have been examined in detail. The subject of fatigue in leaf springs has been investigated and the shot peening (peening) process affecting the fatigue life of leaf springs has been discussed. Typical shot peening and stress peening processes have been examined in detail. After that, a total of 6 same type leaf spring samples have been produced. 2 of these 6 samples were not shot peening. 2 samples have been subjected to typical shot peening in free form and the remaining 2 samples have been subjected to stress peening. Finally, fatigue life tests have been performed on all leaf spring samples under the same laboratory conditions and the results obtained have been interpreted. As a result of the experimental studies, fatigue life of leaf springs applied stress peening process, 2 times compared to the fatigue life of the leaf springs with normal shot peening process, compared to the fatigue life of leaf springs without any shot peening process have been found to be 3 times more.

KEYWORDS: Leaf spring, shot peening (peening) process, stress peening process, fatigue life test.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
1. GİRİŞ	12
1.1 Tezin Amacı.....	13
1.2 Literatür Araştırması.....	13
2. YAPRAK YAYLARIN YAPISI VE YAPRAK YAY TERMİNOLOJİSİ	17
2.1 Yaprak Yayların Yapısı	17
2.2 Yaprak Yay Terimleri.....	18
2.2.1 Referans Eksen Çizgisi	18
2.2.2 Toplam Yükseklik	19
2.2.3 Nominal Yaprak Yay Oranı (Rate, Yay Rijitliği).....	19
2.2.4 Serbest Kavis	19
2.2.5 Normal Yük.....	19
2.2.6 Yaprak (Kat) Numaraları	20
2.2.7 Paket Kalınlığı	20
2.2.8 Kelepçeli (Aktif Olmayan) Uzunluk.....	20
2.2.9 Göbek Düzlüğü.....	20
2.2.10 Düz Uzunluk (Düz Haldeki Eksen Mesafesi)	20
2.2.11 Yüklü Uzunluk (Kavisli Haldeki Eksen Mesafesi)	20
2.2.12 Yaprak Adımı.....	20
2.2.13 Oturma Uzunluğu (Düzlük)	21
2.2.14 Oturma Açısı	21
2.2.15 Oturma Açısı Çizgisi	21
2.3 Yaprak Yay Montajı İçin Gerekli Elemanlar	21
2.3.1 Yaprak Yay Burçları.....	21
2.3.2 Lastik Takoşlar	22
2.3.3 Bağlantı Küpeleri (Yaprak Yay Küpeleri)	23
2.3.4 Merkez Cıvatası.....	23
2.3.5 Yaprak Yay U-Cıvatası.....	24
2.3.6 Yaprak Yay Kelepçeleri.....	25
2.4 Yaprak Yay Göz Çeşitleri.....	26
2.4.1 Normal Düz Göz.....	26
2.4.2 Baskı Kafa Göz.....	26
2.4.3 Ters Kafa Normal Göz.....	26
2.4.4 Oval Göz	27
2.4.5 Tam Sarmallı Normal Düz Göz.....	27
2.4.6 Tam Sarmallı Baskı Kafa Göz.....	28

2.4.7 Düz Uçlar (Göz Kıvrımı Olmayan Yapılar).....	28
2.5 Yaprak Uç Şekilleri	28
2.5.1 İncelen Uç (Süzme Uç)	28
2.5.2 Üçgen Kesim (Mızrak Uç)	29
2.5.3 Kare Uç (Düz, Küt Uç)	29
2.5.4 Parabolik ve Açılı Kesilmiş Uç	30
2.6 Yaprak Yay Kesit Çeşitleri	30
3. YAPRAK YAY ÇEŞİTLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ	32
3.1 Konvansiyonel Yaprak Yay Çeşitleri (Yığıma Makas)	36
3.2 Parabolik Yaprak Yay Çeşitleri.....	38
3.3 Havalı Süspansiyon Yaprak Yay Çeşitleri (Z Makas Tipi)	41
4. YAPRAK YAY MALZEMELERİ VE ÖZELLİKLERİ	42
4.1 Yaprak Yay Malzemelerinin Genel Özellikleri	42
4.2 Yaprak Yay Çelikleri.....	43
5. YAPRAK YAY ÜRETİM AŞAMALARI.....	46
5.1 Kesme İşlemi.....	46
5.2 Delik Delme İşlemi.....	47
5.3 Isıtma İşlemi.....	47
5.4 Parabolik Çekme İşlemi (Haddeleme).....	47
5.5 Göz Kıvrırma İşlemi	48
5.6 Son Kesim İşlemleri (Yan Kesim, V-kesim)	49
5.7 Tavlama, Kavis Verme (Bükme) ve Ani Soğutma (Sulama) İşlemleri	49
5.8 Menevişleme (Temperleme) İşlemi.....	49
5.9 Kumlama İşlemi	52
5.10 Boyama İşlemi	53
5.11 Montaj İşlemi	53
5.12 Ön Yükleme İşlemi	53
5.13 Yük Testi.....	53
6. YAPRAK YAYLARDA YORULMA VE YORULMA ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	54
6.1 Yorulma Olayı.....	54
6.2 Yaprak Yaylarda Yorulma	58
6.3 Yaprak Yaylarda Kumlama İşlemleri.....	59
6.3.1 Serbest Halde (Normal) Kumlama İşlemi.....	60
6.3.2 Stresli Kumlama İşlemi.....	63
7. YAPRAK YAY NUMUNELERİNİN YORULMA TESTLERİ	68
7.1 Yaprak Yay Numune Özellikleri ve İmalatı	68
7.2 Yaprak Yay Numunelerinin Yorulma Testine Hazırlanması.....	70
7.2.1 Yaprak Yay Numunelerinin Sertlik Ölçümleri.....	70
7.2.2 Yüksek Kavisli Numune Üretimi	72
7.2.3 Stresli Kumlama İşleminin Uygulanması	73
7.3 Gerilme Analizi	77
7.4 Parabolik Yaprak Yay Numunesinin Mukavemet Hesabı	80
7.5 Parabolik Yaprak Yay Numunelerinin Yorulma Ömür Testi Uygulamaları	81
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	85
9. KAYNAKLAR.....	87
EKLER.....	92

EK A: Numune-1 Brinell Sertlik Raporu.....	92
EK B: Numune-2 Brinell Sertlik Raporu.....	93
EK C: Numune-3 Brinell Sertlik Raporu.....	94
EK D: Numune-4 Brinell Sertlik Raporu.....	95
EK E: Numune-5 Brinell Sertlik Raporu.....	96
EK F: Numune-6 Brinell Sertlik Raporu.....	97
ÖZGEÇMİŞ	98

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Yaprak yayın araç altında ki konumu.	12
Şekil 1.2: Yaprak yay görseli.	13
Şekil 2.1: Genel yaprak yay yapısı [18].	18
Şekil 2.2: Standart yaprak yay düzeni [19].	18
Şekil 2.3: Nominal yaprak yay oranı (rate, yay rijitliği) [20].	19
Şekil 2.4: Yaprak yay düzeninde oturma açısı ve oturma uzunluğu [19].	21
Şekil 2.5: Burç örnekleri [20].	22
Şekil 2.6: Lastik takoz örnekleri [20].	23
Şekil 2.7: Bağlantı küpesi örneği [19].	23
Şekil 2.8: Merkez civatası görseli [20].	24
Şekil 2.9: Yaprak yay u-civatası görseli [20].	25
Şekil 2.10: Yaprak yay kelepçe örneği [24].	25
Şekil 2.11: Normal düz göz çeşidi.	26
Şekil 2.12: Baskı kafa göz.	26
Şekil 2.13: Ters kafa normal göz.	27
Şekil 2.14: Oval göz.	27
Şekil 2.15: Tam sarmallı normal düz göz.	27
Şekil 2.16: Tam sarmallı baskı kafa göz.	28
Şekil 2.17: Düz uçlar.	28
Şekil 2.18: Süzme (incelen) uç.	29
Şekil 2.19: Üçgen kesim bıçakları ile kesilmiş mızrak uç.	29
Şekil 2.20: Kare, düz uç.	29
Şekil 2.21: Parabolik ve açılı kesilmiş uç.	30
Şekil 2.22: EN 10092-1A profiline sahip lama kesiti.	31
Şekil 2.23: EN 10092-1B profiline sahip lama kesiti.	31
Şekil 2.24: EN 10092-1C profiline sahip lama kesiti.	31
Şekil 3.1: Araç altına bağlanmış yaprak yay örneği [20].	32
Şekil 3.2: Dingil altına asılmış (underslung) yaprak yaylı hotchkiss arka süspansiyon düzeni [28].	33
Şekil 3.3: Yaprak yaylarda burulma etkileri [19].	33
Şekil 3.4: Yaprak yayların dingile bağlanma şekilleri [29].	35
Şekil 3.5: Konvansiyonel yaprak yay kesiti [20].	36
Şekil 3.6: Konvansiyonel yaprak yay örneği [20].	37
Şekil 3.7: Tek kademeli konvansiyonel yaprak yay [20].	37
Şekil 3.8: Çift kademeli konvansiyonel yaprak yay [20].	38
Şekil 3.9: Üç kademeli konvansiyonel yaprak yay [19].	38
Şekil 3.10: Parabolik yaprak yay kesiti [20].	39
Şekil 3.11: Parabolik yaprak yay örneği [20].	40
Şekil 3.12: Tek kademeli parabolik yaprak yay [20].	40
Şekil 3.13: Çift kademeli parabolik yaprak yay [20].	40
Şekil 3.14: Havalı süspansiyon yaprak yay örneği (z makas) [20].	41
Şekil 4.1: 55Cr3 ıslah çeliğinin sertlik-uzaklık değerleri [33].	44
Şekil 4.2: 51CrV4 ıslah çeliğinin sertlik-uzaklık değerleri [33].	45
Şekil 5.1: Yaprak yay üretim aşamaları [20].	46

Şekil 5.2: Parabolik çekme işlemine (haddeleme) ait bir görüntü [20].	47
Şekil 5.3: Göz kıvrırma işlemi yapılırken [20].	48
Şekil 5.4: Göz kıvrırma işlemi sonucunda oluşan göz [20].	48
Şekil 5.5: Temperleme işleminin şematik gösterimi [34].	50
Şekil 5.6: Temperleme süresinin malzemenin mekanik özelliklerine etkisi [35].	50
Şekil 5.7: Temperleme işleminin çeliğin mekanik özelliklerine etkisi [35].	51
Şekil 6.1: Toplam yorulma ömrünün aşamaları.	56
Şekil 6.2: Yorulma kırığı yüzeyi.	57
Şekil 6.3: Wöhler eğrisi [37].	57
Şekil 6.4: Yorulma olayında ki gerilme-zaman eğrileri [10].	58
Şekil 6.5: Kumlama işleminde yuvarlak çelik bilyanın malzeme yüzeyine etkisi.	61
Şekil 6.6: Stresli kumlama işleminde artık gerilme gelişimi [40].	64
Şekil 6.7: Normal kumlama (mavi) ve stresli kumlama (kırmızı) yapılmış yaprak yayın artık gerilme dağılımı [40].	66
Şekil 6.8: Farklı şartlar altında yaprak yayların dayanıklılığını gösteren S-N diyagramı [40].	67
Şekil 7.1: Yorulma testi uygulanacak numunelerin teknik resmi.	68
Şekil 7.2: Üretilen numunelerin örnek görseli.	70
Şekil 7.3: Numunenin sertlik ölçüm yüzeyi.	71
Şekil 7.4: Numunenin brinell sertlik değerinin ölçülmesi.	71
Şekil 7.5: Kavisi 138 mm olan göz tarafının kavisinin 183 mm yapılmış hali.	72
Şekil 7.6: Kavisi 128 mm olan göz tarafının kavisinin 173 mm yapılmış hali.	73
Şekil 7.7: Strengaç ölçümü.	74
Şekil 7.8: Kumlama makinası.	75
Şekil 7.9: Stresli kumlama işlemi için makas germe işlemi görseli.	76
Şekil 7.10: Kumlama öncesi yaprak yay görünümü.	76
Şekil 7.11: Kumlama sonrası yaprak yay görünümü.	77
Şekil 7.12: VW Crafter yaprak yayının katı modeli.	77
Şekil 7.13: Yaprak yay sonlu elemanlar modeli.	78
Şekil 7.14: Yaprak yayın mesh görüntüsü.	78
Şekil 7.15: Yaprak yayda meydana gelen deplasman.	79
Şekil 7.16: Yaprak yayda meydana gelen gerilme.	79
Şekil 7.17: VW Crafter parabolik yaprak yay numunesine ait yay rijitliği grafiği.	81
Şekil 7.18: Yaprak yay yorulma test düzeneği.	82
Şekil 7.19: Yaprak yayın araç altındaki hareketi.	82
Şekil 7.20: Kırılan örnek numune görseli.	83
Şekil 7.21: Stresli kumlama işlemi uygulanmış numunenin kırılma yüzeyi.	84
Şekil 7.22: Herhangi bir kumlama işlemi uygulanmamış numunenin kırılma yüzeyi.	84

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: Tipik makas çeliğinin mekanik özellikleri [23].	43
Tablo 4.2: 55Cr3 ıslah çeliğinin kimyasal analiz değerleri [33].	44
Tablo 4.3: 55Cr3 ıslah çeliğinin sertleşebilirlik (jominy deneyi) değerleri [33].	44
Tablo 4.4: 55Cr3 ıslah çeliğinin dekarbürizasyon derinliği değerleri [33].	44
Tablo 4.5: 51CrV4 ıslah çeliğinin kimyasal analiz değerleri [33].	45
Tablo 4.6: 51CrV4 ıslah çeliğinin sertleşebilirlik (jominy deneyi) değerleri [33].	45
Tablo 4.7: 51CrV4 ıslah çeliğinin dekarbürizasyon derinliği değerleri [33].	45
Tablo 6.1: Kumlama işleminde kullanılan partikül çeşitleri [40].	63
Tablo 7.1: 55Cr3 ıslah çeliğinin kimyasal kompozisyonu [33].	69
Tablo 7.2: Numunelerin brinell sertlik değerleri.	72
Tablo 7.3: Yaprak yayın ön taraf strengaç ölçüm sonuçları.	74
Tablo 7.4: Yaprak yayın arka taraf strengaç ölçüm sonuçları.	74
Tablo 7.5: Kumlama ve kumlama makinası bilgileri.	75
Tablo 7.6: Seçilen parabolik yaprak yayın ürün bilgileri.	80
Tablo 7.7: Test bilgileri.	82
Tablo 7.8: Yorulma ömür testi sonucunda elde edilen ömür değerleri.	83

SEMBOL LİSTESİ

c	: Emniyet katsayısı
F	: Yaprak yaya etkiyen en büyük yük (N)
L	: Yaprak yayın eksen uzunluğu (mm)
n	: Yaprak yay katsayısı
N_i	: Yorulma çatlağı başlama ömrü
N_p	: Yorulma çatlağı yayılma ömrü
N_t	: Toplam yorulma ömrü
R	: Gerilme oranı
t	: Yaprak yayın göbek (merkez) kalınlığı (mm)
w	: Yaprak yayın genişliği (mm)
σ_a	: Gerilme aralığı
σ_{akma}	: Akma gerilmesi (MPa)
σ_{emn}	: Emniyet gerilmesi (MPa)
σ_m	: Gerilme genliği
σ_{max}	: Yaprak yayda meydana gelen maksimum eğilme gerilmesi (MPa)
σ_{ort}	: Ortalama gerilme (MPa)

ÖNSÖZ

Çalışmalarında bana engin tecrübelerini aktarıp yol gösteren tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Sare ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca numune üretimi ve testlerinde bana imkan sağlayıp yardımcı olan Sn. Evren DÖŞEMEN, Sn. Tahsin DÖŞEMEN ve Döşemenler Otomotiv A.Ş.'deki bütün çalışma arkadaşlarıma yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

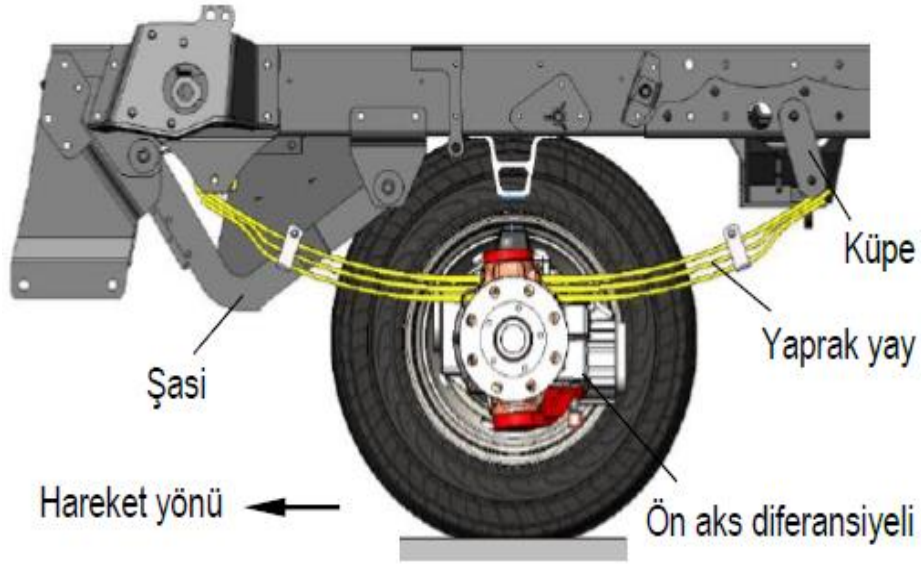
Tez çalışmalarım ve tüm hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen başta annem Hamiyet KARAKAŞ ve babam İbrahim KARAKAŞ'a, tüm aileme, akrabalarım, arkadaşlarıma ve sevgili nişanlım Gamze ER'e bana her zaman inandıkları ve güvendikleri için sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum.

Balıkesir, 2020

Halim KARAKAŞ

1. GİRİŞ

Süspansiyon sistemleri tekerlekler ile araç gövdesi arasında bir bağlantı elemanı olarak kabul edilen, aracın sürüş konforunu ve dengesini sağlayan çok önemli bir bileşendir [1]. Lastik ilerledikçe, süspansiyon sistemi değişen yol koşullarını sürekli olarak dengeleyen ve ayarlayan dinamik bir denge durumundadır. Süspansiyon sisteminin bileşenleri, araç sürüş yüksekliğinin korunması, şok kuvvetlerinin etkisinin azaltılması, araç ağırlığının desteklenmesi ve sürüş torkunun taşınması gibi temel işlevleri yerine getirir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Yaprak yayın araç altında ki konumu.

Halk arasında makas olarak da bilinen yaprak yaylar süspansiyon sisteminin ana elastik bileşeni olmasının yanı sıra, bu eleman aksın hem uzunlamasına hem de yanal yönlendirmesini de üstlenir [2]. Bu çözüm, süspansiyon sisteminin bileşen sayısını sadeleştirir. Ancak uygun bir işleyiş için yaprak yayın dikkatlice tasarlanması ve üretilmesi gerekir. Yaprak yaylar, temel olarak yol girdileriyle ilgili enerjiyi emmek ve geri salmak için arka süspansiyon sistemlerinde kullanılır. Yaprak yayların ayrıca yük altında istenen araç sürüş yüksekliğini sağlama görevi de vardır. Şekil 1.2’de yaprak yay görünümü için bir örnek görsel verilmiştir.



Şekil 1.2: Yaprak yay görseli.

Yapraklar birbiri üzerine yerleştirilir ve merkezde bir cıvata ile uçlara doğru konumlandırılmış kelepçeler vasıtasıyla bir arada tutulur [3]. Yayın tüm uzunluğu boyunca uzanan yani o yaprak yayın en uzun olan yaprağı “ana kat” olarak adlandırılır. Ana katın uçları, göz adı verilen kıvrımlardan oluşur. Her metalik yaprağın, ortasında (merkezinde) yaprakların bir arada tutulması için merkez cıvatanın geçtiği bir delik vardır. Yaprak yay kelepçeleri, kısa katların uçlarını ana kat ile bir arada tutmak için kullanılır. Yaprak yay aracın altında esnediğinde yani yük altında eğildiğinde yapraklar birbirine sürtünür. Yaprak yay yay esnemesinden dolayı oluşan bu sürtünme, sürtünme direncine neden olur. Yağlama olmadığından dolayı katlar arası sürtünme yüksek ise, yaprak yay önemli ölçüde sertleşir ve aşınır. Bazen yaprak yayların katları arasındaki sürtünmeleri azaltmak için kat aralarına gres yağı sürülmüş kauçuk veya bronz takozlar eklenir.

Yaprak yaylar, en eski süspansiyon yaylandırma tiplerinden biridir. Yaprak yaylar genelde hafif ve ağır ticari araçların hotchkiss arka süspansiyon uygulamalarında, iş makinelerinde, römorklarda, otobüslerde ve demir yolu taşımacılığında kullanılmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Tezin amacı, yaprak yayların yapısal özelliklerini, çeşitlerini, üretimini, yorulma ömrünü ve bu yorulma ömrünü etkileyen kumlama işlemini detaylı bir şekilde ele alıp, üretilen hafif ticari parabolik yaprak yay numunelerinin laboratuvar şartlarında yorulma ömür testlerini gerçekleştirilerek kumlama ve stresli kumlama işlemlerinin yaprak yayların yorulma ömrü üzerindeki etkilerinin incelenmesidir.

1.2 Literatür Araştırması

Scuracchio ve arkadaşları; otomotiv yaprak yayları için serbest halde ki kumlama işleminin yorulma ömrü üzerindeki etkisi X-ışını kırınımı yöntemiyle, bir dizi bilyalı dövme işlemine

tabi tutulan on farklı numune üzerinde gerçekleştirmişlerdir [4].Yapılan işlemlerde 0,8 mm ve sonrasında 0,3 mm çapında çelik dökme bilya kullanılmış ve bunların yorulma ömrü üzerinde optimum performans sağladığı görülmüştür. Bu çalışmada kumlama işlemi sonucu oluşan gerilmelerin numunenin yorulma ömrü üzerinde etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Aggarwal; malzemelerin yüzey kaplamalarındaki yorulma mukavemetini kumlama yoluyla iyileştirmek için kumlama parametrelerin modellemesini yapmıştır [5]. Bu çalışmada, gerilme alanının, kumlama yoğunluğuna ve EN45A yay çeliği yaprak yaylarının ağırlığına göre değiştiği tespit edilmiştir. Otomotiv taşıtlarında kullanılan yaprak yayların ağırlığının azaltılması amacıyla yapılan bir model çalışmadır. Değişken kumlama koşullarında belirli bir stres altında yaprak yayların ağırlık azalmasını öngören deneysel bir modeldir.

Yapılan diğer bir çalışmada ise Mattson ve Coleman; kumlama değişkenlerinin etkisi ve sonuçta ortaya çıkan artık gerilmelerin yorulma ömrü üzerindeki etkisi üzerine bir araştırma yapmıştır [6]. Bu çalışmada yaprak yaylar ısıl işlem ve soğuk işlem görmüştür. Elde edilen sonuçların bazıları şöyledir: En iyi yorulma ömrünü elde etmek için, her bir atış büyüklüğü için minimum kumlama hızı vardır ve bu değer normalde kullanılanı çok daha düşüktür. Bu tip kumlamaya maruz kalan örnekler için, asgari değerden fazla maruz kalma süresi israf edici ve maliyetlidir. Atış büyüklüğünün bu örneklerin yorulma ömrü üzerinde çok az etkiye sahip gibi gözükse de yüzeyde kalan artık bası gerilmesi ile bu numunelerin yorulma ömrü arasında doğrudan bir ilişki bulunmuştur.

Atig ve arkadaşları; kumlama işleminde ki belirsizlikler göz önünde bulundurularak artık gerilmelerin ve Almen yoğunluğunun dağılımını öngörmeye dayanan bir metodoloji çalışması yapmışlardır [7]. Bu çalışmada yüksek yorulma ömrü ve düşük maliyetli bir otomotiv süspansiyon sistemi bileşenlerinin sağlanması için mekanik yüzey işlemi kullanılarak sık sık yüzeye yakın baskı gerilmeleri meydana geldiğinden dolayı kumlama tekniği kullanılmıştır. Kumlama işlemi yüksek bir verim ve göreceli olarak düşük bir maliyet sunar. Bununla birlikte bu tür bir sürecin uygulanması genellikle birçok değişkenden etkilenir. Deneysel artık gerilme ölçümleri, bir bileşenden diğerine ve hatta aynı bileşen üzerindeki farklı konumlarda bile önemli bir değişiklik gösterdiği görülmüştür. Bu çalışmada [7], indüklenen stres profilinin ve Almen yoğunluğunun, en önemli kumlama işlemi parametreleri ile ilgili değişkenliğini değerlendirmek için olasılıklı bir metodoloji uygulanmıştır.

Borkovic ve arkadaşları; sonlu elamanlar yöntemi tabanlı yazılımı kullanarak iki katlı yaprak yayının yorulma-ömür davranışlarının ve ömrünün değerlendirilmesini yapmışlardır [8]. Sonlu elamanlar yöntemi, bileşen tasarımı için ve ayrıca yorgunluk değerlendirmesi için en sık kullanılan yöntemlerden biri olduğu vurgulanmıştır. Bu değerlendirmede, malzeme bileşeninin gerilmelerini, yüklerini ve güç davranışını içermesi öngörülmüştür. İncelenen yay çeliğinin (51CrV4) statik ve dinamik (S/N eğrileri) özelliklerini elde etmek amacıyla, çentikli numuneler üzerinde ve sıkıştırma gerilimi altında ki çentiksiz örnekler üzerinde çekme ve yorulma testleri yapılmıştır. İki grup örnek hazırlanmış ve her ikisine de iki farklı ısıl işlem uygulanmıştır. Yapılan araştırmanın sonuçları, iki ayrı ayrılma oryantasyonu ve iki farklı tavlama sıcaklığı olan numunelerin yorulma dayanımları arasında açık bir fark göstermiştir.

Tokgönül ve arkadaşları; ağır tonajlı kamyonlar için tek katlı parabolik yaprak yayların üretilmesi ve fiziksel ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir [9]. Bu çalışmada üretilen örneklerin gerinim ölçüm işlemleri ve sonrasında da yorulma testleri başarıyla uygulanmıştır. Yapılan bu çalışma ile yay ağırlığının azaltılması sonucunda maliyette azalma ile birlikte yakıt tüketimi ve CO₂ salınımının azalması gibi olumlu çıktılar elde edilmiştir.

Başka bir çalışmada [10], ağır ticari araçlarda kullanılan parabolik yaprak yayların yorulma davranışına etki eden etkenlerin belirlenmesi ve yeni parabolik yay tasarımlarının yapılması hedeflenmiştir. Sonlu elemanlar metodunu kullanarak yorulma davranışını açığa çıkarmada başarılı bir metot olduğu görülmüştür.

Ç1020 çeliği için bilyalı dövme değişkenlerinin yorulma davranışına etkisi ve oluşan gerilmenin katman kaldırma yöntemi ile incelenmesi yapılmıştır [11]. Bu çalışmada bilyalı dövme ile elde edilen çeşitli Almen şiddetleri ile yorulma ömrü ve kalıcı gerilmeler arasındaki bağlantılar incelenmiştir.

Polat; sonlu elemanlar yöntemi ile yaprak yayların yorulma analizini yapmıştır [12]. 55Cr3 malzemeden üretilen, tarım sektöründe kullanılan kazayaklarının ve yaprak yayların laboratuvarında yorulma deneysel çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve yorulma ömürleri yeni yapılacak tasarımlar için yol gösterici olmuştur.

Satıcı; yaprak yay sistemleri için kumlama işlemi ve ona tesir eden faktörler üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir [13]. Kumlama işleminde kullanılan makineler incelenerek kumlamaya etki eden faktörler ortaya çıkarılmıştır.

Esen; cam elyaf katkılı kompozit yaprak yaylar da yorulma üzerine yapılan çalışmaları sonlu elemanlar metodu ile yapmıştır [14]. Bu çalışmada iki farklı yaprak yayın üretimi gerçekleştirilmiştir. 55Cr3 yay çeliği ve kompozit malzeme kullanılarak yük-deplasman, gerilme ve ömürleri incelenmiştir.

Tek katlı yaprak yaylar için yorulma analizi yine sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır [15]. Bu çalışmada yine yay tasarımına ve yorulma ömrüne etki eden etkenler çalışılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçlar yorumlanıp analiz edilmiştir.

Başaran ve arkadaşları; bakır katkılı toz metal çelik kısımlara, yüksek sıcaklık ve kumlama işlemi uygulanarak yorulma ömrüne olan etkisi üzerine çalışmışlardır [16]. Kumlama işlemi altında elde edilen numune 560 °C sıcaklıkta 30 dakika bekletilmiş yorulma deneyleri yapılmış ve her bir numune için S-N eğrileri çizilmiş sonuçlar mukayese edilmiştir. Bakır katkılı toz metal çelik kısımlardaki kırık yüzeyler analiz edilmiş ve yorulma deneylerinden elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Bu zamana kadar yapılan çalışmalar da genellikle yaprak yayın tasarımıyla ilgili boyutsal parametreler değiştirilerek yorulma ömürleri incelenmiştir. Bu çalışmada ise yaprak yayın tasarımı değiştirilmeden, yaprak yayın çeki yüzeyinde yorulma ömrünü iyileştirici yönde artık bası gerilmeleri oluşturan, kumlama ve stresli kumlama işlemlerinin etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

2. YAPRAK YAYLARIN YAPISI VE YAPRAK YAY TERMİNOLOJİSİ

2.1 Yaprak Yayların Yapısı

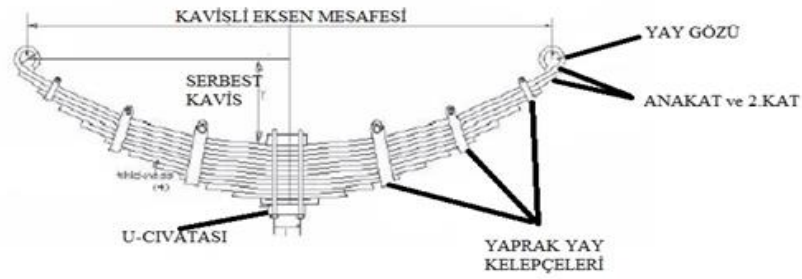
Yaprak yay düzeneği oluşturulurken, yapraklar birbiri üzerine en uzun kattan en kısa kata doğru olacak şekilde yerleştirilir ve merkezde bir merkez civata ile uçlara doğru konumlandırılmış kelepçeler vasıtasıyla bir arada tutulur [3]. Yayın tüm uzunluğu boyunca uzanan yani o yaprak yayın en uzun katı olan yaprağı “ana kat” olarak adlandırılır. Ana katın uçları, göz adı verilen kıvrımlardan oluşur. Yaprak yayların gözleri her makasın kendine özel olan burcunun çapına göre kıvrılır. Her metalik yaprağın ortasında (merkezinde) yaprakların bir arada tutulmasını sağlayan merkez civatanın geçtiği bir delik vardır. Yaprak yay kelepçeleri, kısa katların uçlarını ana kat ile bir arada tutabilmek için kullanılır. Yaprak yay işlem sırasında esnediğinde yani yük altında eğildiğinde yapraklar birbirine sürtünür. Yaprak yayın esnemesinden dolayı oluşan bu sürtünme, sürtünme direncine neden olur. Yağlama olmadığından dolayı katlar arası sürtünme yüksek ise, yaprak yay önemli ölçüde sertleşir ve aşınır. Katlar arasında oluşan bu sürtünmeyi azaltmak için, genellikle yaprakların uçları üçgen şekilde kesilir. Ayrıca yaprak yayların katları arasındaki sürtünmeleri azaltmak için kat aralarına gres yağı sürülmüş lastik veya bronz takozlar yerleştirilir.

Araçlarda yaygın olarak kullanılan yaprak yay, yarı eliptik montajı olan bir yaprak yaydır [17]. Yapraklara genellikle bir göbek düzlüğü ve başlangıç eğriliği verilir, böylece yaprak yay katları yük altında düzleşme eğiliminde olurlar. Yapraklar, merkezde etraflarında sarılan bir bant vasıtasıyla ya da merkezden geçen bir civata-somun bağlantı elemanı ile bir arada tutulur. Yük, sertleştirici ve kuvvet verici bir etki yarattığında, eğilme için yayın efektif uzunluğu; yaprak yayın toplam uzunluğu eksi lama genişliği olacaktır. Merkezi civata durumunda, efektif uzunluğu bulmak için yaprak yayın boydan boya (tam) uzunluğundan u-civatasının merkezleri arasındaki uzaklığın 3'te 2'si çıkarılmalıdır. Yaprak yay, aks yuvalarına (mahfaza) u-civatalarıyla tutturulur.

Ana yaprak veya ana kat olarak bilinen en uzun yaprağın uçları, yaprak yayı desteklerine sabitleyebilmek için civataların geçtiği bir göz şeklinde kıvrılmıştır. Genellikle yaprak yayın askıya veya bağlantı küpesine tutturulmuş olan gözleri, bronz ya da kauçuk gibi bazı sürtünme önleyici ve titreşim sönümleyici malzemelerden yapılmış burçlarla donatılmıştır. Yaprak yayın diğer katları ise derecelendirilmiş (2. ,3. ,4. , ...) katlar olarak bilinir [17].

Bitişik katlarda aşınmayı önlemek için, derecelendirilmiş katların uçları çeşitli biçimlerde kesilir. Ana katın, dönüş sırasında aracın eğilmesi nedeniyle ortaya çıkan yüklerin yanı sıra dikey bükülme yüklerine de dayanması gerekir. Yüklerin neden olduğu gerilmelerin varlığından dolayı, iki tam uzunlukta yaprak ve bunlara destek olan derecelendirilmiş katlarla önlem almak klasikleşmiştir.

Kelepçeler yay uzunluğu boyunca ara pozisyonlara yerleştirilerek ana kat ile diğer katları bir arada tutar, böylece derecelendirilmiş katlar yaprak yaya yük etkidiği zaman ana katın taşıdığı gerilmeyi paylaşır. Genel yaprak yay yapısı Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Genel yaprak yay yapısı [18].

2.2 Yaprak Yay Terimleri

Aşağıdakiler, yanlış anlaşılmalari önlemek için yaprak yaylarla ilgili konularda kullanılması önerilen birkaç standart yaprak yay terimidir. Bu terimlerin çoğu yarı eliptik yaylar için geçerlidir.

2.2.1 Referans Eksen Çizgisi

Burada tanımlanan ölçülerin çoğu referans eksen çizgisi ile ilgilidir. Referans eksen çizgisi, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi gözlerin merkezinden geçen bir çizgidir.



Şekil 2.2: Standart yaprak yay düzeni [19].

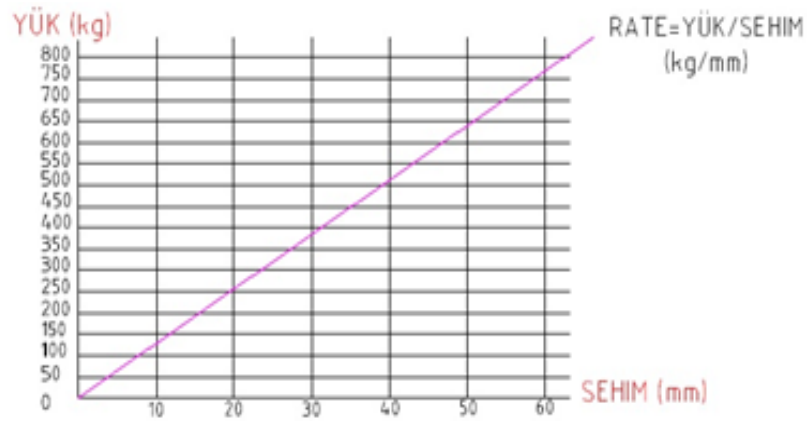
2.2.2 Toplam Yükseklik

Dingil üstüne asılmış yaprak yaylarda, merkez civatanın içine girdiği oturma yuvası ile en kısa katın (yaprağın) temas ettiği noktanın, referans eksen çizgisi ile arasındaki düşey mesafesidir (Şekil 2.2).

2.2.3 Nominal Yaprak Yay Oranı (Rate, Yay Rijitliği)

Bir yaprak yayı anlatan o yaprak yay hakkında karakteristik bilgiler veren değerdir. Yaprak yaya uygulanan kuvvetin (yükün), yaprak yay üzerinde meydana getirdiği sehime oranına nominal yaprak yay oranı (rate, yay rijitliği) denir. Rate ne kadar düşük olursa makas da bir o kadar yumuşak olur. Birimi (N/mm)' dir.

Yay rijitliği (rate, nominal yaprak yay oranı) Şekil 2.3'de verilen grafikte anlatılmıştır.



Şekil 2.3: Nominal yaprak yay oranı (rate, yay rijitliği) [20].

2.2.4 Serbest Kavis

Yay yüksüz durumdayken yani yaprak yay üzerine hiçbir kuvvet etkimez iken ana katın yay yüksekliği serbest kavis olarak adlandırılır. Serbest kavis ölçülürken gözlerin merkezlerinden bir eksen çizgisi gibi ince bir ip çekilir, bu eksen çizgisinden ana kat düzlüğünün en üstüne olan mesafe serbest kavis ölçüsüdür. Serbest kavis, Şekil 2.1'de açık bir şekilde gösterilmiştir.

2.2.5 Normal Yük

Yaprak yay tarafından, belirlenen bir açıklıkta veya toplam yükseklikte taşınması gereken statik ağırlığa normal yük denir.

2.2.6 Yaprak (Kat) Numaraları

Yapraklar (katlar), 1 numaralı ana kattan başlayarak sayılarla belirtilir. Ana kata bitişik olan yaprak 2. kattır, vb. Eğer muavin (yardımcı) veya geri tepme yaprakları (katları) kullanılıyorsa, ana kata en yakın muavin kattan başlamak üzere muavin kat-1, muavin kat-2, vb. şeklinde numara verilir.

2.2.7 Paket Kalınlığı

Yaprak yayın tüm katlarının göbek düzlüğündeki kalınlıkları toplamına paket kalınlığı adı verilir.

2.2.8 Kelepçeli (Aktif Olmayan) Uzunluk

Yay yuvasının karşısındaki tarafta bulunan u-cıvatası tarafından etkisiz hale getirilen yaprak yayın uzunluğu, kelepçeli uzunluk olarak adlandırılır. Bu uzunluk genellikle, u-cıvatalarının iç kısımları arasındaki mesafeye eşit olarak kabul edilir.

2.2.9 Göbek Düzlüğü

Genellikle parabolik yaprak yaylarda, yaprakların merkezinin sağ ve sol tarafında kalan düzlüklerin toplamıdır ve genellikle sağ ve sol düzlükler birbirine eşit olur.

2.2.10 Düz Uzunluk (Düz Haldeki Eksen Mesafesi)

Ana kat düz olduğunda ana katın göz merkezleri arasındaki uzaklıktır. Yani yaprak yayın gözleri kıvrıldıktan sonra yaprak yaya henüz kavis verilmeden önce iki göz merkezi arasındaki yatay mesafedir.

2.2.11 Yüklü Uzunluk (Kavisli Haldeki Eksen Mesafesi)

Yaprak yay, belirtilen kavis pozisyonuna getirildiğinde ana katın göz merkezleri arasındaki yatay mesafeye yüklü uzunluk denir.

2.2.12 Yaprak Adımı

Bir yaprağın basınç merkezinden (ana katın ucundan) bir sonraki daha kısa katın ucuna olan mesafesine yaprak adımı adı verilir.

2.2.13 Oturma Uzunluğu (Düzlük)

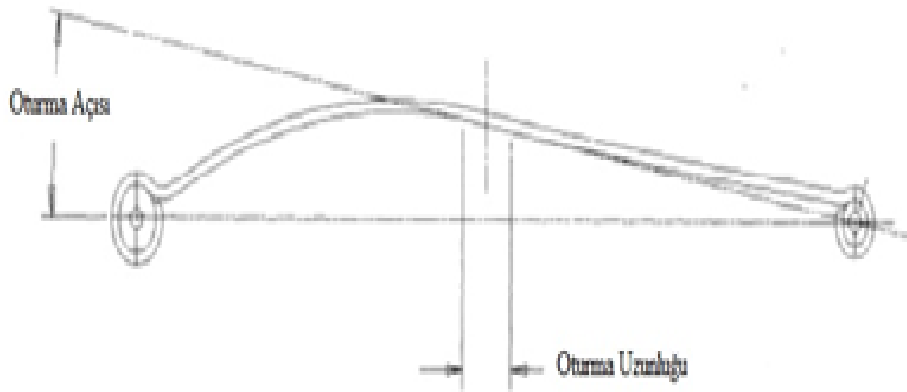
Dizayn yüksekliğine sahip bir yaprak yay, araca monte edildiğinde yay yuvasına fiziksel olarak oturan o kısmın yay uzunluğu, oturma uzunluğu olarak adlandırılır. Oturma uzunluğu her zaman kelepçeli (aktif olmayan) uzunluktan daha büyüktür (Şekil 2.4).

2.2.14 Oturma Açısı

Oturma açısı, yay yuvasına oturan ana katın gerilme yüzeyi boyunca alınan teğetin her iki gözdeki aktif yay uzunluğunun uç noktalarından çizilen bir çizgi ile arasındaki açıdır (Şekil 2.4).

2.2.15 Oturma Açısı Çizgisi

Yay yuvasına oturan ana katın göbek düzlüğündeki gerilme yüzeyi boyunca alınan teğettir.



Şekil 2.4: Yaprak yay düzeninde oturma açısı ve oturma uzunluğu [19].

2.3 Yaprak Yay Montajı İçin Gerekli Elemanlar

2.3.1 Yaprak Yay Burçları

Burçlar, yaprak yayın kıvrılan iki gözünede çakma yöntemiyle yerleştirilir. Burçlar, yaprak yayı araca bağlayarak demirin demire sürtmesini engelleyen yataklama elemanlarıdır. Aracın sürüş kalitesine büyük bir etkisi olan burçlar, yüksek çekme gerilmesine ve sönümlenme özelliğine sahip doğal kauçuk malzemelerden yapılırlar [21]. Doğal kauçuk malzemeden yapılan burçlar yağlama gerektirmez, çok sessiz çalışırlar ve yolun düzgünlüklerinden kaynaklanan titreşimleri yalıtarak kendi içlerinde yok ederler. Bronz, pirinç, çelik ve çelikle kaplanmış kauçuk malzemelerden yapılmış burçlarda yaprak yaylarda kullanılır [22].

Çoğunlukla daha büyük çaplı burçlar arkadan ziyade ön tarafta kullanılır çünkü:

- Ön taraftaki göze daha fazla yük biner.
- Öndeki göz, sürüş sırasında yaprak yaya gelen yüklerden dolayı oluşan sertliğe daha fazla katkıda bulunur.

Yaprak yaylarda kullanılan burçlarında çeşitleri vardır. Vidalı burçlar, sarı (bronz) burçlar, kauçuk lastik burçlar, demir burçlar, yarıklı demir burçlar, kendinden yağlı burçlar gibi birçok çeşiti vardır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Burç örnekleri [20].

2.3.2 Lastik Takozlar

Lastik takozlar çok katlı yaprak yaylarda yapraklar arasına konularak katların birbirine temas etmesi engellenmeye çalışılır. Lastik takozlar sayesinde yaprakların birbirine sürterek aşınması büyük ölçüde engellenir. Lastik takozların malzemesi genellikle kauçuk, çelik kaplamalı kauçuk ve sert plastiktir. Yaprak yayların çeşitlerine göre lastik takozlarında birçok çeşiti vardır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Lastik takoz örnekleri [20].

2.3.3 Bağlantı Kúpeleri (Yaprak Yay Kúpeleri)

Yaprak yayların araç altına bağlanmasını sağlayan en önemli elemanlardan biri de bağlantı kúpeleridir [23]. Genel olarak yaprak yayların araç altına montajı, arka göz için bağlantı kúpesi ve ön göz için sabit burçla sağlanır. C-tipi kúpe, y-tipi kúpe, perçinli kúpe, pahlı pimli kúpe ve çift cıvatalı kúpe gibi yaprak yay kúpe çeşitleri vardır.

Yaprak yayın üzerindeki yük, bağlantı kúpesi üzerinde gerilme kuvveti oluşturur. Şekil 2.7’de bağlantı kúpesi örneği verilmiştir.



Şekil 2.7: Bağlantı kúpesi örneği [19].

2.3.4 Merkez Cıvatası

Merkez cıvatasının en önemli ve başlıca görevi yaprak yayın tüm katlarını merkezden birbirine bağlayarak bir arada tutmaktır [23]. Merkez cıvatasının kafası, makası araca monte ederken adeta bir konumlandırma pimi gibi görev yaparak yuvaya oturur. Merkez cıvatasının

yönü yaprak yayın araca bağlantı şekline göre değişir. Şöyle ki, yaprak yay dingil altına asılı ise merkez cıvatasının yönü terstir yani merkez cıvatasının kafası ana kata temas eder. Eğer yaprak yay dingil üstünde asılı ise merkez cıvatasının yönü düzdür yani merkez cıvatasının kafası en alttaki kata temas eder. Merkez cıvatası genellikle yüksek gerilmelere maruz kalır. Bu yüzden merkez cıvatalarının ve somunlarının üretildiği malzemelerin mekanik özellikleri yüksek değerlerde olmalıdır.

Yaprak yayın her katı, yaprak yayın merkez cıvatasının çap ölçüsüne göre delinir. Merkez cıvatasının ölçüleri her yaprak yaya göre değişiklik gösterir. Yaprak yayların montajında bazen merkez cıvatası yerine merkez pimi de kullanılır. Yaprak yayların genişlik ve kalınlıklarına göre merkez cıvatası seçilir. Yaprak yaylarda en çok kullanılan merkez cıvata ölçüleri metrik sisteme göre M6, M8, M10, M12, M14, M16 ve M18 ölçüleridir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Merkez cıvatası görseli [20].

2.3.5 Yaprak Yay U-Cıvatası

Yaprak yay aracın altına bağlanırken yaprak yay u-cıvatası, yay ile yay yuvası arasında kalıcı bir bağ sağlayarak makası dingile sabitler [23]. U-cıvatasının başlıca görevi, yatay kuvvetlere karşı yaprak yay katlarının ve merkez cıvatasının kırılmasını önlemektir (Şekil 2.9).

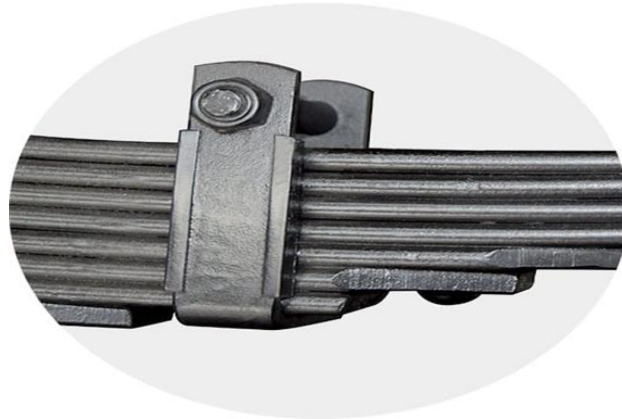


Şekil 2.9: Yaprak yay u-cıvatası görseli [20].

2.3.6 Yaprak Yay Kelepçeleri

Kelepçeler, yaprak yayın katlarını bir arada tutmak için kullanılan elemanlardır. Genellikle 12 kat (yaprak) için 4 kelepçe, 7 katlı (yaprak) bir yaprak yay için ise 2 kelepçe kullanılır. Kelepçeler merkezden eşit uzaklıkta konumlandırılmıştır. Yaprak yayların katlarını birarada sıkıca tutmak için farklı boyutlarda cıvata ve somunlar kullanılır. Kelepçe hangi katta kullanılacak ise o katın uç tarafına kullanılacak kelepçe perçininin ölçüsüne göre delik açılır. Kelepçeler, yaprak yayların katlarına perçinler vasıtasıyla tutturulur. Kelepçelerin genelde (genişlik x kalınlık) ölçüleri, (25 x 5) veya (35 x 8) mm olur. Bu kelepçe ölçüleri, yaprak yayın ölçülerine göre seçilir (Şekil 2.10).

Kelepçelerin de çeşitleri vardır. Bu kelepçe çeşitleri; perçinli kelepçe, cıvatalı kelepçe, tek parça kutu tipi kelepçe, iki parça kutu tipi kelepçe, ters kelepçe ve asma tipi kelepçedir [23].

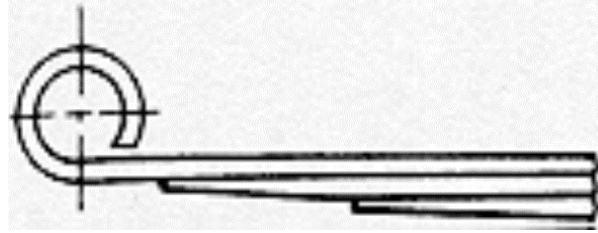


Şekil 2.10: Yaprak yay kelepçe örneği [24].

2.4 Yaprak Yay Göz Çeşitleri

2.4.1 Normal Düz Göz

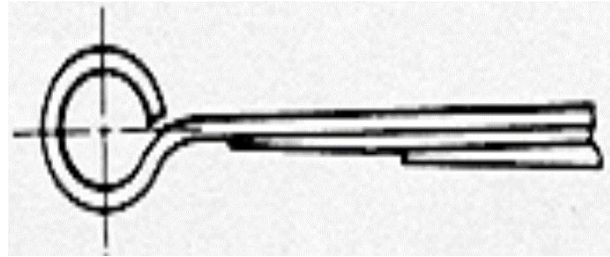
En çok ve en yaygın olarak kullanılan makas göz çeşididir [25]. Gerekli durumlarda ikinci kat göze destek vermek için uzatılabilir veya sarmal bir şekilde gözü sarabilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: Normal düz göz çeşidi.

2.4.2 Baskı Kafa Göz

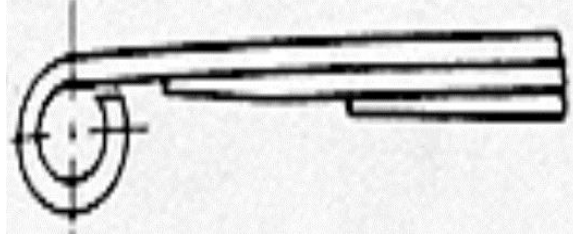
Bu makas göz çeşiti önerilen bir göz çeşididir [25]. Boyuna gelen yükler ana katın göz merkezinden geçer. Baskı kafa gözlerde, göz merkezi ile ana katın merkez eksenine eşit hizada olduğu için yaprak yaya etkiyen boyuna kuvvetlerin gözü açmaya yönelik hareketlerinin etkisi azaltılmış olur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Baskı kafa göz.

2.4.3 Ters Kafa Normal Göz

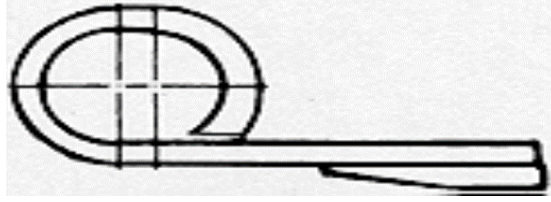
Bu tür makas gözleri, direksiyon ve aks kontrolünün daha iyi ve hassas olması istenen durumlarda kullanılır [25]. Ancak bu tür makas gözleri bazen kullanılır. Çünkü göze ikinci kat tarafından destek verilmesi veya sarmal bir yapı gerekiyorsa, bu tür bir göz yaprak yaylarda tavsiye edilmez (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: Ters kafa normal göz.

2.4.4 Oval Göz

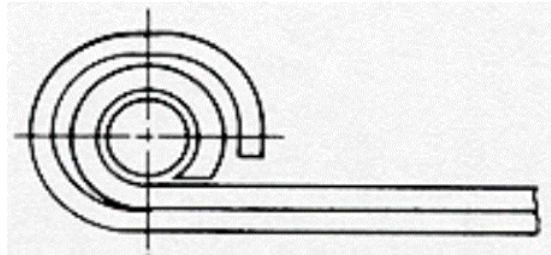
Bu tip gözler, iki farklı eksen yönünde farklı sertlik ve sönümleme oranlarına sahip kauçuk burçların kullanımına olanak sağlar [25]. Bu tür gözler, süspansiyon uygulamalarında yatay kuvvet girişlerinin büyüklüğünü azaltmak için özel olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: Oval göz.

2.4.5 Tam Sarmallı Normal Düz Göz

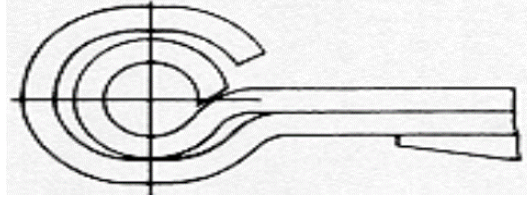
İkinci kat sarmal kısmı, geri tepme sırasında harekete geçerek ana kata yardımcı olur [25]. Bu ikinci kat sarmal katı, tasarım yükleri sırasında değil aşırı yükler yaprak yaya etkiğinde devreye girer. Ana katın kırılma durumlarında acil destek sağlayarak adeta emniyet saçı görevini üstlenir. Bu tür göz ve sarmalları özellikle askeri araçlarda ve iş makinelerinde görebiliriz. Ayrıca tam sarmal yerine çeyrek sarmal kullanılan yaprak yaylarda vardır. Bu tür çeyrek sarmallı yapılar ise genellikle hafif ticari araçlarda kullanılır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: Tam sarmallı normal düz göz.

2.4.6 Tam Sarmallı Baskı Kafa Göz

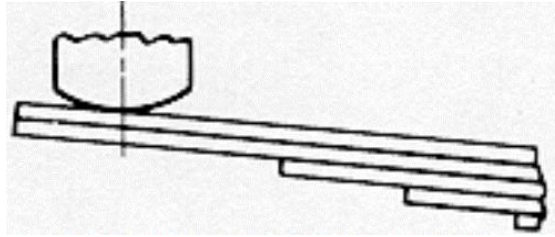
Hem baskı kafa gözün hem de tam sarmal yapının çifte avantajlarını sağlar [25]. En avantajlı göz tiplerinden birisidir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16: Tam sarmallı baskı kafa göz.

2.4.7 Düz Uçlar (Göz Kıvrımı Olmayan Yapılar)

Çok fazla tercih edilmeyen bir yapı olmakla beraber kullanım alanı genellikle muavin kat gerektiren yaprak yayların muavin grubu ve römorklardır (Şekil 2.17) [25].



Şekil 2.17: Düz uçlar.

2.5 Yaprak Uç Şekilleri

Yaprak yayların ara katlarının uç şekilleri yaprak yayların çeşitine, katların kalınlığına ve genişliğine göre farklılık gösterir. Tüm yaprak yay uç şekillerinin ortak amaçları, katlar arası kuvvet iletimini sağlamak ve esnek bir yapı oluşturarak homojen bir gerilme dağılımı elde etmektir. 4 çeşit yaprak yay uç şekli vardır.

2.5.1 İncelen Uç (Süzme Uç)

Bu uç, ideal bir homojen gerilme dağılımını çok iyi bir şekilde oluşturulabilir [23]. Süzme işleminin bir parçası olarak kırpm (uç kesme) veya sıkıştırma işlemleri ile yaprağın uç konturları kontrol edilir. Yaprak ucunun esnekliğinden dolayı, taşıma bölgesindeki basınç dağılımını iyileştirilir ve yapraklar arası sürtünme genellikle azaltılır. Bu nedenle incelen uçlar tavsiye edilir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18: Süzme (incelen) uç.

2.5.2 Üçgen Kesim (Mızrak Uç)

Kare uç türündeki makas uç kısımlarından üçgen uç kesme kalıpları vasıtasıyla fazla malzemeler kesilerek atılır ve geriye kalan parça ise üçgen kesimli mızrak uç olur [23]. Ayrıca bu üçgen kesim sayesinde kare uca göre daha homojen bir stres (gerilme) dağılımı sağlanmış olur. Genellikle ağır ticari kamyon uygulamalarında ağırlık azaltımı için kullanılır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19: Üçgen kesim bıçakları ile kesilmiş mızrak uç.

2.5.3 Kare Uç (Düz, Küt Uç)

Bu, en ucuz ve üretilmesi en kolay uç türüdür fakat çoğu zaman yetersizdir [23]. Ara yaprak basıncının yoğunlaşmasına neden olur. Ayrıca diğer uçlara göre daha fazla sürtünme ve parça kaldırmaya neden olur. Aynı zamanda daha ağırdır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20: Kare, düz uç.

2.5.4 Parabolik ve Açılı Kesilmiş Uç

Bu uç şekli süzme uç çeşidine benzer, dış görünüm konturu parabolik çekme işleminden sonra kesilerek kontrol edilir ve böylece elde edilebilecek maksimum temas alanı elde etme avantajına sahip olunur [23]. Bu kesim türüne 2°'lik açılı yan kesim de denir (Şekil 2.21).



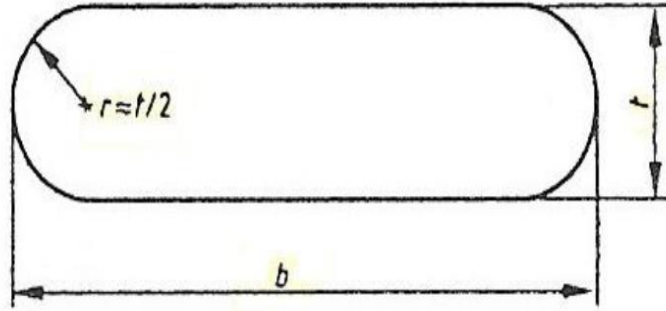
Şekil 2.21: Parabolik ve açılı kesilmiş uç.

2.6 Yaprak Yay Kesit Çeşitleri

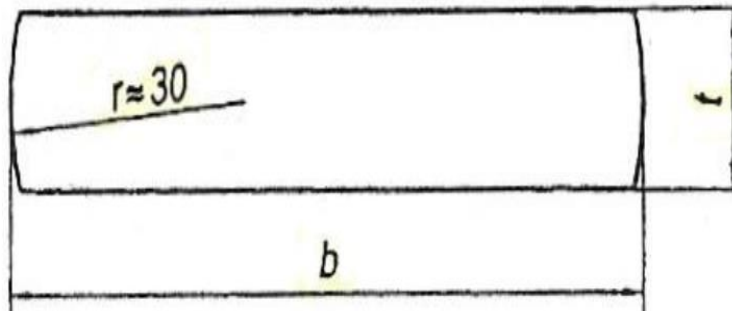
Yaprak yaylar için kullanılacak lamaların malzeme kesit türleri EN 10092-1 standardına göre seçilir [26]. Bu standarta göre yaprak yaylarda kullanılan üç çeşit kesit vardır: EN 10092-1A, EN 10092-1B, EN 10092-1C. Bu kesit çeşitleri Şekil 2.22, Şekil 2.23 ve Şekil 2.24'de gösterilmiştir.

Yaprak yay lamaları, iki düz ve iki yuvarlatılmış dış bükey yüzeye sahip çelik sütünlardır [27]. Bu dış bükey yuvarlatılmış uçların yarıçapı, lama kalınlığının %65-90'ı arasında değişiklik gösteren eğrilik yarıçapına sahip bir makas olmalıdır.

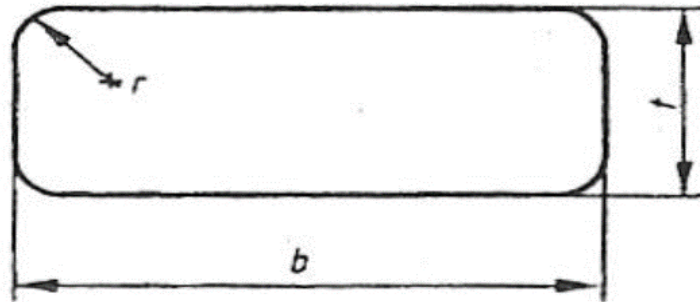
Yaprak yay kesit çeşitleri, yaprak yayın çeşidine ve kalınlığına göre farklılık gösterir. Konvansiyonel yaprak yay çeşitlerinde genellikle EN 10092-1B yani eski norma göre DIN-4620 B profil sıcak haddelenmiş yaylık lama kullanılır [26]. Parabolik yaprak yaylarda ise EN 10092-1A (DIN-59145) ve EN 10092-1C (DIN-59146) profilli sıcak haddelenmiş yaylık lama çeşitleri kullanılır. Fakat parabolik yaprak yaylarda, kalınlık 32 mm'den büyük olursa EN 10092-1A profiline sahip yuvarlak lamalar kullanılamaz. Çünkü 32 mm kalınlığından büyük A profilli yuvarlak lamaları, parabolik makinaları çekemez.



Şekil 2.22: EN 10092-1A profiline sahip lama kesiti.



Şekil 2.23: EN 10092-1B profiline sahip lama kesiti.



Şekil 2.24: EN 10092-1C profiline sahip lama kesiti.

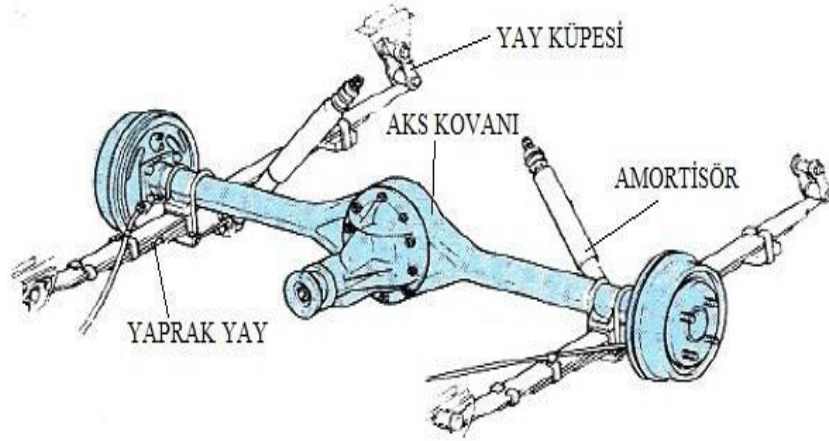
3. YAPRAK YAY ÇEŞİTLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Yaprak yaylar genellikle araçların hotchkiss arka süspansiyon uygulamalarında kullanılmaktadır [28]. Araç altındaki yaprak yaylar, aks yuvası (mahfazası) ile araç şasisi arasına yerleştirilmiş ve merkezde konsantre bir yüke sahip basit bir şekilde desteklenen kiriş olarak kabul edilebilir. Yaprak yayların çalışma prensipleri tıpkı bu şekilde ortadan (merkezden) sabitlenmiş, bir ucu dönel harekete izin verilen bir ucu ise yatay ve düşey ekseninde hareket etmesine olanak sağlanmış yük altında çalışan kirişlerin çalışma prensipleriyle benzerlik gösterir (Şekil 3.1). Bükülme momenti, yaprak yayın ortasında maksimumdur ve uçlara doğru azalır, bu nedenle yay seçimi yaparken yaprak yay kalınlığı merkezde maksimum uçlarda minimum olacak şekilde değişmesine dikkat edilir (bu parabolik yaprak yay çeşitleri için geçerlidir). Konvansiyonel çok katlı çelik yaprak yay yapısında ise bu durum, farklı uzunluklardaki birkaç yaprak katını merkezde maksimum kalınlıkta ve uçlara doğru azalacak şekilde montajı yapılarak elde edilir.

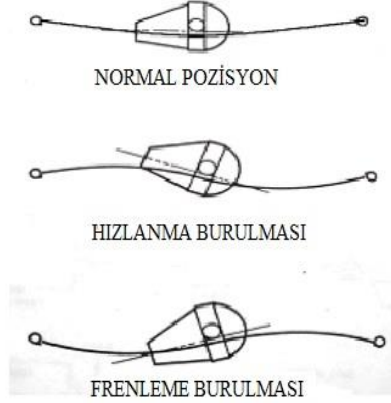


Şekil 3.1: Araç altına bağlanmış yaprak yay örneği [20].

Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, hotchkiss süspansiyonu yarı eliptik tek veya çok katlı yaprak yaylar üzerine monte edilmiş sağlam bir akstan oluşur [28]. Yaprak yayın arka ucu şasiye bağlantı küpesi ile tutturulur. Yaprak yayın ön ucu ise rahatça dönebilecek şekilde şasiye bağlanır. Amortisörler ekstra sönümlenme için kullanılır. Yaprak yaylar yük taşıma kolaylığı sağlamanın yanı sıra, arka aks burulması etkilerini kontrol ederek, yol ve güç aktarım gürültüsünü de izole eder (bkz. Şekil 3.3). Yaprak yay geometrisi, arka süspansiyon için istenen aşırı yönlendirme ve savrulmayı engelleme gereksinimlerini karşılar.



Şekil 3.2: Dingil altına asılmış (underslung) yaprak yaylı hotchkiss arka süspansiyon düzeneği [28].



Şekil 3.3: Yaprak yaylarda burulma etkileri [19].

Hotchkiss tertibatında kullanıldığı gibi, yaprak yaylar performans açısından da son derece verimlidir. Yaprak yaylar yaylanmanın yanında arka süspansiyonun gerektirdiği tüm yalpalanma (savrulma) direncini sağlar, frenleme ve hareket ettirici kuvvetleri şasiye iletir, tüm titreşim modlarında etkili olabilen yapraklar arası sürtünme formunda sönümlenme sağlar, bu esnek (yaylı) kütlelerin yanal kaymasına karşı koyar, araç savrulma seviyesini belirleyen arka aks için bir hareket kavisi sağlar.

Bununla birlikte hotchkiss süspansiyon tasarımının kendisi, doğal bir esneklik üretme eğiliminde olması bakımından önemli dezavantajlara sahiptir:

- Her iki tekerleğin birlikte dikey yönde paralel sekmesi.
- Yanal kayma veya yan sallama (titreme).

- Aksa dik bir eksen etrafında dönme, yalpalama.
- Ön tekerleklerin zıplaması, boyuna bir eksen etrafında dönme.
- Burulma, yanal eksen etrafında dönme.

Bir yaprak yay tasarlanırken hotchkiss süspansiyon sisteminde ki bu esneklikler dikkate alınmalıdır [28]. Tüm bu dezavantajlara rağmen hotchkiss arka süspansiyon sisteminin imalat ve montajı basit olduğundan avantajlıdır.

Süspansiyon yayları üç yükleme koşulu yaşar. İlk başta, sadece aracın ağırlığı boşaltılan durumda etki eder. Daha sonra, yüklenen aracın ağırlığı yaya etki eder. Son olarak, araç düz olmayan yol yüzeyleri üzerinde hareket ederken dinamik veya statik (atalet) yükler etki edecektir. Süspansiyon sistemi, üç yük koşulunda da aynı kalitede sürüş sağlamalıdır. Kamyonlar gibi taşıtlar yüksek oranda yüklü ve yüksüz ağırlığa sahiptir. Bu araçlar, değişken yük koşullarında sürüş yüksekliğindeki değişimi en aza indirmek için değişken oranlı (rate) bir süspansiyon yayı gerektirir. Değişken oran (rate) yaprak yaylarda ana kata yardımcı (muavin) bir veya birden fazla kat eklenerek sağlanır. Yay belirli bir kavis kaybettiğinde, yardımcı (muavin) kat ana kat ile birlikte devreye girer ve iki yay grubu (ana+muavin) tek bir yay gibi hareket ederek aynı rate değerine sahip olurlar.

Yaprak yaylar şasiye, dingil üstüne asılmış (overslung) ve dingil altına asılmış (underslung) olmak üzere iki şekilde bağlanır (Şekil 3.4). Bu bağlanma şekillerinin özellikleri ayrı ayrı maddeler halinde aşağıda verilmiştir [29].

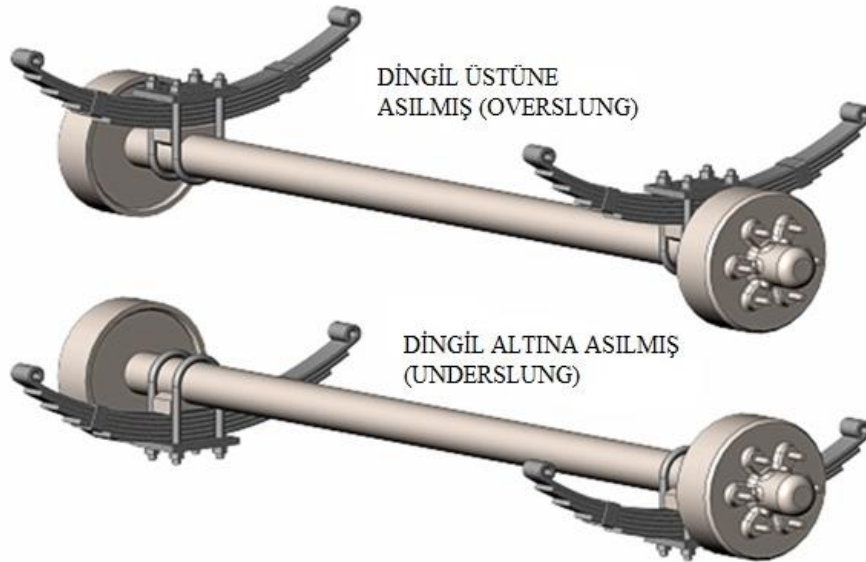
Dingil üstüne asılmış (overslung) yaprak yay düzeninin özellikleri:

- Aksın üzerindeki yaprak yay; düz ve kavisli pozisyonunu koruyarak dışa doğru savrulmayı önlemek için öne doğru eğimlidir (yandan görünümde). Eğim miktarı aktarma organlarının gereksinimleri ile sınırlıdır.
- Genellikle düz ana kat ile 90-100 derece açı yapacak şekilde germe bağlantı küpesi bağlanır.
- Tekerlek ile şasi arasına yaprak yay paketini yerleştirmek için aradaki boşluk ayarlanmıştır.
- Yay askısı uzunluğunu en aza indirmek için merkez parmaklık bölümü yüksek tutulmuştur.

- Yay ve bağlantı küpesi flanşları parmaklık ağından daha karmaşık dökme kalıplı dirseklere sahiptir.
- Tüm süspansiyon ve şasi bileşenlerinin yerden yüksekliği maksimumdur.

Dingil altına asılmış (underslung) yaprak yay düzeninin özellikleri:

- Aksın altındaki yaprak yay; düz ve kavisli pozisyonu etrafında savrulmayı önlemek için hafifçe öne eğimlidir. Eğim miktarı askı braketinin yerden yüksekliği ve aktarma organlarının gereksinimleri ile sınırlıdır.
- Genellikle düz ana kat ile 60 derece açı yapacak şekilde sıkıştırma (basınç) bağlantı küpesi bağlanır.
- Parmaklık aralığı gerektiği kadar geniştir; yaprak yay genellikle bu parmaklığın altında paketlenir (bağlanır).
- Yay askısı braket uzunluğunu en aza indirmek için merkez parmaklık bölümü alçaktır.
- Yaprak yay askı dirseği basit bir dökme kalıbı olabilir; bağlan küpesi dirseği doğrudan ağ montajı ile ihmal edilebilir.
- Yaprak yay ve askı dirseğinin yerden yüksekliği minimumdur.



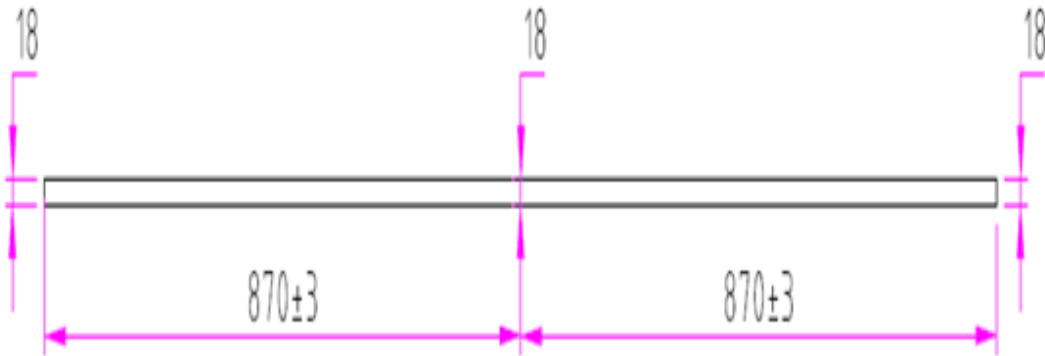
Şekil 3.4: Yaprak yayların dingile bağlanma şekilleri [29].

Yaprak yay çeşitleri 3 ana başlık altında incelenebilir:

3.1 Konvansiyonel Yaprak Yay Çeşitleri (Yığıma Makas)

Konvansiyonel makaslar en ilkel yaprak yay çeşididir. Bu tür yaprak yayların katlarının kalınlığı sabittir yani yaprak yayın kat uzunluğu boyunca kalınlığında herhangi bir değişim olmaz [23]. Farklı boylarda kesilmiş lamaların, en uzun kat en üstte olacak şekilde üst üste konularak merkezde bir merkez civata ve genellikle iki uçta kelepçelerin tutturulmasıyla oluşturulmuş makas çeşididir. En üstte ki ana kattan aşağı doğru inildikçe katların boyları kademeli olarak kısalmır. Taşınacak yükün ağırlığına göre kat sayısı belirlenir. Konvansiyonel yaprak yayların kat sayısı 3 ila 24 arasında değişir. Ağır ticari araçlarda kat sayısı genellikle 20'lere kadar çıkar. Kat sayısının fazlalaşması aracın ağırlığını artırır buda istenmeyen bir durumdur. Çünkü yaprak yayın kat sayısı arttıkça araç ağırlaşır buda aracın yakıt tüketimini artırır.

Yığıma makasların katları arasındaki sürtünme çok fazladır. Bu tür yaprak yaylarda, katlar arasında gres yağı sürülerek bu sürtünme azaltılmaya çalışılır. Ancak yine de katlar arasında sürtünme meydana gelir. Bu sürtünme ise sistem dinamiğine büyük ölçüde zarar verir. Bu yüzden günümüzde zamanla konvansiyonel yaprak yayların yerini parabolik yaprak yaylar almaktadır. Şekil 3.5'de konvansiyonel yaprak yayın kesiti ve Şekil 3.6'da ise bir konvansiyonel yaprak yay örneği verilmiştir.



Şekil 3.5: Konvansiyonel yaprak yay kesiti [20].



Şekil 3.6: Konvansiyonel yaprak yay örneği [20].

Konvansiyonel yaprak yaylar kendi içinde 3'e ayrılır: tek kademeli konvansiyonel yaprak yaylar, çift kademeli konvansiyonel yaprak yaylar ve üç kademeli konvansiyonel yaprak yaylar (muavin + konvansiyonel iki kademeli). Sırasıyla Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da örnekleri verilmiştir.

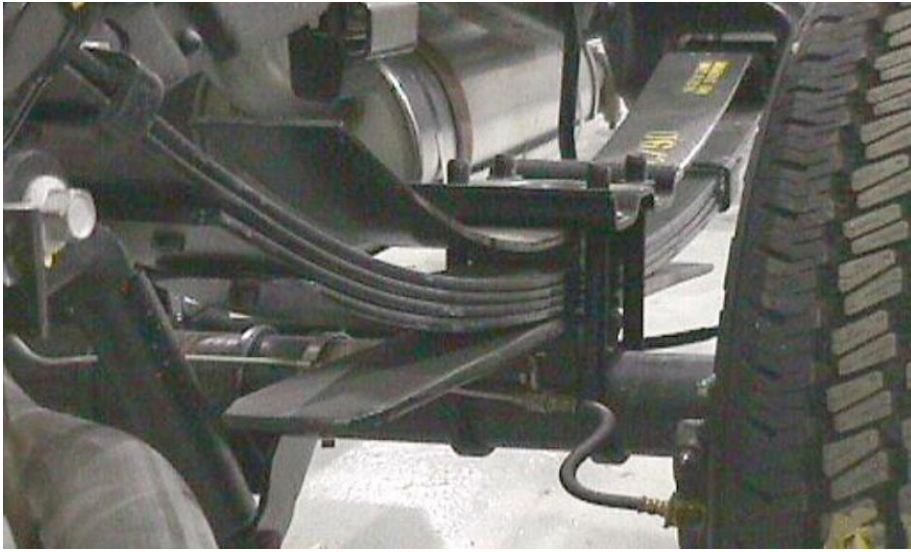
Tek kademeli yaprak yaylarda sadece bir tane rate değeri vardır ve değişmez. Çift kademeli yaprak yaylarda ise iki adet rate değeri vardır ve aşırı yüklenme sırasında yaprak yayın katları birleşerek birlikte hareket etmeye başlar ve yeni bir rate değerine sahip olurlar. Üç kademeli yaprak yaylarda da çift kademeli ile aynı mantık geçerlidir.



Şekil 3.7: Tek kademeli konvansiyonel yaprak yay [20].



Şekil 3.8: Çift kademeli konvansiyonel yaprak yay [20].



Şekil 3.9: Üç kademeli konvansiyonel yaprak yay [19].

3.2 Parabolik Yaprak Yay Çeşitleri

Parabolik yaprak yayların kesitleri parabolik olarak değişen, merkezden uçlara doğru kat kalınlıkları azalan makas çeşitleridir [30]. Parabolik haddeleme işlemine tabii tutulmuş yaprak yay katlarının pim veya merkez civatası gibi bağlantı elemanları ile bir araya getirilmesiyle oluşur. Çok esnek yük ve yol şartlarında konfor sağlarlar.

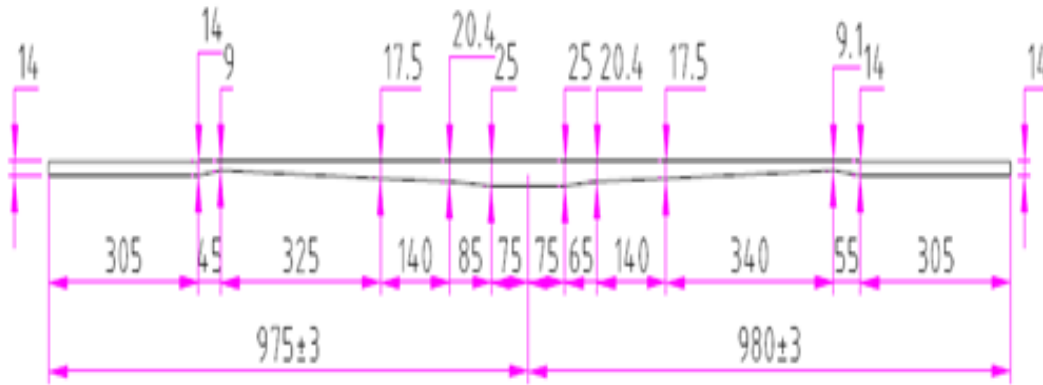
Parabolik yaprak yayların yaylanma bölgesindeki katları arasında boşluklar vardır [30]. Bu boşluklar sayesinde yaprak yay aşınmasız, bakım gerektirmeyen ve sabit iyi bir yay karakteristiğine sahip olur. Ve ayrıca parabolik yaprak yaylar, katlar arası sürtünmeyi azaltmak amacıyla kat aralarına lastik takoz kullanımına uygundur.

Yaprak yayın katları arasındaki bu boşluklar; malzemeye yüksek dayanım özelliği sağlayan ve böylece makasın yorulma ömrünü uzatan ve diğer yandan makasın ağırlık azaltılmasını mümkün kılan kumlama, stresli kumlama, ön yükleme ve boyama (korozyon önleme) ile çok yararlı yüzey işlemlerine olanak sağlar [30].

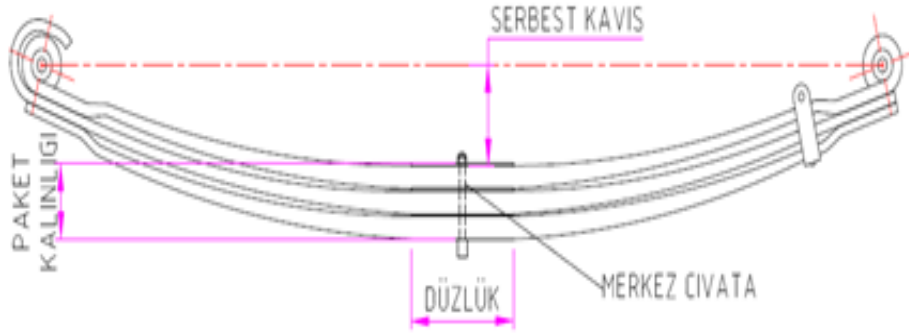
Parabolik yaprak yaylar, yaprak yay teknolojisinin son seviyesidir. Bu yüzden parabolik yaprak yayların, konvansiyonel makaslara kıyasla birçok avantajı vardır [30]. Parabolik yaprak yayların avantajları:

- Yaprak yayın uzunluğu boyunca homojen gerilme (stres) dağılımı sağlar.
- Katlar arasında boşluklar olmasından dolayı iyi bir korozyon kaplaması uygulamasına olanak sağlar.
- Ön yükleme, kumlama, stresli kumlama ve boyama gibi uygulamalara olanak sağladığı için daha uzun yorulma ömrü sağlar.
- Sabit iyi bir yay rijitliği sağlar.
- Daha az katla çalışma kapasitesine sahip oldukları için daha düşük ağırlık imkanı sunar.

Şekil 3.10'da parabolik yaprak yayın kesiti ve Şekil 3.11'de ise bir parabolik yaprak yay örneği verilmiştir.



Şekil 3.10: Parabolik yaprak yay kesiti [20].



Şekil 3.11: Parabolik yaprak yay örneği [20].

Parabolik yaprak yaylar da kendi içerisinde tek kademeli ve çift kademeli parabolik yaprak yaylar olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 3.12) (Şekil 3.13).



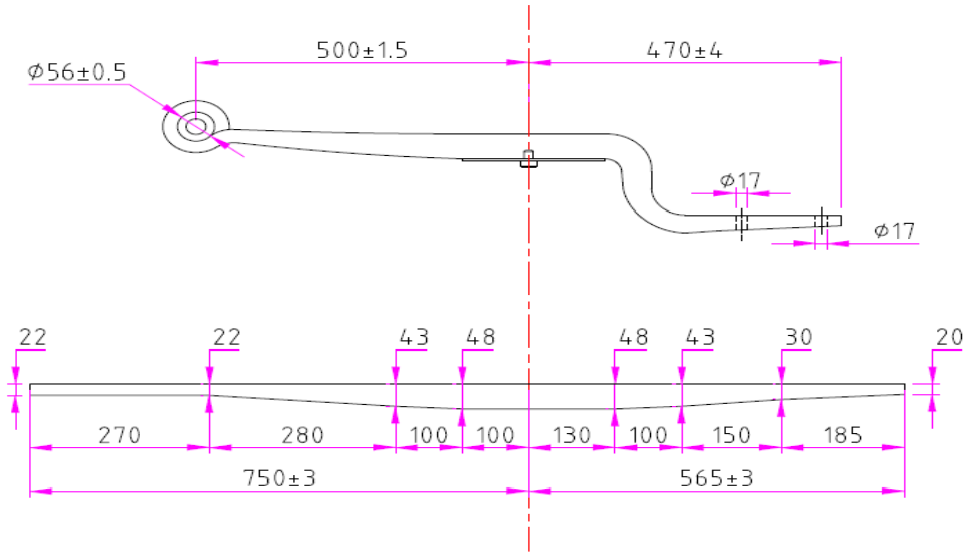
Şekil 3.12: Tek kademeli parabolik yaprak yay [20].



Şekil 3.13: Çift kademeli parabolik yaprak yay [20].

3.3 Havalı Süspansiyon Yaprak Yay Çeşitleri (Z Makas Tipi)

Kesit olarak parabolik incelmelere sahip olan bu yaprak yay çeşiti genellikle ağır ticari araçlarda hava körüğü ile birlikte kullanılmaktadır [20]. Araçlarda yaylanmayı sağlamanın yanısıra kaldırma kolu görevi de görür. Üretimi son derece zahmetli ve maliyetlidir. Standart parabolik yaprak yay üretim giderlerinin yanına özel kalıp maliyeti de eklenir. Her farklı z makas tipi için ayrı kalıp tasarımı yapıлып yeni kalıplar üretilir. Üretilen bu kalıplarda, z makaslarının kuyruk kısımları ısıtılıp basılır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Havalı süspansiyon yaprak yay örneği (z makas) [20].

4. YAPRAK YAY MALZEMELERİ VE ÖZELLİKLERİ

4.1 Yaprak Yay Malzemelerinin Genel Özellikleri

Araç dinamikleri dikkate alındığında, bir aracın yaylanmayan ağırlığını (unsprung weight) asgariye indirmek gerekir [31]. Yaylanmayan ağırlıkta elde edilen herhangi bir ağırlık azalması, yakıt verimliliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, otomobillerdeki ağırlık azalmasına yönelik çalışmalar temel olarak yaprak yay, tahrik mili ve araç tekerleği gibi yaylanmayan ağırlığı oluşturan parçalara yöneliktir. Yaprak yaylar yaylanmayan ağırlığın yaklaşık % 20-25'ini oluşturur. Çeşitli araştırmalar araçlarda ağırlık azalmasından dolayı yakıt tasarrufunun, araçların kullanım ömrü boyunca elde edilen her bir kilo ağırlık azalması için yaklaşık 0,26 galon (1 galon=3.78 litre) olduğunu ortaya koymuştur.

Ayrıca yaprak yay tarafından absorbe edilen enerji, elastik gerilme enerjisi şeklinde depolanır [31]. Yaprak yay, yaydaki sapmaya (deplasman) eşit bir mesafede hareket ettiğinde, emilen elastik gerilme enerjisi dış yük tarafından yapılan işe eşit olur. Bu nedenle, yaprak yay yapımında kullanılan malzemenin maksimum elastik enerji depolama kapasitesine sahip olması gerekir. Elastik enerji depolama kapasitesi, yaprak yaylar için en önemli özelliklerin başında gelir.

Yayın ilk saptıktan sonra salınım yapmaya devam etmemesi için, emilen enerjinin daha hızlı yer değiştirmesi gerekir [31]. Enerji salım hızı, yay malzemesinin sönümleme özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle, ilk saptıktan sonra yay salınımını durdurmak için, yay malzemesi iyi bir sönümleme özelliğine sahip olmalıdır. Eğer yayın sönümlemesi yeterli değilse, amortisörler gibi harici sönümleme cihazları yaylarla birlikte kullanılır. Ayrıca, yaprak yaylar yorulma yüklerine maruz kaldığından, yay malzemesi iyi bir yorulma dayanımına sahip olmalıdır. Kamyon yaprak yaylarının, optimum özellikleri genlik ve frekansın etkisi ile ilgilidir. İdeal bir otomotiv süspansiyon yaprak yay malzemesinden istenen özellikler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Yüksek (dayanım / ağırlık) oranı
- Yüksek elastik gerilme enerjisi depolama kapasitesi
- Yüksek yorulma dayanımı
- İyi sönümleme özellikleri
- Yüksek korozyon direnci

- Yeterli sertleşebilirlik özelliği
- Yeterli yüklenbilirlik özelliği

Yaprak yay malzemelerinde aranan özelliklerin karşılanabilmesi için genellikle çeliklerle çalışılır, yaprak yayların neredeyse hepsi çeliklerden üretilir. Bu yüzden aşağıda, yaprak yay çeliklerinden ayrıntılı bir şekilde bahsedilmiştir.

4.2 Yaprak Yay Çelikleri

Yaprak yay yeterli yüksek dayanım tokluğu ve sünekliği sağlamak amacıyla çoğu kez yaprak yay çeliklerine ıslah işlemi uygulanır [32]. Yaprak yay uygulanan ıslah işlemi, malzemeye yüksek tokluk özelliğinin kazandırılacağı önce yüksek sıcaklıklarda tavlama ve ani soğutulma ile sertleştirme ve daha sonra belirli bir sıcaklıkta menevişleme işlemlerinin tamamı olarak açıklanabilir. Bu yüzden yaprak yay üretiminde genellikle ıslah çelikleri kullanılır.

Yaprak yaylarda en çok kullanılan ıslah çelikleri; 55Cr3, 50CrV4, 51CrV4, 50CrMn4, 50SiMn7, 70SiMn7 ve 54Cr6'dır. Bu ıslah çelikleri arasında en iyi sürekli dayanım değerine sahip olan 55Cr3 çeliğidir. Diğerlerine göre daha yüksek silisyum miktarı içeren ıslah çeliklerinde karbon azalması eğilimi vardır. Bu yüzden yay sürekli kırılma tehlikesi geçireceğinden dolayı, daha çok krom içeren 51CrV4 ıslah çeliğinin kullanımı öne çıkar.

Tüm bunların hepsi göz önüne alındığında yaprak yayların üretiminde kullanılan ıslah çelikleri arasında en çok tercih edilenler; 55Cr3 ve 51CrV4 ıslah çelikleri olur. Üretilecek yaprak yayın çeşidine, kalınlığına ve genişliğine göre 55Cr3 veya 51CrV4 ıslah çeliklerinden biri seçilir.

Tipik yaprak yay çeliğinin önemli mekanik özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir:

Tablo 4.1: Tipik makas çeliğinin mekanik özellikleri [23].

Sertlik (HB)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Kesit Daralması (%)	Birim Uzama (%)
388-461	1300-1700	1170-1550	Min %25	Min %7

Yaprak yay üretiminde en çok kullanılan 55Cr3 ve 51CrV4 ıslah çeliklerinin kimyasal analiz değerleri Tablo 4.2 ve Tablo 4.5’de, sertleşebilirlik değerleri Tablo 4.3 ve Tablo 4.6’da, dekarbürizasyon derinliği değerleri Tablo 4.4 ve Tablo 4.7’de, sertlik-uzaklık değerleri ise Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Bu tez için ürettiğimiz numunelerin malzemesi de 55Cr3 ıslah çeliğidir.

Tablo 4.2: 55Cr3 ıslah çeliğinin kimyasal analiz değerleri [33].

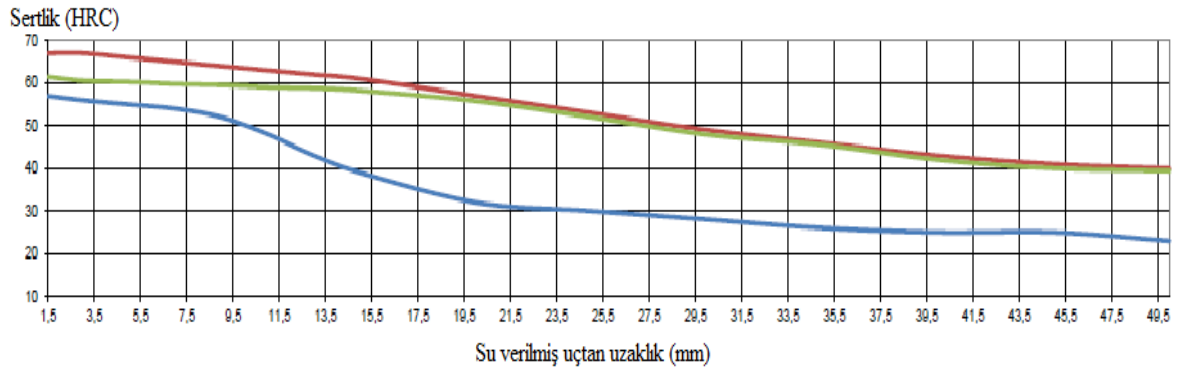
(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu+10Sn
max.	,59	,40	1,00	,025	,025	1,00	,60
min.	,52	*	,70	*	*	,70	*

Tablo 4.3: 55Cr3 ıslah çeliğinin sertleşebilirlik (jominy deneyi) değerleri [33].

Mesafe	mm	3	7	11	15	20	25	30	40	50
max.	HRC	67	65	63	61	57	53	49	43	40
min.	HRC	56	54	48	39	32	30	28	25	23

Tablo 4.4: 55Cr3 ıslah çeliğinin dekarbürizasyon derinliği değerleri [33].

max (mm)	1	2	3	4	5	6
0,300	0,243	0,236	0,246	*	*	*



Şekil 4.1: 55Cr3 ıslah çeliğinin sertlik-uzaklık değerleri [33].

Tablo 4.5: 51CrV4 ıslah çeliğinin kimyasal analiz değerleri [33].

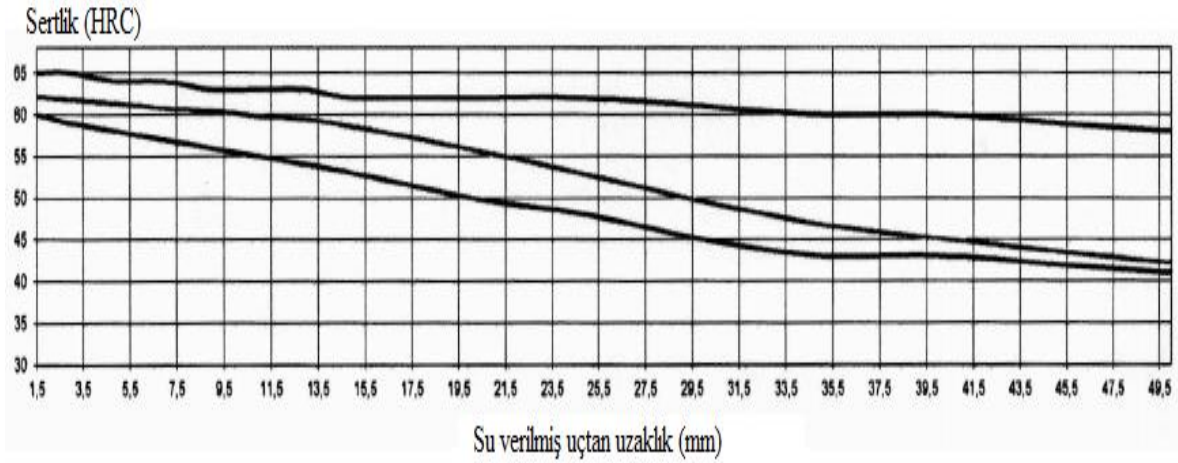
(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
max.	,55	,40	1,10	,025	,025	1,20	,25
min.	,47	*	,70	*	*	,90	,10

Tablo 4.6: 51CrV4 ıslah çeliğinin sertleşebilirlik (jominy deneyi) değerleri [33].

Mesafe	mm	3	7	11	15	20	25	30	40	50
max.	HRC	65	64	63	62	62	62	61	60	58
min.	HRC	59	57	55	53	50	48	45	43	41

Tablo 4.7: 51CrV4 ıslah çeliğinin dekarbürizasyon derinliği değerleri [33].

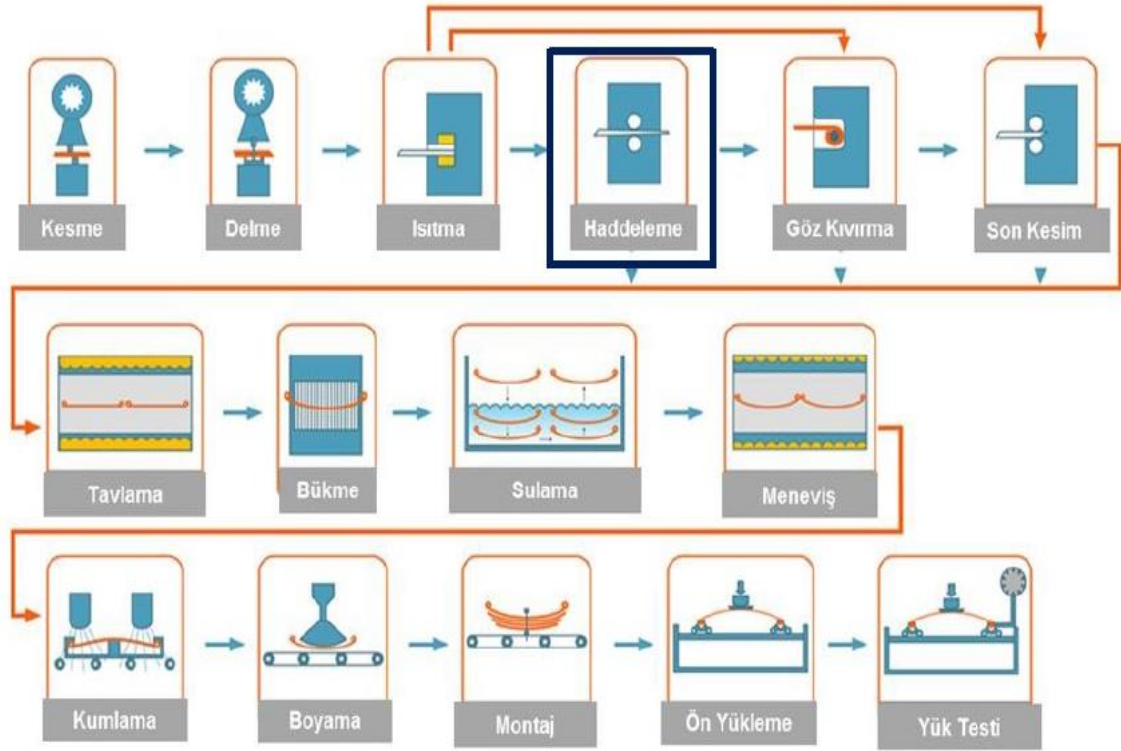
max (mm)	1	2	3	4	5	6	
	0,500	0,351	0,351	0,346	*	*	*



Şekil 4.2: 51CrV4 ıslah çeliğinin sertlik-uzaklık değerleri [33].

5. YAPRAK YAY ÜRETİM AŞAMALARI

Yaprak yay imalatı birçok aşamayı içinde barındırır. Şekil 5.1’de şematik olarak verilmiş yaprak yay üretim aşamaları bu bölümde sırasıyla ele alınmıştır.



Şekil 5.1: Yaprak yay üretim aşamaları [20].

5.1 Kesme İşlemi

Kesilecek olan hammaddenin genişliği genellikle 40-120 mm arasında, kalınlığı ise 4-60 mm arasında değişir. Öncelikle ilk iş parçası olan lamaları istenen boyda kesmek için kesme işlemi yapılır. Kesme işlemi genellikle bir giyotin makası ile yapılır. Yaprak yay imalatında farklı özelliklere sahip sac metaller kullanılır. Kesme işlemi, yaprak yay imalatında en önemli, sık ve başlıca işlemlerden biridir. Kesme işleminde yer alan çeşitli adımlar şunlardır:

- Rulolu konveyör (taşıyıcı) ile malzemeyi makineye doğru taşıma.
- Durdurucu ayarını ayarlayarak kesilecek malzemenin istenen uzunluğunu ölçmek ve işaretlemek.
- Malzemeyi makinenin işaretli alanına taşıma.
- Ayak kumandalı kola basarak ham madde üzerine yük uygulanması.
- Gerekli malzemenin uzunluğunun elde edilmesi.

5.2 Delik Delme İşlemi

Tüm katları bir arada tutmak için her yaprağın merkezinde bir delik bulunur. Bunun için bir delme işlemi gerçekleştirilir. Merkez deliği açmak için mekanik bir güç pres kullanılır. Delinecek deliğin çapına bağlı olarak, uygun matkap (zımba) ucu bağlanır. İş parçası, delme işlemi için gerekli konuma yerleştirilir. Ayakla kontrol edilen mekanik pres delme işlemi gerçekleştirmek için etkinleştirilir ve istenen delik ölçüsüne göre delik delinir. Yaprak yaylarda sadece merkez deliği yoktur. Merkez deliği dışında yaprak yayın gerekli katlarına perçin ve takoz delikleri açılır. Perçin deliği, kelepçe gereksinime göre yaprak (kat) üzerinde kelepçeyi sabitlemek üzere perçinleme işlemi için kullanılır.

5.3 Isıtma İşlemi

Göz kıvrırma, haddeleme (parabolik çekme) ve uç kesme (son kesim) gibi işlemlerin yapılabilmesi için yaprak yay katları 1000 °C sıcaklığa kadar fırınlarda ısıtılır.

5.4 Parabolik Çekme İşlemi (Haddeleme)

Ana katta göz kıvrırma işleminden önce, ikinci ve diğer katlar için ise gerekli işlemlerden önce ısıtılmış sıcak yapraklar (kat) bir haddeleme (parabolik çekme) işlemine tabi tutulur. Yapraklar, konik bir profil oluşturmak için kam merkezli PLC kontrollü hadde merdanelerinin arasından geçirilir. Modern yaprak yaylarda parabolik çekme işlemi en önemli ve ağırlık azaltımı için en etkili procestir. Daha sonra, parabolik yaprak uzunluğunu kontrol etmek için bazı durumlarda uç kesme yapılır. Düzeltme işlemi tamamlandıktan sonra, ana katın gözünü çevreleyen ve destekleyen yarı göz sarmalı oluşturulur (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: Parabolik çekme işlemine (haddeleme) ait bir görüntü [20].

5.5 Gz Kıvrma İşlemi

Ana katın, göz kıvrma işlemi için iki ucuda ısıtılır; bu işlem yaprakları aracın şasisine tutturmak için yapılır. Isıtma işlemi 1000 °C sıcaklıkta ki fırında yapılır. Isıtma sadece uçlarda yapılır böylece uçları kıvrılmak kolaylaşır. Fırını ısıtmak için, gaz ve hava kullanılır. Fırının ilk önce 45 dakika boyunca serbestçe ısınmasına izin verilir. Ana katlar fırına uçlardan biri ısıtılacak şekilde yerleştirilir. İstenilen sıcaklığa ulaşıldıktan sonra, sıcak olan uç gözü iki aşamada oluşturulacak şekilde o yaprak yayda kullanılan burcun dış çap ölüsüne göre kıvrılır. Aynı işlem diğer uç için de tekrarlanır (şekil 5.3) (şekil 5.4).



şekil 5.3: Göz kıvrma işlemi yapılırken [20].



şekil 5.4: Göz kıvrma işlemi sonucunda oluşan göz [20].

5.6 Son Kesim İşlemleri (Yan Kesim, V-kesim)

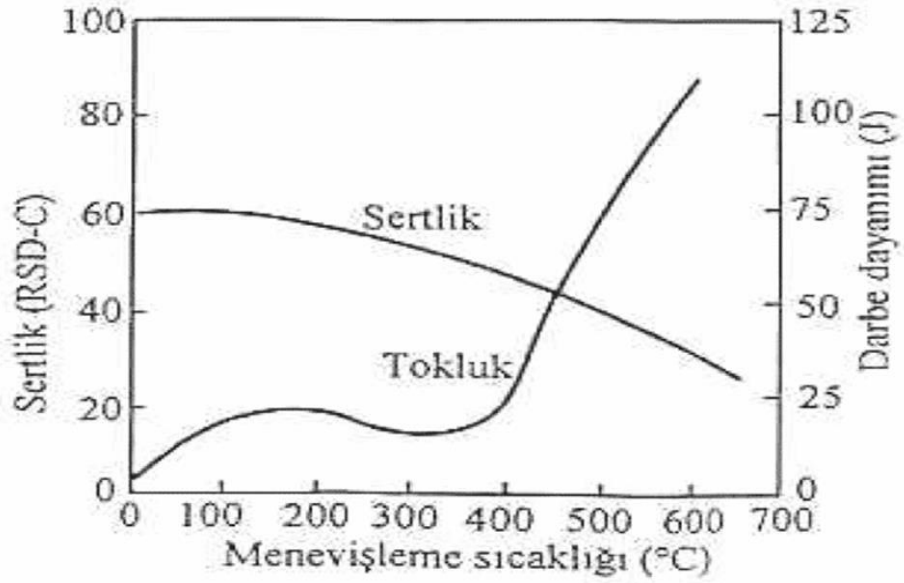
Haddeleme işleminin ardından malzemede meydana gelen uzamanın kontrolü yapılır. Eğer yaprak yay katının parabolik boyu uzun ise istenen boyu sağlamak için malzeme ucundan son kesim işlemi yapılır. Tüm yaprakların (katların) uçları (birinci ve ikinci kat hariç), yaprak yay montajının bir kısmına yardımcı olmak ve yaprakların birbiri üzerinde kayarak aşınmasını azaltmak için v şeklinde bir bıçakla kesilerek katların uçlarında v profili oluşturulur.

5.7 Tavlama, Kavis Verme (Bükme) ve Ani Soğutma (Sulama) İşlemleri

Özel işlemler tamamlandıktan sonra, tüm yapraklar (katlar) tav fırınında 800-1100 °C sıcaklığa kadar ısıtılır. Tav fırınından gelen sıcak yapraklar, kavis verme düzeneğine (sallamalara) ulaşmak için makaralı bir konveyörden geçirilir. Yapraklar kavis verme düzeneğine (sallamalara) ulaştıktan sonra, sıcak olan her bir yaprak (kat) istenen kavis değerini belirleyen eliptik şekli oluşturmak için kalıp şeklindeki sallamalar tarafından şekil vermeye tabi tutulur. Daha sonra kavisleri verilen yapraklar su veya soğutma yağı haznesinde ani soğutulmuş malzemeye sertlik özelliği kazandırılır.

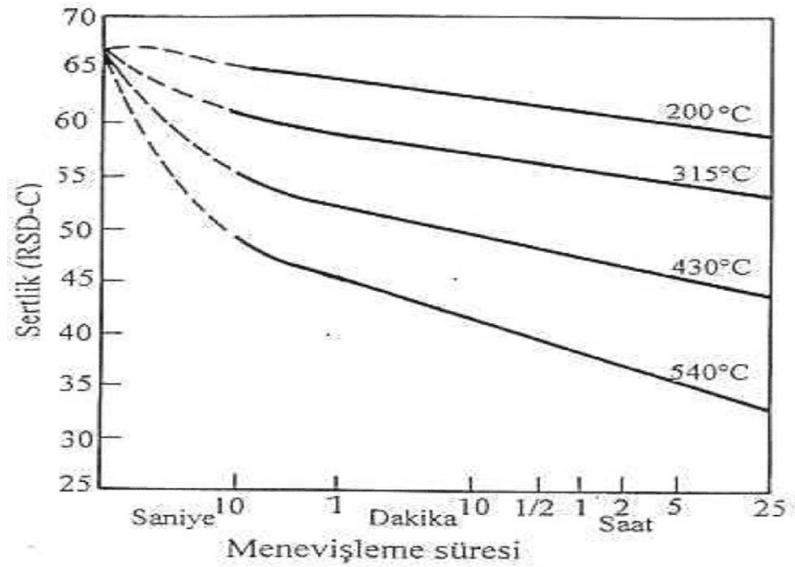
5.8 Menevişleme (Temperleme) İşlemi

Ani su verme işlemi ile elde edilen martenzit yapı çok sert ve sağlam olmasına rağmen, çoğu uygulama için kullanışlı olmayacak kadar kırılgandır [34]. Bu yöntem “temperleme (menevişleme)” olarak adlandırılır. Çoğu çelik için temperleme, malzemenin kalınlığına göre 250-550 °C arasında ısıtmayı, bu sıcaklıkta uygun bir süre boyunca (dakika veya saat cinsinden) bekletmeyi ve daha sonra yeterli bir süre (dakika veya saat) yavaşça soğumaya bırakmayı içerir. Bu ısı işlemi, ani su verme (ani soğutma) işleminden elde edilen tüm sertlik ve gerilme direncinden (dayanımından) ödün vermeden, daha yüksek tokluk ve süneklik kazanımı ile sonuçlanır. Temperleme işlemi, sert martenzit miktarını yumuşak (sünek) temperlenmiş martenzit ile dengeler. Temperleme işleminin uygulanmasındaki amaç; sünekliği, tokluğu, darbe dayanımını ve uzama yüzdesini arttırmak, sertliği, kırılganlığı azaltmak ve aynı zamanda artık gerilmeleri gidermektir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5: Temperleme işleminin şematik gösterimi [34].

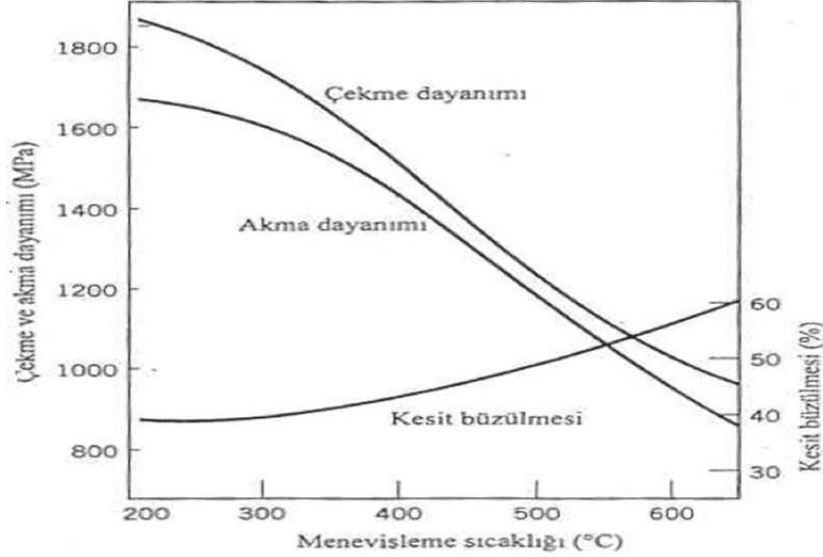
Temperleme sıcaklığı kadar temperleme süresi de çok önemlidir. Aşağıdaki grafik, zamanın çeliğin mekanik özelliklerine nasıl etki ettiğini göstermektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6: Temperleme süresinin malzemenin mekanik özelliklerine etkisi [35].

Şekil 5.6'da da görüldüğü gibi, herhangi bir temperleme sıcaklığında bekleme süresi arttırıldığında sertlik değerindeki düşmede de o oranda artış yaşanır [35]. Malzemedeki tokluk değeri yani darbe dayanım değeri, "charpy darbe testi" ile bulunmaktadır. Eğer bu işlemin öncesinde ve sonrasında charpy darbe testi uygulanıp test değerleri karşılaştırılırsa çeliğin tokluk değerinin bir miktar arttığı gözlemlenebilir.

Temperleme işleminde bahsettiğimiz sertliğin düşmesi ve sünekliğin artması gibi durumların sonucunda malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı ve kesit daralması (büzülmesi) gibi mekanik özelliklerdeki değişimler Şekil 5.7’de verilmiştir [35].



Şekil 5.7: Temperleme işleminin çeliğin mekanik özelliklerine etkisi [35].

Genellikle temeli demir olan malzemeler belirli bir yüke maruz kalıp uzayan ve sonunda üzerine uygulanan yüke dayanamayıp kesiti büzülerek incelen ve kopan malzemelerdir [35]. Yumuşak malzemelerde, kopma işlemi anında kopan kesit çok fazla daralır. Özellikle sert malzemelerde ise kesit büzülme (daralma) oranı oldukça düşüktür, sert malzemeler çok fazla kesit büzülmesine uğramadan aniden kopar. Şekil 5.7’de meydana gelen bu kesit büzülmesi olayının temperleme sıcaklığı ile ilgili ilişkisi gözükmemektedir. Menevişleme ya da diğer bir deyişle temperleme sıcaklığı arttığında sertlik değeri daha fazla azalacağı ve malzeme daha da sünek bir hale geleceği için, kesit büzülmesi de aynı bu oranda artmaya devam edecektir. Fakat bunun sonucunda, malzemenin çekme ve akma mukavemetlerinde (dayanımlarında) bir miktar düşme meydana gelir. Bunların hepsinden çıkarılacak sonuç ise, çelik malzemelerde yüzde uzama miktarı ve kesit daralması doğru orantılı, çekme – akma dayanımı ve tokluk ters orantılıdır.

Yukarıda bahsettiğimiz temperleme süresi kadar temperleme sıcaklığında çok önemlidir [35]. Alaşımında yapılan herhangi bir değişiklik sonrası mutlaka sıcaklığında değiştirilmesi gerekir. Çünkü doğru sıcaklıkta ve yeterli bir süre uygulanmayan bir ısı işlem – temperleme, elde etmek istediğimiz özelliklerin tam tersi yönde özelliklerle karşılaşmak zorunda kalmamıza

neden olabilir. Örneğin yüksek aşınma dayanımı istenen dişli gibi parçaların ısıtılma işlemi sıcaklığı 200 °C'nin biraz altında yapılmalıdır.

Malzemenin sertlik değerini düşürmek istediğimiz durumlarda, temperleme sıcaklık aralığı 450-500 °C'nin biraz üstünde olmalıdır [35]. Bu temperleme sıcaklık değerlerinde sertlikte düşüş meydana gelirken tokluk değeri yükselir. Ve aynı zamanda malzeme içyapısında ki artık gerilmelerde giderilmiş olur.

Martenzit yapı kararsız bir yapı olmakla beraber kristal yapısı incelendiğinde hacim merkezli tetragonel (HMT) yapı ile karşılaşılır [35]. Bu martenzit yapıya ısıtılma işlemi uygulandığında, çeliğin içerisindeki karbonlar kristal yapıdan ayrılarak karbürü meydana getirirler ve kristal yapı değişime uğrayarak hacim merkezli kübik (HMK) yapıya dönüşür. Böylece çelik, kararsız bir yapıdan kararlı bir yapıya dönüşmüş olur ve bu sırada sertlik değerinde de düşüşler başlar. Yaklaşık olarak 200-400 °C derece arasında yapılan temperleme işlemi sonucunda karbür yapı sementit yapıya, martenzit yapı ise ferrit yapısına dönüşür. Bu sırada kalıntı östenit yapı da beynit yapısına dönüşür. Yeni oluşmuş bu yapıya “temperlenmiş martenzit yapısı” adı verilir. Bu temperleme sıcaklığını 200 °C arttırsak sorbit adını verdiğimiz yapı meydana gelir. Oluşan sorbit yapısında, ferrit miktarı artmıştır. Bu sırada artan sıcaklığın etkisiyle süneklik ve yüzde uzama değerleri artarken çekme dayanımında düşüş meydana gelmiştir.

Yaprak yaylarda, temperleme sıcaklığı malzemenin kalınlığına göre değişir [20]. Kalın malzemeler daha yüksek sıcaklıklarda, ince malzemeler ise daha düşük sıcaklıklarda temperleme işlemine tabii tutulur. Yaprak yaylarda temperleme sıcaklığı ise genellikle 500-550 °C arasında değişim gösterir. Temperleme işlemi sonrası malzemedeki istenen sertlik değerine göre temperleme fırınının sıcaklığı azaltılır veya yükseltilir. İstenilen sertlik değerleri yakalanamaz ise temperleme fırınının sıcaklığı uygun bir şekilde değiştirilerek yaprak yaylar tekrar mencevşleme fırınından geçirilir.

5.9 Kuşlama İşlemi

Yaprak yayların yorulma ömrünü büyük ölçüde arttıran kuşlama işlemi, mekanizması gereği bir soğuk işlem prosesidir. Yaprak yaylarda kuşlama işlemi, serbest halde kuşlama ve stresli kuşlama olmak üzere iki şekilde uygulanır. Bu tezin konusu gereği, kuşlama ve stresli kuşlama işlemleri bölüm 6.2'de ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

5.10 Boyama İşlemi

Özel işlemlerin tamamlanmasından sonra, yapraklar ayrı ayrı siyah veya uzay gri renkte boyanır. Yaprak yaylar boyama odasına yerleştirilir ve gerekli boyama işlemleri bir boya tabancası yardımıyla boyayı yaprak yayların üstüne püskürtme yöntemi ile uygulanır. Yaprak yayların boyanması korozyona karşı bir önlem alma şeklidir.

5.11 Montaj İşlemi

Bu bölümde ana kat ile birlikte diğer katlar, merkez cıvata ve somun, kelepçeler, yan cıvatalar ve somunları ve rondela yardımıyla bir araya getirilir. Yani bu bölümde yaprak yay katları istenen şekilde biraraya getirilerek montajı yapılır. Kelepçeler, yaprak yayın katlarını bir arada tutmak için kullanılan parçalardır. Genellikle 12 kat (yaprak) için 4 kelepçe, 7 katlı (yaprak) bir yaprak yay için ise 2 kelepçe kullanılır. Kelepçeler merkezden eşit uzaklıkta konumlandırılmıştır. Yaprak yayların katlarını birarada sıkıca tutmak için farklı boyutlarda cıvata ve somunlar kullanılır.

Yaprak yayların kalitesini ve performansını kontrol etmek için, montaj üzerinde kontroller ve yük testleri yapılır. Kontrollerden sonra, yaprak yaylarının iyi kalitede ve performansta olanlarının stok depolamasına izin verilir.

5.12 Ön Yükleme İşlemi

Ön yükleme işlemi, makas kat yüzeylerin de bir ön gerilme oluşturma işlemidir [23]. Ön yükleme işlemi ile yaprak yayların katları akmaya zorlanır. Ön yükleme işlemi sırasında yaprak yaylar, çalışma yükleri doğrultusunda bir miktar plastik şekil değiştirmeye zorlanarak çeki yüzeylerinde artık bası gerilmesi, bası yüzeylerinde artık çeki gerilmesi oluşturularak makasın yorulma ömrünü iyileştirir. Ayrıca ön yükleme işlemi sayesinde makasın araç altında çökmesi azaltılmış olur. Eğer yaprak yay belirli yüklerde çok fazla kavis kaybedecekse, yaprak yayın araç altına takılmadan bu çökmesi tespit edilmiş olur.

5.13 Yük Testi

Yaprak yayların belirli yükler altında ki davranışlarını ölçen, ne kadarlık yüklerle karşı dayanabileceğini gösteren ve yaprak yayların yorulma ömür testlerinin hepsini kapsayan testlerdir.

6. YAPRAK YAYLARDA YORULMA VE YORULMA ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

6.1 Yorulma Olayı

Bilimsel olarak metal yorgunluğu (yorulma), tekrarlı yüklemeye maruz kalan bir bileşenin erken geri dönüşümsüz hasara veya kırılmasına neden olan teknik bir terimdir [36]. Bu yükler, yapının oluşturulduğu malzemenin akma ve kopma dayanımı gibi mekanik özelliklerinden daha küçüktür.

Metal yorgunluğu aşağıda verilen birkaç disiplini kapsayan kompleks bir olaydır:

- Dislokasyon hareketleri,
- Yüzey olayları,
- Kırılma mekaniği,
- Stres analizi,
- Malzeme deformasyonu,
- Malzemenin bulunduğu ortam metal yorgunluğuna sebep olabilir.

Metal malzemelerde yorulma olayı birçok değişik şekilde görülür:

- Çentiklerde yorulma,
- Haddeleme kontak yorulması,
- Titreşimli aşınma yorulması,
- Korozyon yorulması,
- Sünme-yorulması.

Düşük genlikli gerilmeler altında uzun sürede oluşan ve ömürleri 100.000 tekrardan fazla olan yorulmalara, yüksek tekrarlı yorulma denir [36]. Yüksek genlikli gerilmeler altında kısa sürede meydana gelen ve ömürleri genellikle 100.000 (10-100.000) tekrardan az olan yorulmalara ise, düşük tekrarlı yorulma denir. Metallerde yorulmaya etki eden birçok etken vardır:

- Gerilme halleri: Gerilme genliği, gerilme yığılması, ortalama gerilme, kayma gerilmeleri vb.
- Malzeme kalitesi ve türü: Yorulma ömrünü etkileyen en temel etkendir, malzeme türüne göre büyük farklılıklar gösterir.

- Çekme ve akma dayanımı: Daha yüksek mukavemetli malzemeler deformasyona daha fazla dayanır ve bu nedenle daha uzun ömürlerde daha yüksek yorulma dayanımına sahip olurlar. Çoğu sünek malzeme kısa ömürlerde daha iyi performans gösterir.
- Artık gerilmeler: Kaynak, döküm, ısıt işlemler gibi işlemler sonucunda malzeme iç yapısında oluşan artık gerilmeler yorulma ömrünü olumsuz yönde etkiler.
- Tane büyüklüğü: Metal malzemelerde küçük tane büyüklüğüne sahip parçaların yorulma ömürleri daha uzun olmaktadır.
- Sıcaklık: Çok düşük veya çok yüksek sıcaklık değerleri malzemenin yorulma ömrünü azaltıcı yönde etki eder.
- Ortam koşulları: Korozyon, gaz ortamı gibi çevre koşulları malzemenin yorulma ömrünü etkiler.

Yorulma mekanizması gereği, bir malzemede bir noktada oluşan stres dalgalanması sonucunda meydana gelen çatlakların sebep olduğu kalıcı ve yapısal değişim süreci olarak tanımlanır. Yorulma çatlakları genellikle imalat işlemleri sırasında ortaya çıkmış bir çentikte başlar ve bu bölgede döngüsel zorlanma nedeniyle yüksek stres konsantrasyonuna sebep olur.

Malzemelerde yorulma üç aşamalıdır:

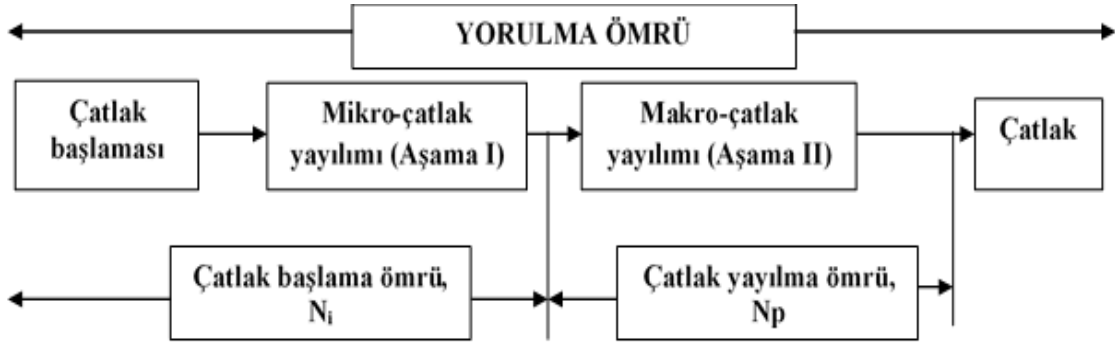
1. Yorulma sonucunda çatlak oluşumu,
2. Çatlağın yayılması,
3. Meydana gelen çatlağın kontrolsüz yayılması sonucu malzemede meydana gelen ani kırılma.

İlk aşama kısa süreli olabilir, ikinci aşama malzeme ömür süresini kapsar ve üçüncü aşama ise anlık olarak karşımıza çıkar.

Yorulma çatlağını başlatmak için gereken döngü sayısı yani yorulma çatlağı başlama ömrü N_i şeklinde ifade edilir. Yorulma çatlağını kritik bir boyuta yaymak için gereken döngü sayısı yani yorulma-çatlak yayılma ömrü N_p şeklinde ifade edilir. Toplam yorulma ömrü olan N_t , başlama ve yayılma ömrünün toplamı Denklem (6.1) de şöyle ifade edilir:

$$N_t = N_i + N_p \quad (6.1)$$

Toplam yorulma ömrü, Şekil 6.1'de görüldüğü gibi şematik olarak gösterilebilir.



Şekil 6.1: Toplam yorulma ömrünün aşamaları.

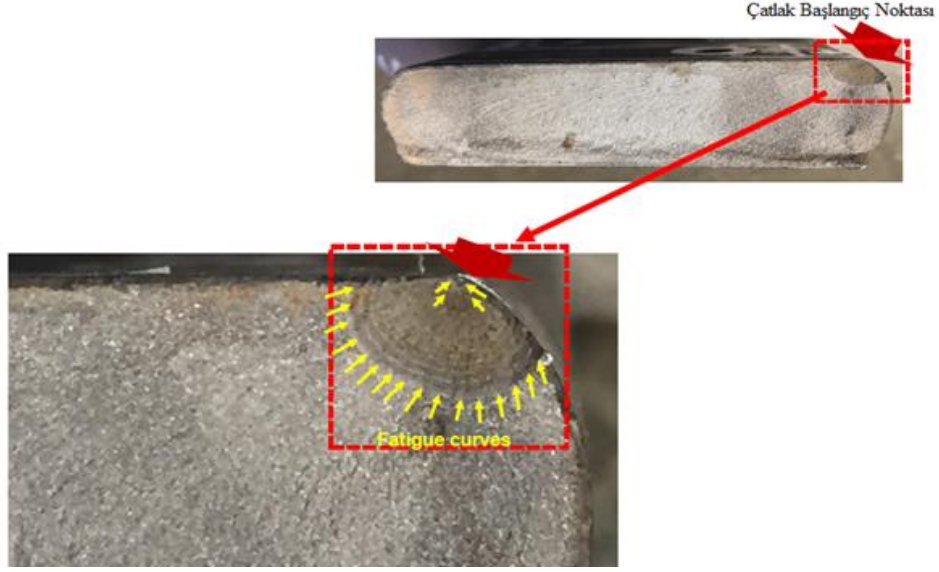
Bununla birlikte, yorulma çatlak başlangıcı ile yayılma arasında kesin bir sınır yoktur. Ayrıca, malzemede önceden var olan bir çentik (veya çatlak), yorulma çatlak başlatma ömrünü azaltabilir veya ortadan kaldırabilir ve böylece malzemenin toplam yorulma ömrünü azaltabilir.

Yukarıda belirtildiği gibi, malzemenin yorulma ömrü, bir yorulma çatlak başlatmak ve çatlak kritik olmayan boyutlardan kritik boyuta geçirmek için gereken geçen döngülerin toplamı ile belirlenir. Sonuç olarak, malzemenin yorulma ömrünün üç sürekli aşamadan oluştuğu düşünülebilir [36]:

1. Yorulma çatlak başlangıcı,
2. Yorulma çatlak yayılımı,
3. Kırılma.

Kırılma aşaması, malzeme ömründeki terminal koşullarını temsil eder. Döngüsel olarak malzemenin kullanım ömrü, bu üç aşama ayrı ayrı değerlendirildiğinde ve her aşamadaki döngüsel davranış iyice anlaşıldığında belirlenebilir.

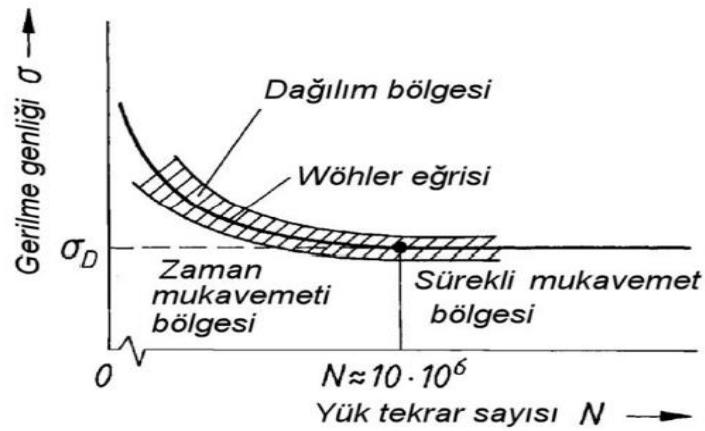
Yorulma kırıklarının yüzeylerinde tekrar çizgilerini görmek mümkündür. Bu kırılma yüzeylerinde, tıpkı ağaç gövdelerinde oluşan yaş halkaları gibi duraklama ve tekrarlama çizgileri oluşur (Şekil 6.2).



Şekil 6.2: Yorulma kırığı yüzeyi.

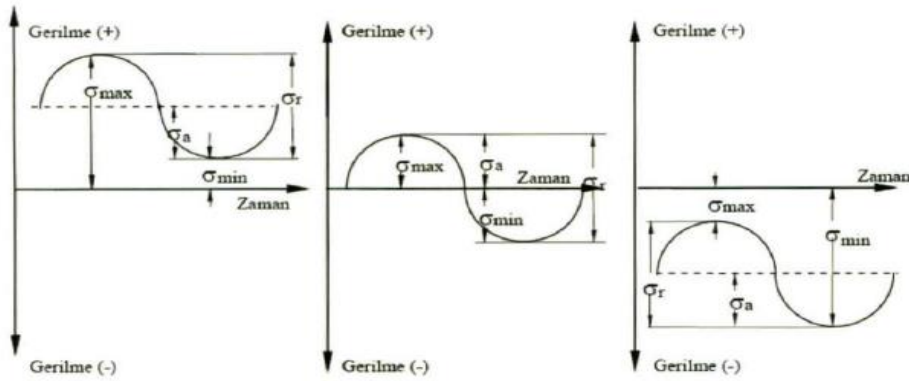
Metal malzemelerde yorulma kırığı yüzeyi, diğerlerinden kolayca ayırt edilebilir [10]. Çatlak ilerledikçe açılan yüzeyler birbirine sürtünerek o yüzeyleri parlak bir görünüm haline getirir. Bu çatlak oluşan yüzey bir süre sonra kendisine uygulanan yükü taşıyamaz hale gelir ve ani bir şekilde kırıldıktan sonra yüzeyi kaba bir görünüme bürünür.

Yorulma konusunda sistematik olarak ilk incelemeleri 1852-1870 yılları arasında Alman mühendis August Wöhler gerçekleştirmiştir [37]. Wöhler eğrisi olarak da bilinen ve hala günümüzde kullanılan “S-N” eğrileri, malzemenin yorulma sonucunda hasara uğradığı çevrim sayısına karşılık gelen malzemeye uygulanan gerilme genliğinin büyüklüğünü gösterir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3: Wöhler eğrisi [37].

Malzemelerin yorulma testlerinde, malzemelere zamanla değişen sinüzoidal dalgalı gerilmeler yüklenir [10]. Bu yorulma testleri, yorulma ömür test cihazlarında gerçekleştirilir. Bu cihazlarda malzemeye uygulanan yük artarak maksimum değere ve azalarak minimum değere ulaşır. Malzeme kırılmaya kadar bu sinüzoidal dalgalı gerilme döngüsü devam eder. Malzemenin kırılmasına kadar geçen süre yorulma ömrü olarak tanımlanır. Yorulma testleri genellikle sinüzoidal yük uygulanarak yapılır. Bu sayede yorulma testlerinde maksimum ve minimum gerilmeler belirtilerek gerilme genliği (σ_m), ortalama gerilme (σ_{ort}), gerilme aralığı (σ_a) ve gerilme oranı R gibi parametreler basit bir şekilde belirlenebilir. Yorulma olayı gerçekleşirken gerilme hem bası yönünde hem de çeki yönünde değişken bir şekilde etki eder (Şekil 6.4).



Şekil 6.4: Yorulma olayında ki gerilme-zaman eğrileri [10].

Yaprak yaylarda ise yorulma ömrü, yaprak yayın kırılmadan gerçekleştirdiği toplam çevrim sayısı ile açıklanır [23]. Yaprak yayların yorulma ömürlerin de, yaprak yayın fiziksel boyutlarını değiştirmeden, ön yükleme, kumlama ve stresli kumlama işlemleri ile büyük ölçüde artışlar elde edilir. Ve bu malzemeye ön gerilme verme işlemleri, yaprak yayın ömrünü arttırmak için malzemedeki değişikliklerden bile daha etkili bir yöntemdir.

6.2 Yaprak Yaylarda Yorulma

Yaprak yayların deneysel yorulma ömrü tahmini zaman alıcı bir işlemdir. Yaprak yaylar alanında çalışan mühendisler her zaman alternatif yorulma ömrü değerlendirme yöntemlerini formüle etmede zorluk çekerler.

Malzeme işleme, yükleme, yüzey, boyut ve çevresel faktör gibi yorulma ömrünün artmasından sorumlu bir dizi faktör olduğu için, yorulma ömrünün bu faktörler göz önüne alınarak belirlenmesi gerektiği belirleyicidir. Yaprak yay tasarımı alanında çalışan

mühendisler, güvenilir ve daha az zaman harcayan bir yorulma ömrü değerlendirme yöntemi geliştirmek için birçok zorlukla karşı karşıyadır. Her ne kadar analitik veya simülasyon teknikleri yaklaşık bir yorulma ömrü sağlasa da, bu sonuçların deneysel testlerle doğrulanması zorunludur.

Saelem ve diğ. [38] yaprak yay modelini simülasyon etmişlerdir. Statik yükleme koşulu altında yaprak yayların düşey statik sapmasını ölçebilecek bir yaprak yay test kulesi kullanılarak deneysel bir yaprak yay modelini doğrulamışlardır. Sonuçlar, uygulanan yük ile yaprak yayları arasında her iki yükleme yönü için bir histerisiz döngüsü şeklinde sapma olan doğrusal olmayan bir ilişki göstermiştir.

Refngah ve diğ. [39] süspansiyon sistemindeki çok katlı yaprak yayların, parabolik yay ile değiştirilme olasılığı ve kabiliyeti üzerinde çalıştı. Her iki yayın gerilme dağılımını ve davranışını analiz etmek için sonlu elemanlar metodunu kullandı. Ardından, zaman geçmişleri servis yükleme verileri analiz edildi ve malzemenin yorulma ömrünü tahmin etmek için hasar alanı simülasyonu edildi. Simülasyon sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı ve doğrulandı.

Normalde malzemede meydana gelen yorulma belli bir elastik stres altında gerçekleşir. Malzemede meydana gelen bu hasar zarar görmüş bölgelerde çatlakların başlamasına ve daha sonra yayılmasına neden olur. Bu nedenle, stres konsantrasyonu ne kadar şiddetli olursa, yorulma çatlaklarının başlaması için geçen süre de o kadar kısa olur.

Bölüm 5.12’de anlatıldığı gibi ön yükleme işlemi, yaprak yayların katlarını bir miktar akmaya zorlayarak makasların kat yüzeylerinde ön gerilme oluşturma yöntemidir. Ancak yaprak yayların yorulma ömrünü arttırmak için en etkili yöntemler serbest halde kumlama ve özellikle stresli kumlama işlemleridir.

6.3 Yaprak Yaylarda Kumlama İşlemleri

Kumlama prensibi, malzemelerde var olan iç gerilmelere ve çatlaklara karşı yüzeyde direnç oluşturma prensibidir [40]. Diğer bir deyişle kumlama işlemi sayesinde yaprak yayların yüzeylerine gerilim kuvvetlerinden oluşan bir zırh giydirilmiş olur. Kumlama (bilyalı dövme) işlemi, tüm dünyada kullanılan bir işlemdir; yorulma dayanımını arttırmak, yüzeyleri parlatmak ve pürüzsüzleştirmek, yüzeydeki kiri pası temizlemek ve yüzeyi

sertleştirmek için kullanılır. Eğer kumlama işleminde aşındırıcı (partikül) malzeme olarak yuvarlak çelik bilya kullanılıyor ise bu işlem bilyalı dövme olarak da adlandırılır. Bilyalı dövme işleminin amacı, yorulma mukavemetini arttırmaksa, indüklenmiş artık bası gerilmesi ana faktördür. Yorulma çatlakları çeki yüzeyinde başladığı için çeki yüzeyinde ki artık bası gerilmesi ne kadar artarsa dayanıklılıkta o kadar artar. Kumlama işlemi, özel kumlama makineleri ile yapılır. Kumlama makinesi, yaprak yay katlarının uzunlamasına eksenine belirli bir açıyla monte edilmiş en az 2 türbin çarkına sahip olmalıdır. Eğer aynı anda birden fazla yaprak kumlanacak ise (iki fikstür de iki adet yaprak), yaprakların tüm yüzeyini daha iyi ve homojen bir şekilde kumlamak için kumlama makinesinde 4 türbin olması daha uygun olur.

Yaprak yaylarda bilyalı dövme (kumlama) işlemi, serbest halde kumlama ve stresli kumlama olmak üzere iki şekilde uygulanır.

6.3.1 Serbest Halde (Normal) Kumlama İşlemi

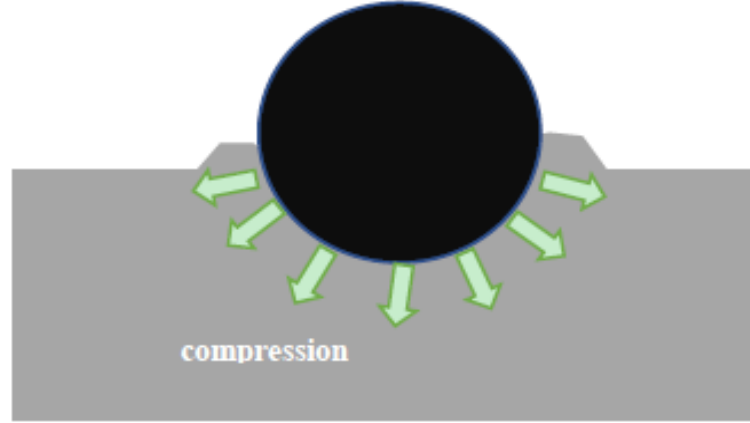
Kumlamanın çok genel bir tanımı şöyledir: Kumlama (teknik olarak), gerekli sertlikte bir partikülün parça yüzeyi ile etkileşimidir [40]. Eğer püskürtülen partikül çelik kumlar yuvarlak bir şekle sahipse, buna bilyalı dövme (shot peening) denir. Bu etkileşim tanımlanan üç durumdan oluşur:

- Sertleştirme çalışması (1)
- Artık bası gerilmelerinin indüklenmesi (2)
- Belirli bir pürüzlülük verilmesi (3)

Sertleştirme çalışması (1) yalnızca burada ele alınan yüksek çekme dayanımı (gerilme mukavemeti) için ihmal edilemez. Ana işlem ise iki numaradır.

Bilyalı dövmenin (kumlamanın) başlıca nedeni artık bası gerilmelerinin indüklenmesidir (2). Yüksek sertlikte baskın olan mekanizma, söz konusu yüzeyde dik kuvvetin yarattığı etkinin bir sonucu olan Hertz basıncıdır. Bu etki, yüzeyde bir çukur oluşturur. Malzemenin bir kısmı yüzey boyunca itilir (Şekil 6.5). Kuvvetin (baskının) geri kalanı, akma dayanımına ulaşabilen ve akma dayanımından daha fazla olan bir bası gerilmesi verir. Sonuç, malzemenin bölgesel plastikleşmesidir. Kayma (kesme) gerilmesinin oluşması, artık bası gerilmelerinin indüklenmesi için önemli bir faktördür. Kayma (kesme) gerilmesinin

maksimum değeri, kum partikülünün yarıçapının yaklaşık yarısıdır. Bu nedenle, eğer güçlü bir sertleşme işlemi varsa bu değer maksimumdur.



Şekil 6.5: Kumlama işleminde yuvarlak çelik bilyanın malzeme yüzeyine etkisi.

Normalde 300 mikrometre (μm) derinlikte malzemedeki plastik şekil değiştirme sona ermektedir, çünkü Hertz basıncı teorisi bu profilin şeklini ve derinliğini belirlemektedir [40]. Kinetik enerji, yalnızca bası gerilmesinin sınırına kadar olan miktarı verir. Yay çelikleri için bu sınır, çekme dayanımının (gerilme dayanımının) $2/3$ ' üdür. Kumlanacak parça ile partikül arasında sertlik farkının olması önemlidir. Çok yumuşak aşındırıcı partiküllere sahipseniz, sadece elastik bir etkiye sahip olursunuz ve büyük bir plastik etki olmaz. Kumlama kumunun (bilya) sertliği, yaprak yayın katlarının sertliğinden daha yüksek olmalıdır. Bu nedenle, akma gerilmesi 1750 Mpa'a kadar olan yaprak yaylar için 640 HV'lik (vickers sertliği) bir bilya sertliği uygundur. Daha yüksek mukavemet değerleri için bilya sertliği 670 HV'ye yükseltilmelidir.

Pürüzlülük (3), partikülün boyutu ve hızı arttıkça artar [40]. Kinetik enerjide, hızın karesinin alındığını ve partikül çapının üçte biri olduğunu unutmayın. Yüksek pürüzlülük, çatlak başlamaları için daha yüksek bir risk oluşturur. Daha yüksek artık bası gerilmesinin elde edilmesi, daha fazla pürüzlülük oluşturacağı için dayanımın azalmasına neden olabilir. Dayanıklılık konusunda daha iyi bir performans elde etmek için iki yöntem uygulanabilir. İyi bir kumlama için, ideal bilya çapı 0.8 veya 0.9 mm olmalıdır. Daha büyük bir bilya çapı kullanılmış ise (örneğin 1,2 mm), ilk kumlamadan sonra yüzeyi düzeltmek için daha küçük bilya çapına sahip bilyalar ile (örneğin 0,4 mm) ikinci bir kumlama işlemi yapılmalıdır. Sonuç olarak, ilk yapılan kumlama artık gerilmelerin optimizasyonu içindir, daha küçük

çaplı bilyalarla yapılan ikinci kumlama işlemi ise büyük çaplı bilyalarla yapılan kumlama sonucunda ortaya çıkan pürüzlü yüzeyin dezavantajlarını önlemek içindir. İkinci yöntem ise, daha yüksek bir sıcaklıkta (örneğin 300°C) kumlama yapmaktır. Pürüzlülük artacaktır, fakat aynı zamanda artık bası gerilmesi de önemli ölçüde artacaktır. Ek olarak, bu artık gerilmeler yüksek dinamik yüklerde daha uzun süre dayanır.

Kumlama ve artık gerilmeler alanında, bölgesel dayanıklılık kavramı önemlidir [40]. Çatlak başlangıçlarını çok iyi açıklar. Yüksek gerilme dayanımı ($R_m > 1500$ MPa) için, artık bası gerilmeleri dayanıklılığı arttırmıştır. Katsayı $m = 0.33$ tür, bu da 100 MPa daha artık bası gerilmesi anlamına gelir artık gerilmeler sayesinde, malzeme 33 MPa daha fazla yorulma sınırı verir.

Artık bası gerilmesi, derinliğe bağlı olarak düzgün (tekdüze) değildir [40]. Bu konuda bölgesel dayanıklılık kavramı derlenmiştir. Sonuç olarak, yüksek artık bası gerilmelerinde, çatlak başlaması ihtimalinin azalacağı ya da bu bölümde daha düşük yüklemeye gerilmelerinde bu ihtimalin ortadan kalkacak olmasıdır.

Bilyalı dövmenin çok önemli bir yönü aşağıdaki durumdur: Eğer daha yüksek dayanıklılık gerekmiyorsa, yük arttırılabilir veya bileşenlerin ağırlığı sırasıyla azaltılabilir [40]. Otomotiv endüstrisindeki birçok bileşen, önemli ölçüde ağırlık azalmasına neden oldu. Çoğunlukla, dayanıklılığı arttırmak için iki yol vardır sırasıyla, ağırlığın azaltılması veya malzemenin sertliğinin arttırılması ve artık bası gerilmelerinin arttırılmasıdır. Yaprak yaylarda kumlama işleminden tam olarak verim alabilmek için, stresli kumlama denilen özel bir proses geliştirildi (bkz. Bölüm 6.3.2).

Bilyalı dövmenin tüm yönleri iki tanıda özetlenebilir:

“Genel olarak, bilyalı dövme soğuk bir işlemdir [40]. Bu işlem, plastik deformasyonlar sırasında dislokasyon yoğunluklarını artırarak metalik bileşenlerin yüzeyini güçlendirmek için kullanılır. Ayrıca yüzeye yakın artık gerilmeler iyileşmiş ve yüzey topografyası değiştirilmiştir. Kumlamada, yüzey yuvarlak çelik bilyalardan, cam veya seramik parçacıklar tarafından etkilenir.”

DIN 8200 kumlamayı, belli kumlama ortamındaki, yeterli sertliğe sahip çeşitli türdeki kumlama cihazlarında hızlandırılan kum partiküllerinin, işlenen iş parçasının yüzeyi ile

etkileşime giren mekanik yüzey işleme işlemleri olarak tanımlar [40]. Yüzeye yakın artık bası gerilmelerin oluşumu, bilyalı dövme işleminin (kumlama işleminin) ana odağıdır.

Kumlama işlemi için çelik bilyalar yerine yuvarlak tel kesmelerin kullanılması önerilir [40]. Çelik bilyalar maliyet yönünden daha ucuz olmasının yanında döküm malzemesi olduğu için yüksek mukavemetli tokluğu çok düşüktür. Bu yüzden kumlama sırasında çelik bilyalar çok hızlı bir şekilde ikiye bölünür ve haliyle kumlama kinetik enerjisinin sadece yarısı ortaya çıkmış olur. Ancak firmalar, yuvarlak tel kesmenin çelik bilyalara göre çok daha maliyetli olmasından dolayı kumlama işlemlerinde genellikle çelik bilyaları tercih ederler.

Kinetik enerji, artık gerilmelerin miktarı ve derinliği için önemli bir parametre olduğundan, artık gerilmelerin kötü sonuçlanmasına yol açar [40]. Yuvarlak kesilmiş tel çok daha dayanıklıdır, bu yüzden daha zor parçalanmaktadır. Çarpmanın etkisiyle yuvarlak kesilmiş telin sadece yüzeyleri aşınır, böylece çap küçülür ancak bu çok daha fazla zaman alır ve çok küçük taneler haline gelene kadar tel kesme işlevini sürdürmeye devam eder. Ortadan ikiye ayrılmış çelik bilyalar hala orijinal çapa sahip oldukları için elenemezler buda kumlama veriminin düşmesine neden olur. Kumlama işleminde kullanılan aşındırıcı partikül çeşitleri ve standartları Tablo 6.1’ de verilmiştir.

Tablo 6.1: Kumlama işleminde kullanılan partikül çeşitleri [40].

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

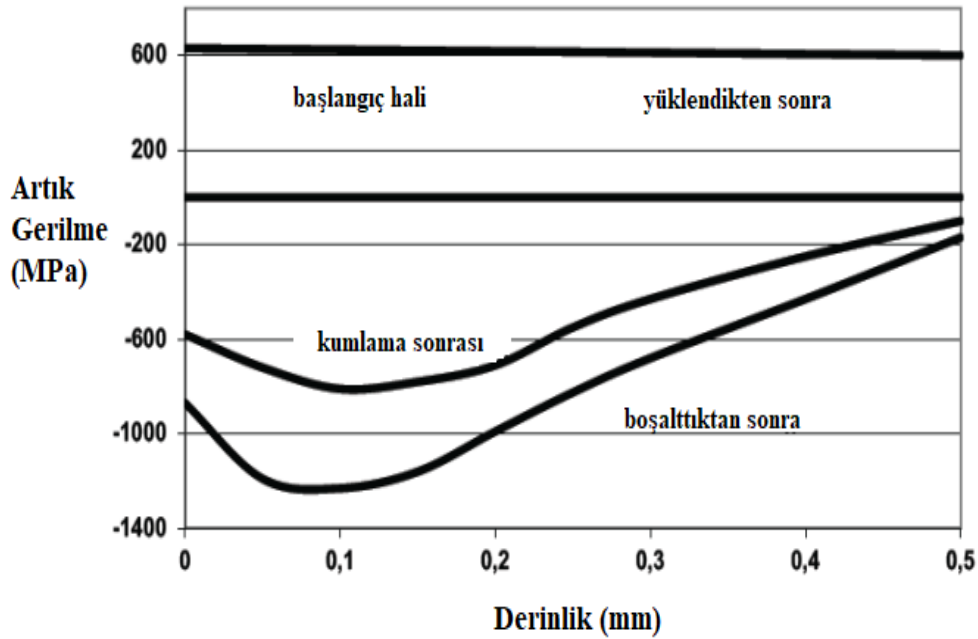
6.3.2 Stresli Kumlama İşlemi

Kumlama işleminden tam olarak verim almak isteniyorsa, yapılar kumlama öncesi kesinlikle yükleme yönünde gerilmeye tabi tutulmalıdır [40]. Eğer parça kumlama sırasında

çeki gerilimi altındaysa buna stresli kumlama denir. Stresli kumlama işlemi için üç farklı ön gerilme tipi vardır:

- Tüm kesit boyunca saf çeki gerilimi.
- Yüzey katmanındaki bazı kısımlarda gerilme şiddetini etkileyen eğilme gerilmesi.
- Burulma eksenine, 45°'lik açı yönündeki yüzey üzerinde gerilme veren burulma gerilmesi.

İş parçası yükleme yönünde yüklenir [40]. Yüklemenin miktarı önemlidir, çünkü bu yükleme miktarı elde edilen artık bası gerilmesinin yüksekliğinden sorumludur. Yükleme koşulları altında, kumlama işlemi gerçekleştirilir. Normal koşullarda istifade ettiğimiz kumlama işleminin, bir artık gerilme profili oluşturulmuştur. Stresli kumlama işlemi sonunda, gerilme boşaltıldıktan sonra artık bası gerilme miktarında ve derinliğinde artış meydana gelmiştir. Bu basit ve bir o kadar da etkili bir işlemdir. İşlem sırasında artık gerilme gelişimi, Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



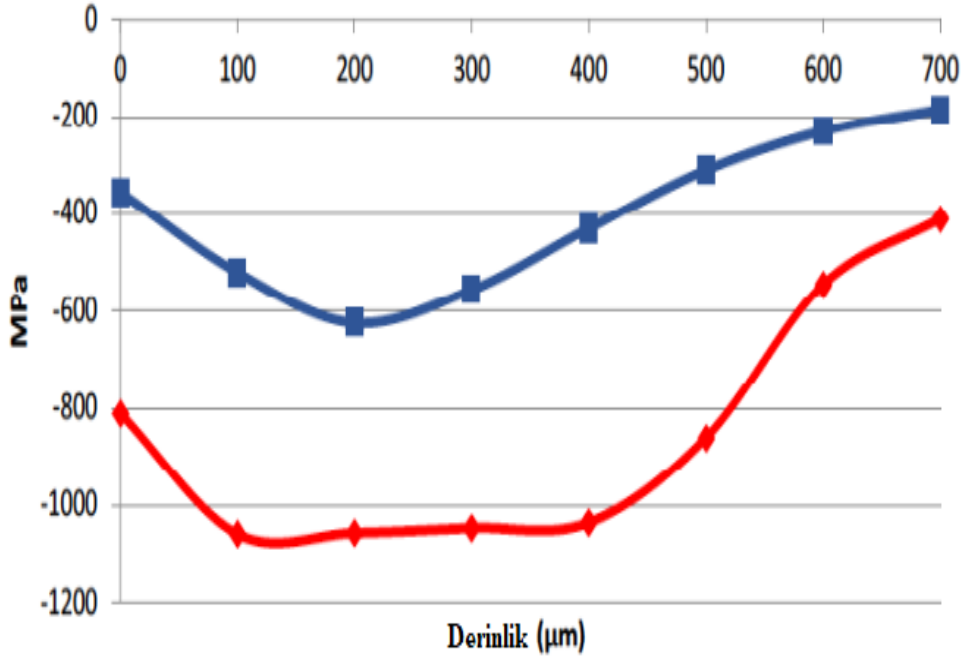
Şekil 6.6: Stresli kumlama işleminde artık gerilme gelişimi [40].

Dikkate alınması gereken bazı önemli hususlar vardır [40]. Elde edilen artık bası gerilmesi miktarı, bileşendeki başlangıç artık gerilmesinden bağımsızdır. Bunun anlamı, yüzey tabakalarında çekme işleminden önce yüksek çeki gerilmeleri varsa, daha sonra aynı artık

bası gerilme dağılımını alırsınız. Tek şart, kumlama süresinin yeterince uzun olması ve normal şartlarda olduğu gibi olmasıdır, daha uzun olmamalıdır.

Stresli kumlama, normal kumlama ile karşılaştırıldığında daha yüksek pürüzlülük değerlerine neden olmaz [40]. Bu başka bir büyük avantajdır. Eğer yaprak yay iki kez stresli kumlama tabii tutulmak istenirse, daha küçük ön gerilmeler uygulanmalıdır. Aksi takdirde stresli kumlamanın etkisi performans bölgesinde kaybolur. Stresli kumlama, kumlamanın etkisi ön gerilmeden bağımsızdır. Ayrıca gerilme altında sıcak kumlama işlemi de yapılabilir. Stresli sıcak kumlama ile elde edilen artık gerilmeler yüksek dinamik yüklerde daha kararlıdır.

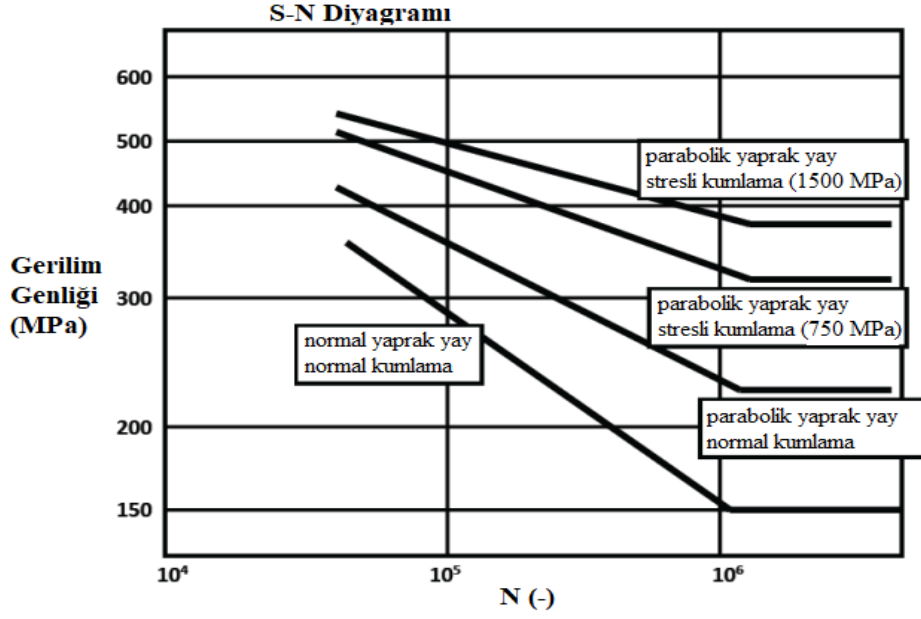
En eski stresli kumlama uygulaması, yaprak yaylara yapılan stresli kumlama işlemidir [40]. Yaprak yaylara uygulanan stresli kumlama genellikle eğilme gerilmesinin kullanıldığı bir örnektir. Yaprak yayların kat kalınlıkları, gerilmeyi tüm yüzeyde homojen olarak dağıtabilmek için parabolik olarak inceltilmiştir. Yaprığın şekli, kalınlığın parabolik bir fonksiyonuna sahiptir. Bu nedenle, bu yaylara parabolik yaprak yaylar denir. Her biri önceden gerilen parabolik yaprak yaylarda, ön gerilim ile ilgili çok yüksek bir sınır vardır. Daha derin bölgelerde plastikleşme ve daha derin bölgelerde maksimum seviyede artık bası gerilmesi elde etmek için, yaprak yay çekme dayanımının daha üstünde bir değerde gerilir. Makasa uygulanacak teorik eğilme gerilmesi, malzemenin çekme dayanımının bir miktar üzerinde olmalıdır. Bu yüzden, örneğin 1450-1600 MPa akma sınır aralığı olan bir malzeme için, 1600-1650 MPa'lık teorik bir eğilme gerilmesi önerilir. Aynı şekilde eğer malzeme 1750 MPa'lık bir akma gerilmesine kadar dayanabiliyorsa, teorik eğilme gerilmesinin 1750 MPa seçilmesi daha uygun olur. Bu bilgiler pratikte, yaprak yayın yeterli bir plastik deformasyona sahip olduğunu garanti eder. Bu konu, malzeme yüzeyinde ve belirli derinliklerde yorulma ömrünü uzatacak yönde maksimum artık gerilmeler oluşması için önemlidir. Şekil 6.7' de, normal kumlama ve stresli kumlama yapılmış bir yaprak yayda ölçülen artık gerilme dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 6.7: Normal kumlama (mavi) ve stresli kumlama (kırmızı) yapılmış yaprak yayın artık gerilme dağılımı [40].

Daha derin bölgelere sabit miktarda gerilme uygulayan bir artık bası gerilme profiline sahipseniz bunu ayırt edebilirsiniz [40]. Çünkü her malzeme için ayrı bir elastik sınır mevcuttur. Yay çelikleri için bu değer, çekme dayanımının üçte ikisi kadardır. Şekil 6.7'de çekme dayanımı 1620 MPa' dır. Bu da malzeme yüzeyinde 100 ile 400 mikron arasında bir çukura neden olur.

Şekil 6.8'de, stresli ve normal kumlama şartları altında, yığıma (normal) ve parabolik yaprak yayları karşılaştıran S-N diyagramı verilmiştir [40]. Şekil 6.8'deki diyagrama bakıldığında, parabolik yaprak yaylara uygulanan stresli kumlama işlemi sonucunda yorulma limitinde ki büyük artışı görmek mümkündür.



Şekil 6.8: Farklı şartlar altında yaprak yayların dayanıklılığını gösteren S-N diyagramı [40].

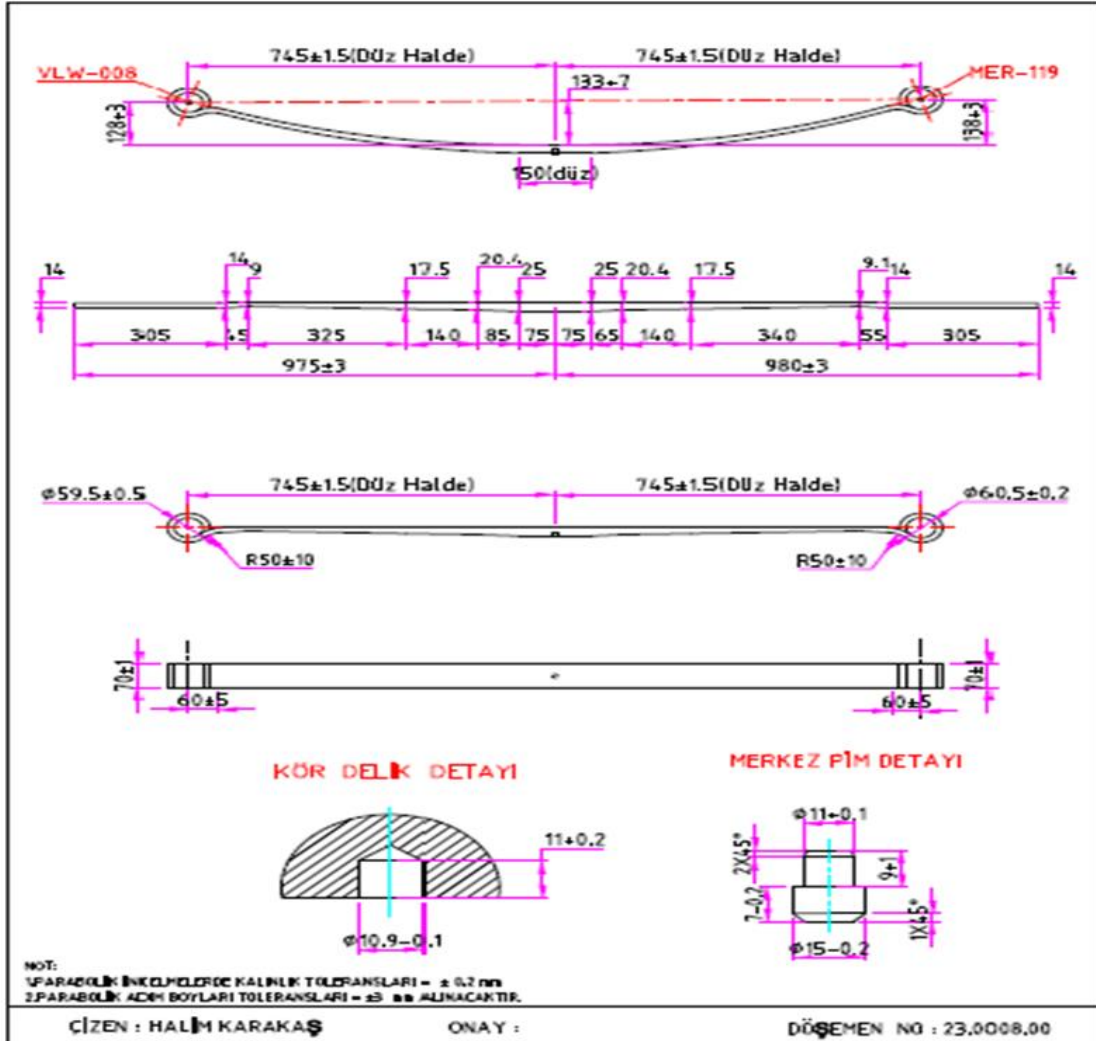
Stresli kumlama, az sayıda bileşen yelpazesi içeren özellikle yaprak yaylar gibi iş parçaları için çok iyi yapılandırılmış, yüksek verim sağlayan bir işlemdir [40]. Stresli kumlama işleminde, her farklı bileşen için ön gerilme ekipmanları ayrı ayrı kurulmalıdır. Yüksek sofistike bir süreç olan stresli kumlama işlemi, normal kumlama işlemi ile kıyaslandığında yorulma ömrünü 2 ila 3 kat arasında arttırabilir.

7. YAPRAK YAY NUMUNELERİNİN YORULMA TESTLERİ

7.1 Yaprak Yay Numune Özellikleri ve İmalatı

Yorulma testleri uygulanacak olan yaprak yay, VW CRAFTER hafif ticari aracının arka süspansiyon sisteminde bulunan 23.0008.00 (2NO511151R) makas koduna sahip tek katlı parabolik yaprak yaydır.

Malzemesi 55Cr3 ıslah çeliği olan (70x25) A profil lamadan yapılmış 1490 mm düz eksen uzunluğunda, 17.8 kg ağırlığında ki parabolik yaprak yayın ayrıntılı teknik resmi Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Yaprak yayın malzemesi olan 55Cr3 ıslah çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 7.1'de detaylı bir şekilde verilmiştir. Yaprak yayın imalatı ve testleri Balıkesir'de bulunan Döşemenler Otomotiv firmasında yapılmıştır.



Şekil 7.1: Yorulma testi uygulanacak numunelerin teknik resmi.

Tablo 7.1: 55Cr3 ıslah çeliğinin kimyasal kompozisyonu [33].

(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu+10Sn
max.	,59	,40	1,00	,025	,025	1,00	,60
min.	,52	*	,70	*	*	,70	*

Numunelerin imalat aşamaları:

- Malzemesi 55Cr3 olan (70x25) mm boyutlarındaki A profil lamalar, her birinin uzunluğu 1295 mm olacak şekilde kesim presinde kesilir.
- 1295 mm uzunluğundaki lamalar, 1000 °C sıcaklığında ki fırınlarda ısıtılıp parabolik çekme makinelerinde Şekil 7.1’de verilen teknik resimdeki parabolik incelmeler oluşturulacak şekilde haddelenerek lamaların uzunlukları 1955 mm yapılır.
- 1955 mm uzunluğundaki haddelenmiş lamaların eksenleri (975-980) mm olacak şekilde göbek kısmının tam merkezine 10,9 mm çapında 11 mm derinliğinde merkez pim kör deliği açılır.
- 975 mm uzunluğuna sahip olan eksen tarafının uç kısmı 1000 °C sıcaklığında ısıtılarak iç çapı 59,5 mm olacak şekilde makasın göz kısmı kıvrılır. Aynı şekilde 980 mm uzunluğuna sahip olan eksen tarafı ise iç çapı 60,5 mm olacak şekilde kıvrılarak makasın diğer gözü oluşturulur.
- Tüm boyutsal ölçüleri oluşturulan VW Crafter makası 1030 °C’deki tav fırınında 20 dakika kalacak şekilde tavllanır.
- Tavlama işlemi sonunda, makas tav fırınından çıktığı anda sıcak halde iken serbest kavisi 133 mm olacak şekilde form verilir.
- Formu verilen makas, sıcaklığı 35-40 °C arasında olan ısıtılma yağında ani olarak soğutulur.
- Ani soğutulan makas, 518 °C’deki menevişleme fırınında 105 dakika kalacak şekilde temperlenir.
- Temperleme işlemi sonunda makasın sertlik değerinin 388-461 HB arasında olup olmadığı sertlik ölçüm cihazı ile kontrol edilir.

İmalattan çıkan yaprak yayın görüntüsü Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2: Üretilen numunelerin örnek görseli.

7.2 Yaprak Yay Numunelerinin Yorulma Testine Hazırlanması

Yorulma testleri için, toplamda 6 adet Crafter makas numunesi üretilmiştir. Bu numunelerin hepsi aynı tür parabolik yaprak yaylardır. Numunelerin tümü aynı şartlarda, yukarıda anlatılan imalat aşamalarından sırasıyla geçerek üretilmiştir. Menevişleme işlemi sonunda numunelerin sırasıyla brinell sertlik değerleri ölçülmüştür. 6 adet yaprak yay numunesinin, 2 adedine herhangi bir kumlama işlemi uygulanmamıştır. 2 adet numuneye normal kumlama işlemi, son 2 adet numuneye ise stresli kumlama işlemi uygulanmıştır. Son 2 numuneye stresli kumlama işlemi uygulanacağı için bu 2 numunenin serbest kavisi diğerlerine göre daha yüksek tutulmuştur. Stresli kumlama işleminden tam olarak verim alabilmek için, makas çeki yüzeyinde 1400 MPa ila 1750 MPa arasında bir bası gerilimi oluşturmak gereklidir [40]. Denemeler sonucunda, stresli kumlama ile makasa 40 mm kavis kaybettirildiğinde bu bası gerilme değerleri yakalanmıştır. Bu yüzden stresli kumlama yapılacak 2 adet makasın serbest kavisi üretim sırasında 178 mm olarak belirlenmiştir.

7.2.1 Yaprak Yay Numunelerinin Sertlik Ölçümleri

Menevişleme işlemi sonunda, her bir numunenin göbek düzlük bölgeleri ölçüm yapılacak şekilde taşlanarak üç ayrı noktasından, 10 mm bilya çapına sahip BMS 300-OB marka sertlik ölçüm cihazı ile 3000 kg yük uygulanarak brinell sertlik ölçümleri yapılmıştır ve makasların sertlik değerleri belirlenmiştir. Ekler bölümünde, her numunenin sırasıyla sertlik raporları paylaşılmıştır (EK A-EK F).



Şekil 7.3: Numunenin sertlik ölçüm yüzeyi.



Şekil 7.4: Numunenin brinell sertlik değerinin ölçülmesi.

Yaprak yaylarda, menevişleme işlemi sonunda brinell sertlik değerlerinin 388-461 HB değerleri arasında olması istenir. Numunelerin ölçülen sertlik değerleri Tablo 7.2’de verilmiştir.

Tablo 7.2: Numunelerin brinell sertlik değerleri.

Numune Numarası	Sertlik Değeri (HB)
Numune-1 (N-1)	425,5
Numune-2 (N-2)	430,9
Numune-3 (N-3)	429,4
Numune-4 (N-4)	424,5
Numune-5 (N-5)	427,9
Numune-6 (N-6)	429,9

7.2.2 Yüksek Kavisli Numune Üretimi

Üretilen 6 adet numunenin, 2 adedine (N-1, N-2) herhangi bir kumlama işlemi yapılmamıştır. 2 adet numuneye (N-3, N-4) normal (serbest halde) kumlama işlemi, son 2 adet numuneye (N-5, N-6) ise stresli kumlama işlemi uygulanmıştır. N-5 ve N-6 makaslarına stresli kumlama işlemi uygulanacağı için bu numunelerin serbest kavisleri diğer numunelerin serbest kavislerinden daha yüksek üretilmiştir. Stresli kumlama işleminden tam olarak verim alınabilmesi için, makas çeki yüzeyinde 1400 MPa-1750 MPa arasında bir bası gerilimi oluşturmak gereklidir. Denemeler sonucunda, stresli kumlama ile makasa 40 mm kavis kaybettirildiğinde bu bası gerilme değerleri yakalanmıştır. Bu yüzden N-5 ve N-6 makaslarının merkez kavis 133 mm yerine 178 mm olarak üretilmiştir. Stresli kumlama işleminden sonra arda kalan 5 mm'lik kavis farkı ise ön yükleme işlemi ile düşürülmüştür. Bu makas çeşitlerinde üç kavis vardır. Normalde kavis 128 mm olan göz tarafı 173 mm, kavis 138 mm olan göz tarafı ise 183 mm olarak revize edilmiştir.



Şekil 7.5: Kavis 138 mm olan göz tarafının kavisinin 183 mm yapılmış hali.



Şekil 7.6: Kavisi 128 mm olan göz tarafının kavisininin 173 mm yapılmış hali.

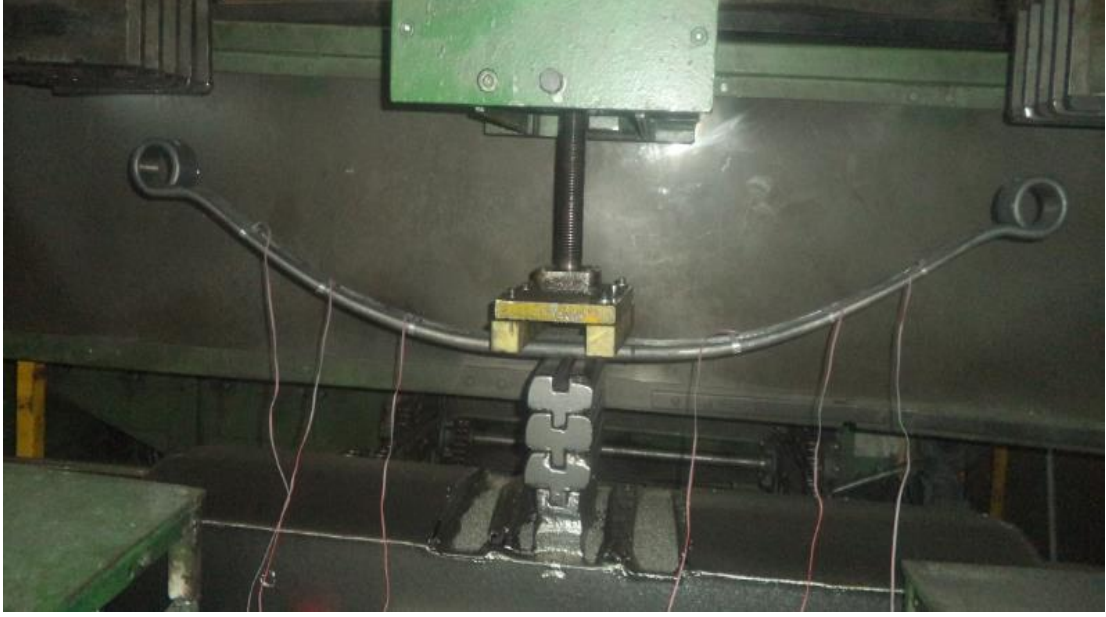
Kavis ölçüleri, mihengir vasıtasıyla ölçülmüştür. Makasın göbek düzlüğünün üst yüzeyi referans noktası seçilerek mihengirin ucu o noktada sıfırlanmıştır.

7.2.3 Stresli Kumlama İşleminin Uygulanması

Normal kumlama ve stresli kumlama işlemlerinde kullanılan kumlama makinası aynıdır. Tek fark, stresli kumlama işleminde makaslar presli özel bir düzenek vasıtasıyla gerilerek kumlama işlemine tabii tutulur. Normal kumlama işleminde ise makaslara herhangi bir gerilme uygulanmaz, makaslar serbest halde kumlanır.

N-3 ve N-4 makaslarına uygulanan kumlama işleminin şartları ile N-5 ve N-6 makaslarına uygulanan kumlama işleminin şartları, makaslara gerilme uygulama işlemi dışında tamamen aynıdır. N-5 ve N-6 yaprak yaylarının çeki yüzeylerinde (iç yüzeyler), minimum 1400 MPa gerilme oluşturulacak şekilde makaslar gerilim altında kumlanmıştır. Makas, kumlama işlemine girmeden önce gerilerek makas yüzeylerinde oluşan gerilme değerleri, strengaçler vasıtasıyla doğrulanmıştır. Strengaçler ile ölçüm yapılırken, Şekil 7.7’de de gösterildiği gibi üçü ön tarafta üçü arka tarafta olmak üzere 6 adet strengaç kullanılmıştır. 6 adet strengaçteki gerilme değerleri, yaprak yayın merkez ekseninden uzaklıklarına göre Tablo 7.3 ve Tablo 7.4’de verilmiştir.

Yaprak yay numunesi gerilmeden önce serbest kavisi, kat altından 203 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.7: Strengaç ölçümü.

Tablo 7.3: Yaprak yayın ön taraf strengaç ölçüm sonuçları.

Deplasman (mm)	200 mm (MPa)	350 mm (MPa)	500 mm (MPa)
185	161	153	140
155	402	386	362
133	658	628	606
101	881	849	823
73	1083	1058	1010
43	1299	1269	1238
18	1497	1488	1463
-12	1732	1727	1710

Tablo 7.4: Yaprak yayın arka taraf strengaç ölçüm sonuçları.

Deplasman (mm)	200 mm (MPa)	350 mm (MPa)	500 mm (MPa)
185	169	164	157
155	418	416	401
133	656	659	635
101	886	875	839
73	1078	1085	1061
43	1328	1334	1282
18	1516	1534	1503
-12	1768	1787	1753

Kumlama ve kumlama makinası ile ilgili bilgiler Tablo 7.5’de, kumlama makinasına ait görsel ise Şekil 7.8’de verilmiştir.

Tablo 7.5: Kumlama ve kumlama makinası bilgileri.

Kumlama Hızı (m/dak)	Türbin Akımı (Amper)	Almen Şiddeti (Almen A2)	Aşındırıcı (Kum) Tipi	Kum Çapı (mm)
3.5	45-60	0.18-0.45	Çelik Bilya	0.8-0.9



Şekil 7.8: Kumlama makinası.

N-5 ve N-6 makasları Şekil 7.9’da gösterildiği gibi gerilerek stresli kumlama işlemine tabii tutulmuştur. Stresli kumlama işlemi sonunda makaslar 40 mm kavis kaybederek serbest kavisleri 138 mm olmuştur. Arda kalan 5 mm’lik kavis farkı ise ön yükleme işlemi ile giderilerek makasların serbest kavisleri 133 mm değerine getirilmiştir. Ve böylece numuneler yorulma ömür testine hazırlanmış olur.



Şekil 7.9: Stresli kumlama işlemini için makas germe işleminin görseli.

Aynı zamanda kumlama işlemi sonrasında, yaprak yay yüzeyleri kirden, pasdan arınarak pürüzsüz ve parlak bir görünüme sahip olurlar. Şekil 7.10 ve Şekil 7.11’de bu görüntü farkı gösterilmiştir.



Şekil 7.10: Kumlama öncesi yaprak yay görünümü.



Şekil 7.11: Kumlama sonrası yaprak yay görünümü.

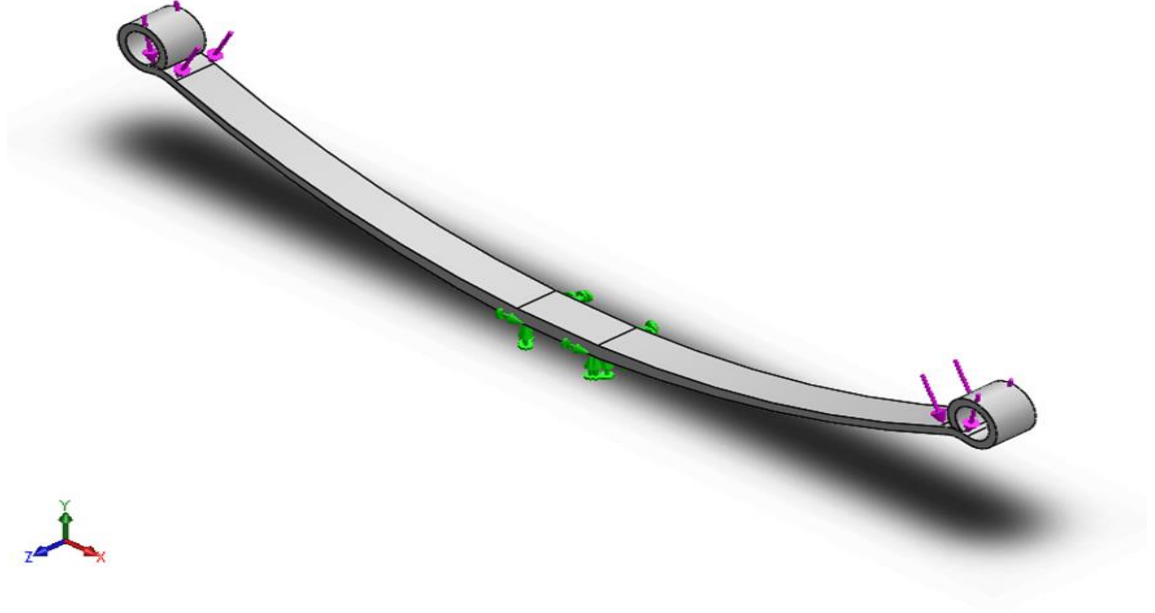
7.3 Gerilme Analizi

Solidworks Simulation 2017 programında sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi yapılarak fiziksel strenguç ölçüm sonuçları doğrulanmıştır. VW Crafter yaprak yayının Solidworks 2017 programında hazırlanmış katı modeli Şekil 7.12'deki gibidir.



Şekil 7.12: VW Crafter yaprak yayının katı modeli.

Yaprak yay göbek bölgesi olarak adlandırılan merkezinden sabitlenip göz bölgelerinden yük uygulanan Şekil 7.13’de gösterildiği gibi bir sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur.



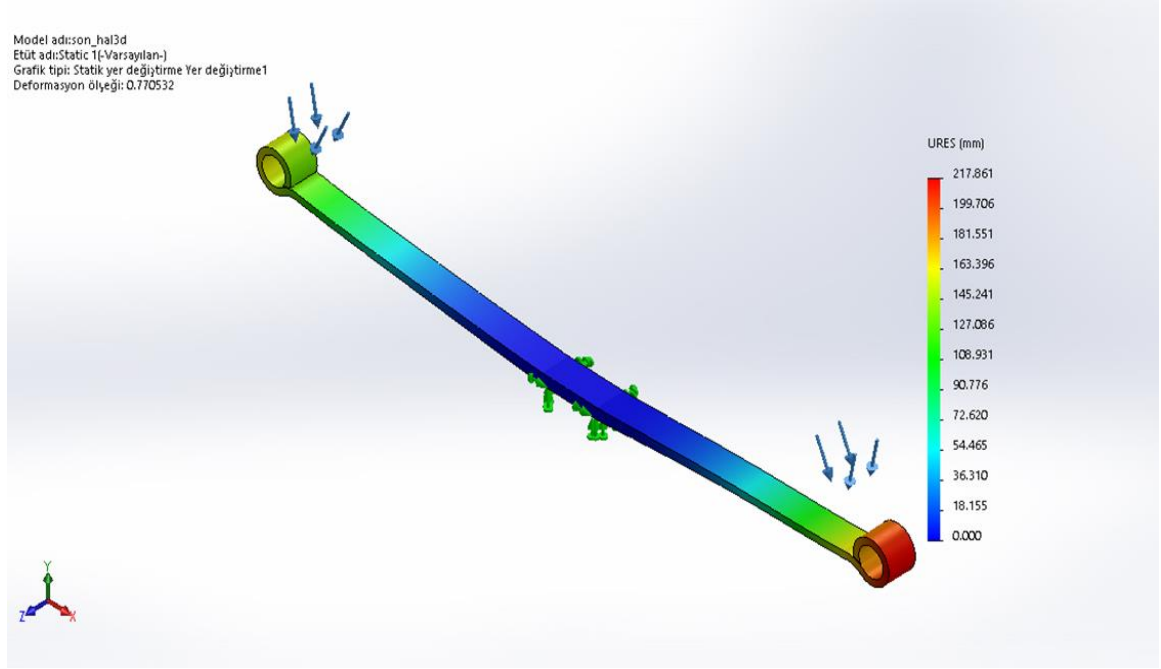
Şekil 7.13: Yaprak yayın sonlu elemanlar modeli.

Toplam düğüm sayısı 25689 olan Şekil 7.14’de gösterildiği gibi katı mesh işlemi yapılmıştır.

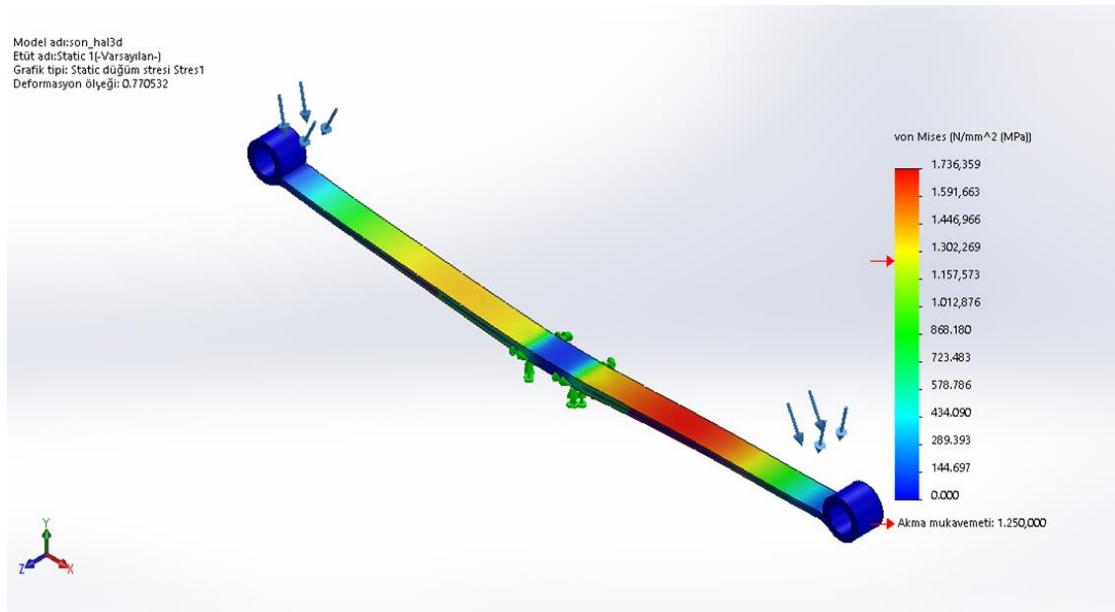


Şekil 7.14: Yaprak yayın mesh görüntüsü.

Fiziksel strengeç ölçüm sonuçlarında en yüksek 215 mm deplasman (yerdeğiştirme) değerine karşılık 1787 MPa gerilme değeri ölçülürken, analiz sonuçlarına göre Şekil 7.15’de görüldüğü gibi yaprak yayda 217.8 mm deplasman meydana geldiğinde 1736.3 MPa von Mises gerilmesi meydana gelmiştir (Şekil 7.16). Fiziksel ölçüm sonuçları ile sonlu elemanlar analizinde bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında doğrulamanın sağlandığı görülmüştür.



Şekil 7.15: Yaprak yayda meydana gelen deplasman.



Şekil 7.16: Yaprak yayda meydana gelen gerilme.

7.4 Parabolik Yaprak Yay Numunesinin Mukavemet Hesabı

Seçilen parabolik yaprak yayın kullanıldığı aracın süspansiyon sisteminin aks taşıma kapasitesine göre normal şartlarda bu yaprak yayın dizayn (tasarım) yükü 1115 kg olarak belirlenmiştir. Araç yüksüz durumda iken yaprak yaya etkiyen yük miktarı ise 335 kg'dır. Parabolik yaprak yayın, yorulma ömür testi de bu yükler arasında gerçekleştirilmektedir. Yaprak yayda meydana gelen maksimum eğilme gerilmesinin emniyet gerilmesinden küçük olduğu aşağıda gösterilmiştir.

Parabolik yaprak yaylarda meydana gelen gerilme aşağıdaki denklemden hesaplanır [23].

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot n \cdot w \cdot t^2} \quad (7.1)$$

Burada;

σ_{\max} : Yaprak yayda meydana gelen maksimum eğilme gerilmesi [MPa]

σ_{akma} : Akma gerilmesi [MPa]

σ_{emn} : Emniyet gerilmesi [MPa]

F: Yaprak yaya etkiyen en büyük yük [N]

n: Yaprak yay katsayısı

w: Yaprak yayın genişliği [mm]

t: Yaprak yayın göbek (merkez) kalınlığı [mm]

L: Yaprak yayın eksen uzunluğu [mm]

c: Emniyet katsayısı

Tablo 7.6: Seçilen parabolik yaprak yayın ürün bilgileri.

Yaprak Yay Bilgileri	Değerler
Tasarım yükü	$m_{\text{tasarım}} = 1115$ [kg]
Yaprak yay kat sayısı	$n = 1$
Yaprak yay genişliği	$w = 70$ [mm]
Yaprak yay göbek kalınlığı	$t = 25$ [mm]
Eksen uzunluğu	$L = 1490$ [mm]
Emniyet katsayısı	$c = 1.5$
Akma gerilmesi	$\sigma_{akma} = 1400$ [MPa]

$$F = m_{\text{tasarım}} \cdot g = 1115 \cdot 9,81 = 10938,15 \text{ [N]}$$

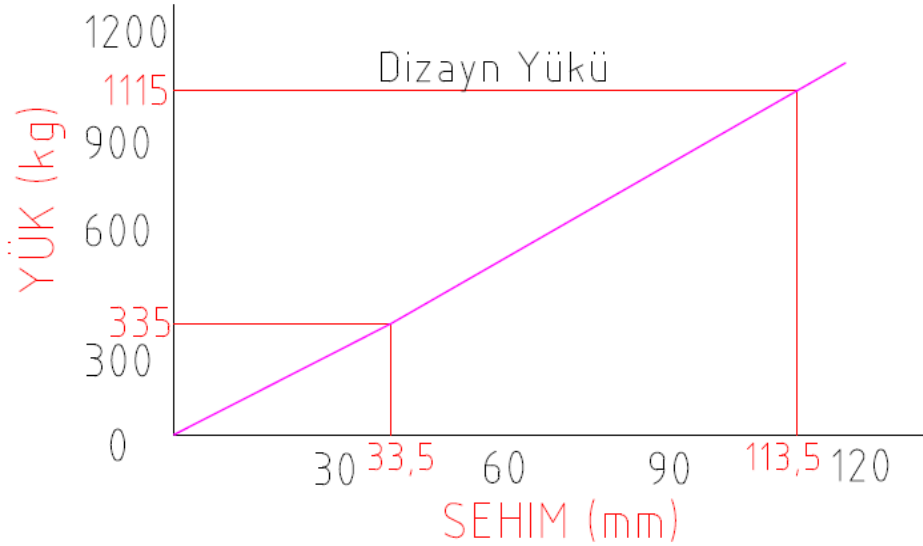
Tasarım eğilme gerilmesi:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot n \cdot w \cdot t^2} = \frac{3 \cdot (10938,15) \cdot 1490}{2 \cdot 1 \cdot 70 \cdot 25^2} = 558,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{emn.}} = \frac{\sigma_{\text{akma}}}{c} = \frac{1400}{1,5} = 933,3 \text{ Mpa}$$

558,8 MPa < 933,3 MPa olduğu için (UYGUN)

Teorik olarak yapılan mukavemet hesabı ile de yaprak yayın uygunluğu kontrol edilmiştir. Yaprak yaya uygulanan kuvvetin (yükün), yaprak yay üzerinde meydana getirdiği sehime oranına yay rijitliği (rate) denir. Üretilen VW Crafter yaprak yay numunelerine ait yay rijitliği grafiği Şekil 7.17’de verilip bu makasın yay rijitlik değeri hesaplanmıştır.



Şekil 7.17: VW Crafter parabolik yaprak yay numunesine ait yay rijitliği grafiği.

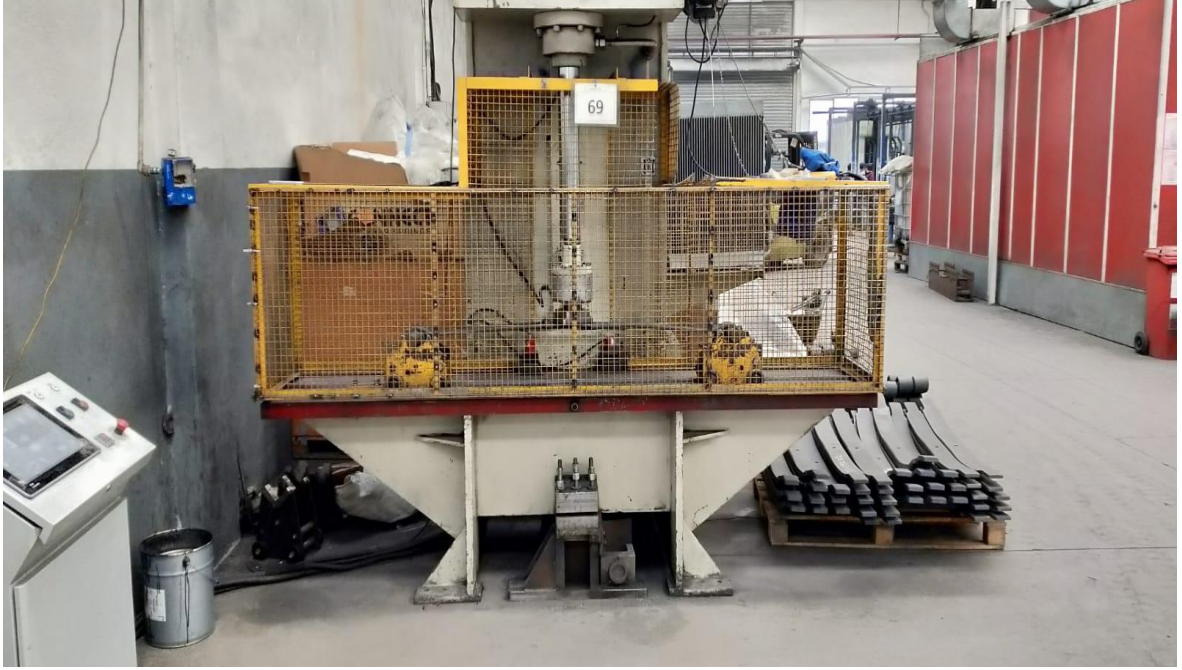
$$\text{Yay Rijitliği} = \frac{\text{Yük [kg]}}{\text{Sehim [mm]}} \quad (7.2)$$

$$\text{Yay Rijitliği} = \frac{1115 \text{ kg}}{113,5 \text{ mm}} = 9,8 \text{ kg/mm}$$

7.5 Parabolik Yaprak Yay Numunelerinin Yorulma Ömür Testi Uygulamaları

Üretilen parabolik yaprak yay numuneleri, Şekil 7.18’de gösterilen test düzeneğinde Tablo 7.7’deki değerler kullanılarak kırılana kadar test edilmiştir. Yaprak yayın araç altındaki hareketini sağlayabilmek için, Şekil 7.19’da görüldüğü gibi makas sol tarafta sadece dönme

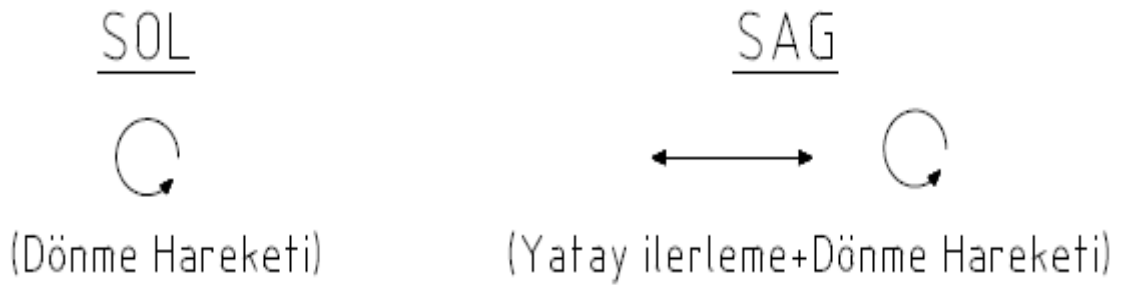
hareketi yapabilirken sağ tarafta hem yatay ilerleme hem de dönme hareketlerini gerçekleştirebilmektedir.



şekil 7.18: Yaprak yay yorulma test düzeneği.

Tablo 7.7: Test bilgileri.

Test Bilgileri	Değerler
Test Hızı	1 Hz
Max. Test Yuku	1115 kg
Min. Test Yuku	335 kg
Min. evrim Sayısı	300.000 cycle



şekil 7.19: Yaprak yayın araç altındaki hareketi.

Minimum çevrim sayısının 300.000 cycle girilmesinin nedeni, testin yaprak yay kırılana kadar devam etmesini sağlamaktır. 6 adet parabolik yaprak yayın hepsi kırılana kadar yorulma testleri yapılmıştır. Parabolik yaprak yay numunelerinin her biri için aynı test şartlarında yapılan 6 adet testin sonunda elde edilen yaprak yay yorulma ömür değerleri ve kırıldığı yerin merkezden uzaklığı Tablo 7.8’de verilmiştir.

Tablo 7.8: Yorulma ömür testi sonucunda elde edilen ömür değerleri.

Numune Numarası	Test Ömrü [cycle]	Kırıldığı Yerin Merkezden Uzaklığı [mm]
Numune-1	71.355	518 mm ARKA
Numune-2	68.102	495 mm ARKA
Numune-3	103.569	586 mm ÖN
Numune-4	107.211	525 mm ARKA
Numune-5	219.896	585 mm ÖN
Numune-6	224.158	578 mm ARKA

Aşağıda Şekil 7.20, Şekil 7.21 ve Şekil 7.22’de kırılan numulardan bazı örnekler paylaşılmıştır.



Şekil 7.20: Kırılan örnek numune görseli.



Şekil 7.21: Stresli kumlama işlemi uygulanmış numunenin kırılma yüzeyi.



Şekil 7.22: Herhangi bir kumlama işlemi uygulanmamış numunenin kırılma yüzeyi.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yorulma ömür testleri sonucunda Tablo 7.8'de görüldüğü gibi, hiçbir kumlama işlemi uygulanmamış Numune-1 makası 71.355 cycle yorulma ömrü sonunda merkezden 518 mm uzaklıkta arka eksen bölgesinde ve Numune-2 makası ise 68.102 cycle yorulma ömrü sonunda merkezden 495 mm uzaklıkta arka eksen bölgesinde kırılmıştır. Serbest halde kumlama işlemi uygulanmış Numune-3 makası 103.569 cycle yorulma ömrü sonunda merkezden 586 mm uzaklıkta ön eksen bölgesinde ve Numune-4 makası ise 107.211 cycle yorulma ömrü sonunda merkezden 525 mm uzaklıkta arka eksen bölgesinde kırılmıştır. Stresli kumlama işlemi uygulanmış Numune-5 makası 219.896 cycle yorulma ömrü sonunda merkezden 585 mm uzaklıkta ön eksen bölgesinde ve Numune-6 makası ise 224.158 cycle yorulma ömrü sonunda merkezden 578 mm uzaklıkta arka eksen bölgesinde kırılmıştır.

Aynı şartlar altında yapılan testler sonucunda; VW Crafter parabolik yaprak yay numunelerinde, en fazla yorulma ömrü, stresli kumlama işlemi uygulanmış 6 numaralı numunede 224.158 cycle olarak saptanmıştır. Yaprak yay isterleri arasında yer alan gevrek yorulma kırılması çeşitlerine stresli kumlama işlemi uygulanmış VW Crafter parabolik yaprak yay numunelerinde rastlanmıştır. Numunelerin kırılma yüzeylerine bakıldığında, gevrek yorulma kırılmasını işaret eden çavuş çizgileri, sadece stresli kumlama işlemi uygulanmış numune-5 ve numune-6 makaslarında belirgin bir şekilde görülmüştür. Bu çavuş çizgilerinin görülmediği diğer numuneler ise yüksek yorulma ömür değerlerine ulaşmadan daha kısa sürede kırılmıştır.

Stresli kumlama işlemi sayesinde, yaprak yayların herhangi bir boyutsal özelliği değiştirilmeden ve yay ağırlığı arttırılmadan yaprak yay yorulma ömürlerinde ciddi derecede artışlar deneysel olarak elde edilmiştir.

Aynı şartlar altında yapılan testler sonucunda; stresli kumlama işlemi uygulanan yaprak yayların yorulma ömrünün, normal kumlama işlemi yapılmış yaprak yayların yorulma ömrüne kıyasla 2 kat, hiçbir kumlama işlemi uygulanmamış yaprak yayların yorulma ömrüyle kıyaslandığında ise 3 kat daha fazla olduğu bulunmuştur.

Yaprak yayın kalınlık, genişlik gibi fiziksel büyüklüklerinde herhangi bir artışa ihtiyaç duyulmadan stresli kumlama işlemi sayesinde daha uzun yorulma ömrüne sahip yaprak yaylar üretilmiştir. Bu yüzden yaprak yayların üretim aşamalarına stresli kumlama işlemi

mutlaka dahil edilmelidir. Böylece daha az maliyetle daha uzun yorulma ömrüne sahip yaprak yaylar üretilmiş olur.

9. KAYNAKLAR

- [1] P. Lupkin, G. Gasparyants, and V. Rodionov, *Automobile chassis-design and calculations*, Moscow, Russia: MIR Publishers, 1989.
- [2] W. F. Millikan and D. L. Millikan, *Chassis design principles and analysis*, Warrendale, U.S.A.: Society of Automotive Engineers, 2002.
- [3] E. R. Sternberg, *Heavy duty truck suspensions*, Warrendale, U.S.A.: Society of Automotive Engineers, 1976.
- [4] B. G. Scuracchio, N. Batista de Lima, and C. G. Schön, “Role of residual stresses induced by double peening on fatigue durability of automotive leaf springs”, *Materials and Design*, vol. 47, pp. 672–676, Feb. 2013.
- [5] M. L. Aggarwal, “Modelling of shot peening parameters for weight reduction of EN45A spring steel leaf springs”, *AASRI Procedia*, vol. 3, pp. 642–645, Jan. 2012.
- [6] R. L. Mattson and W. S. Coleman Jr., “Effect of shot-peening variables and residual stresses on the fatigue life of leaf-spring specimens”, *SAE Transactions*, vol. 62, pp. 546–556, Apr. 1954.
- [7] A. Atig, R. B. Sghaier, R. Seddik, and R. Fathallah, “Probabilistic methodology for predicting the dispersion of residual stresses and Almen intensity considering shot peening process uncertainties”, *Int J Adv. Manuf. Technol*, vol. 94, pp. 2125–2136, Mar. 2018.
- [8] P. Borković, B. Šuštaršič, M. Malešević, B. Žužek, B. Podgornik, and V. Leskovšek, “Fatigue-life behaviour and a lifetime assessment of a double-leaf spring using FEM-based software”, *Materiali in Tehnologije*, vol. 46, no. 4, pp. 345–349, Aug. 2012.
- [9] G. Tokgönül, G. Kulaç, Ç. Şenocak ve E. Başalan, “Ağır ticari kamyonlar için tasarımı yapılmış tek katlı parabolik yayın üretimi ve fiziksel doğrulanması”, *M. C. B. Ü. Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, vol. 2, no. 26, pp. 55–61, Apr. 2018.
- [10] U. T. Ceyhanlı, “Ağır ticari araçlarda kullanılan parabolik yaprak yayların yorulma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Kontrüksiyon Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [11] E. Dülek, Ş. Orman, Ç. Karataş, S. Sarıtaş, “Bilyalı dövme parametrelerinin Ç1020 çeliğinin yorulma dayanımına etkisi ve oluşan kalıcı gerilmenin katman kaldırma

- yöntemi ile araştırılması”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, vol. 20, no. 3, 289–295, Apr. 2005.
- [12] O. Polat, “Yaprak yayların bilgisayar destekli yorulma analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [13] M. E. Satıcı, “Kumlama işleminin ve bu işleme etkiyen parametrelerin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- [14] Ö. Esen, “Kompozit yaprak yayların sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma analizinin yapılması”, Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [15] Ö. Sunar ve M. Çevik, “Tek katlı yaprak yaylarda sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma analizi”, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 11, no. 1, pp. 1–6, 2015.
- [16] A. Başaran, R. Varol, G. Pirge, S. Baştürk, H. Varol, “Bilyalı dövme işlemi ve yüksek sıcaklığın bakır ilaveli toz metal çelik parçaların yorulma dayanımına etkisinin incelenmesi”, *8th International Fracture Conference*, Turkey, Nov. 2007, pp. 242–252.
- [17] R. N. Jazar, *Vehicle dynamics: theory and application*, New York, NY, USA: Springer, 2008.
- [18] B. S. Jauhar, *Jamna Auto Industries Ltd.*, New Delhi, Delhi, 2002. Accessed: Dec. 2019. [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/jamna-autoindustries/products.html#multileaf-springs>
- [19] R. Cippola and J. Smale, B-curve parameter monitoring, *Ford Internal Document*, Apr. 2002.
- [20] Döşemenler Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Döşemenler Leaf Spring), (2019).
- [21] Eaton, Detroit Spring, Inc.: Spring Tech 101. Accessed: Dec. 2019. [Online]. Available: <http://www.eatonsprings.com>
- [22] Accessed: Nov. 2019. [Online]. Available: http://www.monroe.com/support/tec_suspsystemfund.asp.
- [23] Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE), *Spring Design Manual*, Sep. 1990.
- [24] Accessed: Dec. 2019. [Online]. Available: <https://raw4x4.com.au/products/leaf-springs>
- [25] Institute of Spring Technology: *Spring design training course manual*, 20th and 30th November, 2004.

- [26] Accessed: Dec. 2019. [Online]. Available:
<http://www.mert-celik.com/index.php/2015-10-21-21-06-23/celiklerde-haddeleme-yontemleri-ve-en-normlari>
- [27] TS EN 10092-1: Sıcak çekilmiş yaylık çelikler, European Standard, CEN, Ap. 2003.
Accessed: Nov. 2019. [Online]. Available:
<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx/>
- [28] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı: Süspansiyon Sistemleri, *MEGEP-Meslekî Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi*, Ankara, Aug. 2005.
- [29] Accessed: Nov. 2019. [Online]. Available:
<https://mechanicalelements.com/overslung-underslung-trailer-springs/>
- [30] Accessed: Dec. 2019. [Online]. Available:
<http://www.langen-sondermann.de/en/products/parabolics/>
- [31] S. R. Schmid, B. J. Hamrock, and Bo. O. Jacobson, *Fundamentals of machine elements*, Third Edition, C.R.C. Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Nov. 1996.
- [32] M. Ali Topbaş, *Çelik ve ısıt işlemler el kitabı*, Ekim Ofset ve Mücellithanesi, İstanbul, Nov. 1998.
- [33] Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., Bozköy Köyü 13. Cad. Aliğa, 35800 Aliaga, İzmir, (2019), Accessed: Dec. 2019. [Online]. Available:
<https://www.ozkandemir.com/>
- [34] M. L. Aggarwal, V. P. Agarwal, and R.A. Khan, “A stress approach model for predicting fatigue life of shot peened EN45A springs steel”, *International Journal of Fatigue*, 28, 1845-1853, 2006.
- [35] Accessed: Nov. 2019. [Online]. Available:
<https://www.britannica.com/technology/tempering-metallurgy/>
- [36] G. E. Dieter, *Mechanical Metallurgy*, 2nd Ed, Tokyo, Japan: Mc Graw Hill Co., 1976, pp. 403–447.
- [37] Accessed: Nov. 2019. [Online]. Available:
<https://www.serdarkorkut.com/2018/01/27/sn-wohler-egrisi-nedir/>
- [38] S. Saelem, S. Chantranuwathana, K. Panichanun, P. Preedanood, P. Wichienprakarn, and P. Kruo-ongarjnkool, “Experimental verification of leaf spring model by using a leaf spring test rig”, *Proceedings of the 23rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand*, Chiang Mai, Thailand, Nov. 2009.

- [39] F. N. A. Refngah, S. Abdullah, A. Jalar and L. B. Chua, “Fatigue life evaluation of two types of steel leaf springs,” *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, pp. 136–140, Sep. 2009.
- [40] E. Müller, “Stress peening—a sophisticated way of normal shot peening”, *Faculty for Mechanical Engineering, Bochum University of Applied Sciences*, D–44801 Bochum and Steinbeis-Transfercenter for SPRING Technology, Germany, Dec. 2019.

EKLER

EKLER

EK A: Numune-1 Brinell Sertlik Raporu

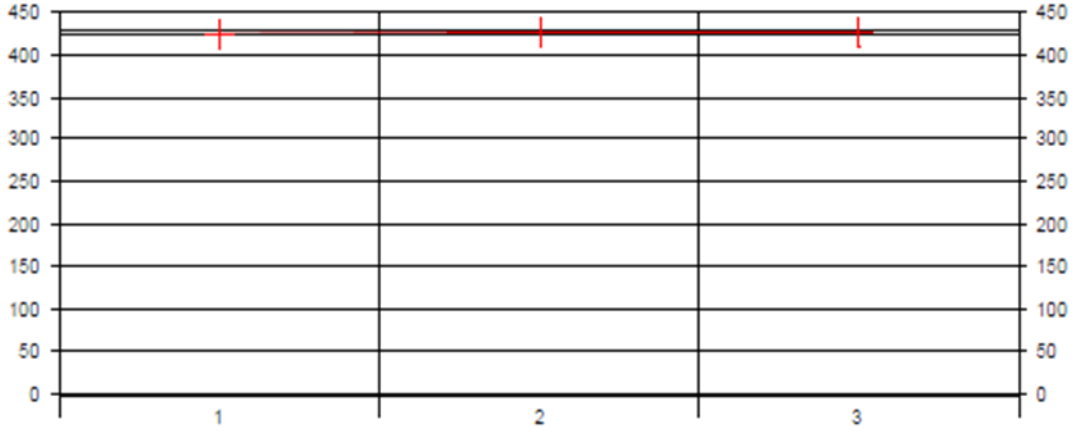
Company NUMUNE-1
Tester - Test Firm Halim KARAKAS - Dögemenler A.Ş.
Date 24.07.2019
Material 23.0008.01
Method 10/3000kg

TEST RESULTS

No	Measure	Method
1	423,5	10/3000kg
2	426,5	10/3000kg
3	426,5	10/3000kg

Average
425,5
Std.Deviation
1,73

Lower Limit
399,00
Upper Limit
461,00



Tested by

Approved by

EK B: Numune-2 Brinell Sertlik Raporu

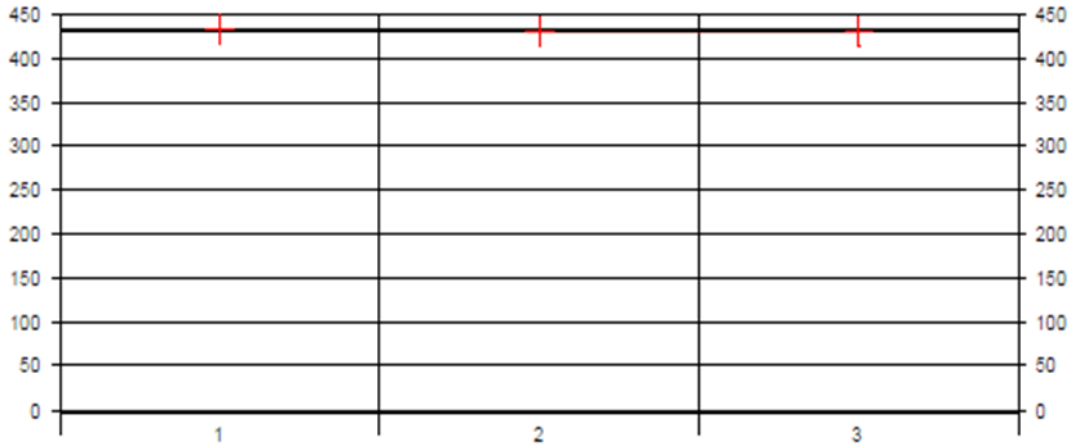
Company NUMUNE-2
Tester - Test Firm Halim KARAKAS - Döşemeler A.Ş.
Date 24.07.2019
Material 23.0008.01
Method 10/3000kg

TEST RESULTS

No	Measure	Method
1	432,4	10/3000kg
2	429,4	10/3000kg
3	430,9	10/3000kg

Average
430,9
Std.Deviation
1,50

Lower Limit
389,00
Upper Limit
461,00



Tested by

Approved by

EK C: Numune-3 Brinell Sertlik Raporu

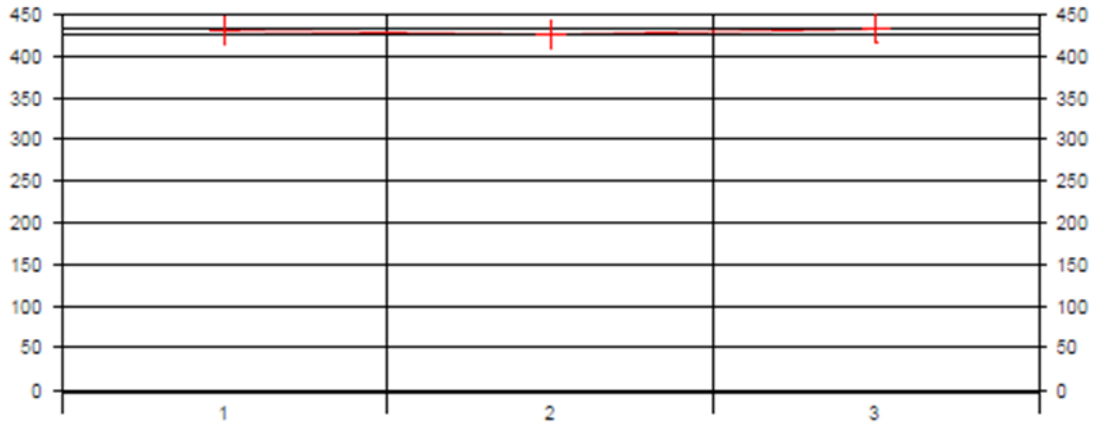
Company NUMUNE-3
Tester - Test Firm Halim KARAKAS - Döşemenler A.Ş.
Date 24.07.2019
Material 23.0008.01
Method 10/3000kg

TEST RESULTS

No	Measure	Method
1	429,4	10/3000kg
2	426,5	10/3000kg
3	432,4	10/3000kg

Average
429,4
Std.Deviation
2,95

Lower Limit
399,00
Upper Limit
461,00



Tested by

Approved by

EK D: Numune-4 Brinell Sertlik Raporu

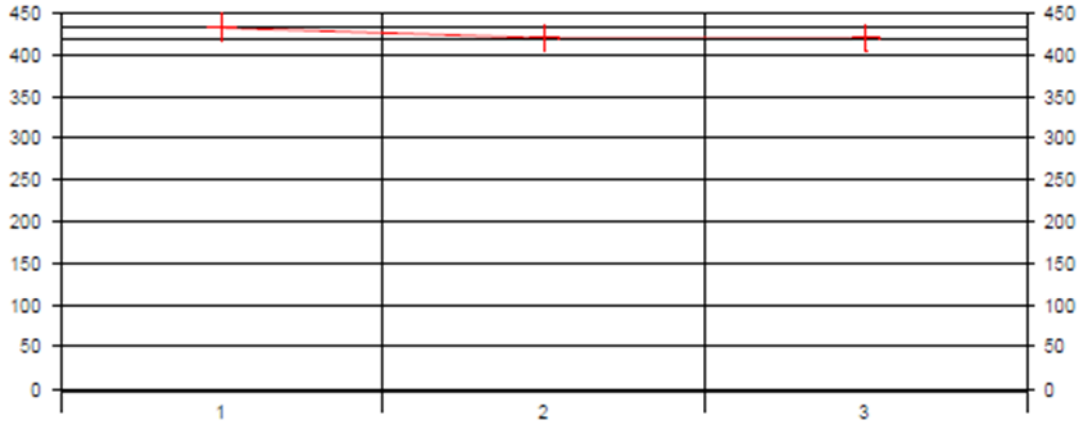
Company NUMUNE-4
Tester - Test Firm Halim KARAKAS - Döşemenler A.Ş.
Date 24.07.2019
Material 23.0008.01
Method 10/3000kg

TEST RESULTS

No	Measure	Method
1	432,4	10/3000kg
2	420,6	10/3000kg
3	420,6	10/3000kg

Average
424,5
Std.Deviation
6,61

Lower Limit
389,00
Upper Limit
461,00



Tested by

Approved by

EK E: Numune-5 Brinell Sertlik Raporu

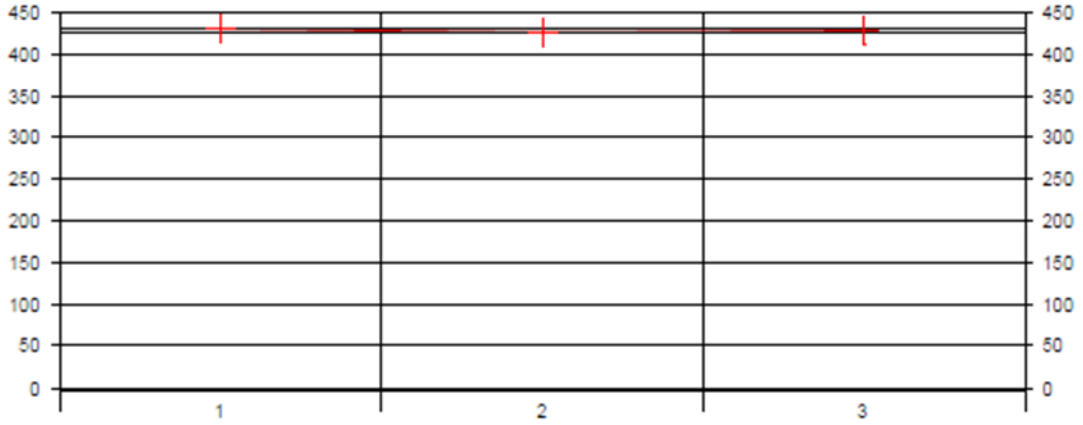
Company NUMUNE-5
Tester - Test Firm Halim KARAKAS - Döğemenler A.Ş.
Date 24.07.2019
Material 23.0008.01
Method 10/3000kg

TEST RESULTS

No	Measure	Method
1	429,4	10/3000kg
2	426,5	10/3000kg
3	428,0	10/3000kg

Average
427,9
Std.Deviation
1,45

Lower Limit
389,00
Upper Limit
461,00



Tested by

Approved by

EK F: Numune-6 Brinell Sertlik Raporu

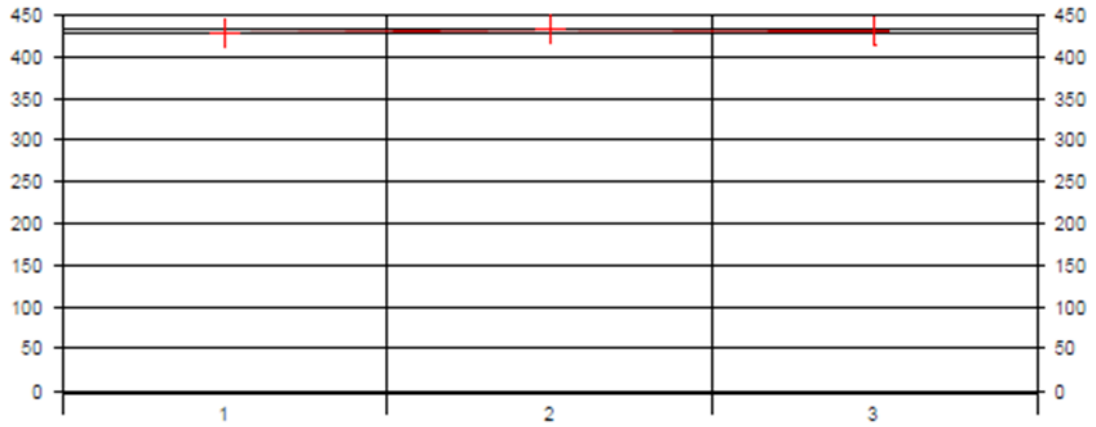
Company NUMUNE-6
Tester - Test Firm Halim KARAKAS - Döşemeler A.Ş.
Date 24.07.2019
Material 23.0008.01
Method 10/3000kg

TEST RESULTS

No	Measure	Method
1	429,0	10/3000kg
2	432,4	10/3000kg
3	429,4	10/3000kg

Average
429,9
Std.Deviation
2,25

Lower Limit
389,00
Upper Limit
461,00



Tested by

Approved by

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Halim KARAKAŞ

Doğum tarihi ve yeri : 10.02.1994 - SEYİTGAZİ

e-posta : halimkarakass26@hotmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2020
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2016
Lise	Eskişehir Cumhuriyet Anadolu Lisesi	2012