

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**TOPRAK FREZESİ HAREKET İLETİM ELEMANLARINDA HASAR
ANALİZİ**

Emrah ARICAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNELERİ VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

HAZİRAN 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**TOPRAK FREZESİ HAREKET İLETİM ELEMANLARINDA HASAR
ANALİZİ**

Emrah ARICAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNELERİ VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

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

**TOPRAK FREZESİ HAREKET İLETİM ELEMANLARINDA HASAR
ANALİZİ**

Emrah ARICAN

TARIM MAKİNELERİ VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi BAP Birimi tarafından FYL-2018-3426 nolu proje ile
desteklenmiştir.**

HAZİRAN 2019

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK FREZESİ HAREKET İLETİM ELEMANLARINDA HASAR
ANALİZİ

Emrah ARICAN

TARIM MAKİNELERİ VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

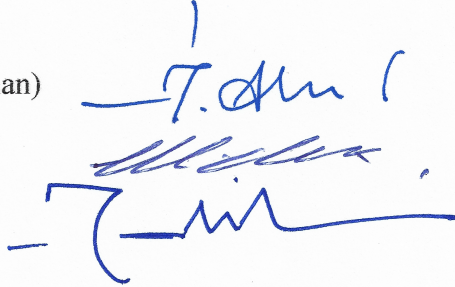
YÜKSEK LİSANS

Bu tez 25/06/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İbrahim AKINCI (Danışman)

Prof. Dr. Mehmet UÇAR

Doç. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK



ÖZET

TOPRAK FREZESİ HAREKET İLETİM ELEMANLARINDA HASAR ANALİZİ

Emrah ARICAN

**Yüksek Lisans, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği
Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. İbrahim AKINCI

Haziran 2019; 81 sayfa

Bu tez çalışmasında, toprak işleme makinelerinden biri olan toprak frezesinin hareket iletim elemanlarında oluşan hasarların analizi yapılmış ve hasar sebepleri araştırılmıştır. Hasarlı hareket iletim elemanları; dişli kutusuna ait frezeli mil, yan dişli takımına ait Z17 dişlisi ve ana mile bağlı frezeli aks elemanıdır. Çalışmanın ilk bölümünde hasar, hasar analizi ve hasar tipleri hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra hasara uğrayan ve incelenen hareket iletim elemanları hakkında bilgiler sıralanmıştır. Hasarlı elemanların malzeme özelliklerinin incelenmesi için kimyasal analizleri, sertlik deneyi ve çekme deneyleri yapılmış, hasarlı yüzeyleri ve mikro yapısı incelenmiştir. Ayrıca, Solidworks SIMULATION yazılımı ile sonlu elemanlar analizleri yapılmış ve gerçek çalışma koşullarında elemanlar üzerinde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar simüle edilmiştir. Yapılan tüm incelemeler sonucunda, hareket iletim elemanlarının hasar sebepleri ortaya konmuş ve hasarın tekrarlanmasını önlemek amacıyla çözüm önerileri sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Hasar analizi, sonlu elemanlar analizi, tarım makineleri, toprak frezesi.

JÜRİ: Prof. Dr. İbrahim AKINCI

Prof. Dr. Mehmet UÇAR

Doç. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK

ABSTRACT

FAILURE ANALYSIS in ROTARY TILLER TRANSMISSION ELEMENTS

Emrah ARICAN

**Master Thesis in Department of Agricultural Machinery and Technologies
Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim AKINCI

June 2019; 81 pages

In this thesis, the failed of rotary tiller transmission elements, which are one of the soil tillage machines, were analyzed and caused of failure were investigated. Failed transmission elements are shaft of the gear box, Z17 super gear of the side gear set and spline shaft which connected to the rotor shaft. In the first part of the study, general information is given about failure, failure analysis ve failure types. Afterwards, the information is given about the transmission elements that are failed and examined. For examination of material properties, chemical analyses, hardness test and tensile tests of failed elements were performed, failed surfaces and microstructure were examined. In addition, finite elements analysis was performed with Solidworks SIMULATION software and the stresses and deformations on the elements were determined on real working conditions. As a result of all investigations, the causes of the failure of transmission elements and to prevent the repetition of the failure solution offers are presented.

KEYWORDS: Agricultural machinery, failure analysis, finite elements analysis, rotary tiller.

COMMITTEE: Prof. Dr İbrahim AKINCI

Prof. Dr Mehmet UÇAR

Assoc. Prof. Dr Hüseyin Kürşat ÇELİK

ÖNSÖZ

Tarım makineleri imalat sektöründe, özellikle küçük işletmelerde, tasarım ve imalat konusunda iyi yetişmiş personelin bulunmaması, teknolojik imal yöntemlerinin kullanılmaması ve kurumsallık anlayışının yeterince benimsenememesi gibi sebeplerle, ortaya çıkarılan ürünlerde üretici ve tüketicileri zor durumda bırakan makine hasarları meydana gelmektedir. Bu hasarlar imalat sürecinde olduğu gibi işletme sürecinde de meydana gelebilmektedir. Tüm mühendislik dallarında olduğu gibi tarım makineleri imalat sektöründe de bu hasarları önleyici çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Bu çalışma, bir toprak işleme makinesi olan toprak frezesinin hareket iletim elemanlarında meydana gelen hasarların incelenmesi, nedenlerinin belirlenmesi ve bu hasarların tekrarının önlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmanın tarım makineleri imalat sektörüne, tüketicilere ve mühendislik bilimine faydalı olmasını diliyorum.

Öncelikle beni bu çalışmayı yapmam için teşvik eden, yönlendiren ve tecrübesiyle beni destekleyen danışman hocam sayın Prof. Dr. İbrahim AKINCI'ya, yüksek lisans eğitimim ve tez sürecinde kendisinden çok şey öğrendiğim hocam sayın Doç. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK'e, tez deneylerinin yapımı ve yazımı aşamasında sağladıkları katkılardan dolayı sayın Zir. Yük. Müh. Emre ÖZDEMİR ve sayın Zir. Müh. Gökhan KUNT'a, yüksek lisans eğitimim boyunca beni destekleyen çalıştığım işletme sahibi sayın İsa KARADAYI ve mesai arkadaşlarıma ve desteklerini esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.

Son olarak sabrı, sevgisi ve desteği ile hep yanımda olan değerli eşim Zir. Yük. Müh. Burcu ARICAN'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Teknolojik Hatalar.....	3
1.1.1. Tasarım sırasında yapılan hatalar	3
1.1.2. Malzeme içindeki hatalar	3
1.1.3. İmalat sırasında yapılan hatalar	3
1.1.4. Montaj hataları	3
1.1.5. Uygun olmayan çalışma şartları.....	4
1.2. Hasar Analizinin Aşamaları	4
1.2.1. Geçmişle ilgili bilgi toplama	4
1.2.1.1. İmalat geçmişi bilgilerin toplanması.....	4
1.2.1.2. Elemanın çalışma geçmişi.....	4
1.2.2. Fotoğraf kayıtları.....	5
1.2.3. Numunelerin seçimi	5
1.2.4. Hasarlı elemanın ön muayenesi.....	5
1.2.4.1. Gözle muayene.....	5
1.2.4.2. Fotoğrafların çekilmesi	5
1.2.5. Tahribatsız deneyler	5
1.2.5.1. Sıvı emdirme yöntemi (penetran sıvısı) ile muayene.....	6
1.2.5.2. Girdap akımıyla (Eddy-Current) muayene.....	6
1.2.5.3. Manyetik parçacık ile muayene	7
1.2.5.4. Ultrasonik muayene	8
1.2.5.5. Radyografik ışınları ile muayene	8
1.2.6. Tahribatlı deneyler	9
1.2.6.1. Sertlik deneyi	10

1.2.6.2. Çekme deneyi.....	11
1.2.6.3. Basma deneyi	14
1.2.6.4. Eğme deneyi.....	16
1.2.6.5. Çentik darbe deneyi.....	17
1.2.7. Kırık yüzeylerin seçimi, saklanması ve temizlenmesi	18
1.2.8. Metalografik incelemeler	18
1.2.9. Kırılma tipinin saptanması	19
1.2.10. Kimyasal analiz	19
1.2.11. Sonlu elemanlar analizi (FEA)	19
1.2.12. Delillerin analizi, sonuçlar ve analiz raporu	21
1.3. Temel Neden Analizi	21
1.3.1. Fiziksel nedenler	22
1.3.2. Tasarımdaki eksiklikler	22
1.3.3. Malzeme hataları	22
1.3.4. Üretim hataları.....	23
1.3.5. Servis ömründeki hatalar.....	23
1.4. Hasar Tipleri (Mekanizmaları).....	23
1.4.1. Distorsiyon	23
1.4.1.1. Plastik distorsiyon	23
1.4.1.2. Elastik distorsiyon.....	23
1.4.2. Kırılma	24
1.4.3. Korozyon.....	26
1.4.4. Yorulma.....	27
1.4.4.1. Yorulma hasarında kırık yüzeyin görünümü	29
1.4.4.2. Yorulma dayanımının saptanması.....	30
1.5. Malzemelere Uygulanan Isıl İşlemler	31
1.5.1. Tavlama.....	31
1.5.2. Sertleştirme.....	32
1.5.3. Temperleme.....	32
2. KAYNAK TARAMASI.....	33
3. MATERYAL VE METOT	40
3.1. Hasarlı Toprak Frezesi Hareket İletim Elemanları	40

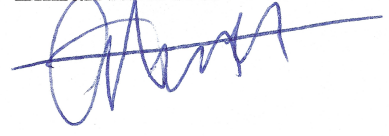
3.1.1. Frezeli mil	41
3.1.2. Z17 dişlisi	43
3.1.3. Frezeli aks	46
3.2. Hasarlı Elemanların Fotoğraf Kayıtları ve Temizlenmesi	48
3.3. Hasarlı Elemanların Malzemelerinin Tespiti	48
3.4. Tahribatlı Deneyler	53
3.4.1. Sertlik deneyi uygulaması	53
3.4.2. Çekme deneyi uygulaması	54
3.5. Sonlu Elemanlar Analizi	56
3.5.1. Frezeli milin sonlu elemanlar analizi	56
3.5.2. Z17 dişlisinin sonlu elemanlar analizi	58
3.5.3. Frezeli aksın sonlu elemanlar analizi	61
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	63
4.1. Makro İnceleme Sonuçları	63
4.1.1. Frezeli milin makro inceleme sonuçları	63
4.1.2. Z17 dişlisinin makro inceleme sonuçları	64
4.1.3. Frezeli aksın makro inceleme sonuçları	65
4.2. Sertlik Deneyi Sonuçları	66
4.3. Çekme Deneyi Sonuçları	67
4.4. Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları	68
4.4.1. Frezeli milin sonlu elemanlar analizi sonuçları	68
4.4.2. Z17 dişlisinin sonlu elemanlar analizi sonuçları	70
4.4.3. Frezeli aksın sonlu elemanlar analizi sonuçları	73
4.5. Delillerin Analizi	75
4.5.1. Frezeli mil delillerinin analizi	75
4.5.2. Z17 dişlisinin delillerinin analizi	76
4.5.3. Frezeli aksın delillerinin analizi	77
5. SONUÇLAR	78
6. KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Toprak Frezesi Hareket İletim Elemanlarında Hasar Analizi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

25/06/2019

Emrah ARICAN



SİMGELER

Simgeler

HB	:	Brinell sertlik değeri
F	:	Uygulanan yük
A	:	Malzemede batıcı uç bilyenin oluşturduğu alan
HV	:	Vickers sertlik değeri
D	:	Numune üzerindeki izin köşegen boyu
E	:	Elastisite katsayısı
u_r	:	Rezilyans
σ	:	Gerilme
ε	:	Gerinme
σ_{pl}	:	Orantısal gerilme
ε_{pl}	:	Orantısal gerinme
$\delta(\%)$	:	Uzama (%)
L_u	:	İlk boy
L_0	:	Son boy
S_0	:	İlk kesit alanı
S_u	:	Son kesit alanı
σ_{bA}	:	Basma akma sınırı
F_A	:	Basma kuvveti
G	:	Sarkacın ağırlığı
H	:	Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği
h^1	:	Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği
L	:	Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine olan uzaklığı
b	:	Yükseliş açısı
α	:	Düşme açısı
J	:	Kırılma enerjisi
σ_m	:	Ortalama gerilme

σ_a	:	Gerilme genliği
$\sigma_{\max}$	:	Maksimum gerilme
$\sigma_{\min}$	:	Minimum gerilme
σ_r	:	Maksimum ve minimum gerilmeler arasındaki fark
R	:	Gerilme oranı
A	:	Genlik oranı
N	:	Çevrim Sayısı
Da	:	Diş üstü çapı
D	:	Bölüm dairesi çapı
M	:	Modül
Z	:	Diş sayısı
Ed	:	Eksenler arası mesafe
d_1	:	Birinci dişlinin bölüm dairesi çapı
d_2	:	İkinci dişlinin bölüm dairesi çapı
P_m	:	Traktör motor gücü
T_{km}	:	Kuyruk mili torku
n_{km}	:	Kuyruk mili devri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Toprak frezesi hareket iletim şeması ve hareket iletim elemanları	2
Şekil 1.2. Penetran sıvının uygulama aşamaları (Anonim 2).....	6
Şekil 1.3. Eddy-Current cihazı.....	7
Şekil 1.4. Manyetik akım muayene yöntemi	7
Şekil 1.5. Ultrasonik muayene yöntemi	8
Şekil 1.6. Radyografi ışınları ile muayene yöntemi.....	9
Şekil 1.7. Çekme deneyinin çalışma prensibi	12
Şekil 1.8. Gerilme-gerinme grafikleri örnekleri	13
Şekil 1.9. Basma deneyinde numunede görülen fiçılama (https://nblog.net.).....	15
Şekil 1.10. Basma -çekme gerilmesi (MEB 2011)	16
Şekil 1.11. Üç nokta eğme deneyi test düzeneği	16
Şekil 1.12. Charpy (a) ve İzod (b) deney düzenekleri.....	18
Şekil 1.13. Sonlu elemanlar yönteminde eleman sayısının etkisi	20
Şekil 1.14. Kırılma tipinin kristalografik ve yüzey görünümü ilişkisi	24
Şekil 1.15. Gevrek kırılma (Kanbir 2014)	25
Şekil 1.16. Sünek kırılma.....	25
Şekil 1.17. Klivaj kırılma.....	26
Şekil 1.18. Kayma kırılması.....	26
Şekil 1.19. Yorulmada kullanılan değişkenler (Eryürek 1993)	28
Şekil 1.20. Yorulma ömrü aşamaları	29
Şekil 1.21. Yorulma hasarının şematik görünümü (Alsaran 2015)	29
Şekil 1.22. Yorulma yüzeyinin görünümü (Alsaran 2015).....	30
Şekil 1.23. Wöhler Eğrisi.....	30
Şekil 2.1. a) Direksiyon çolak kolunun ön direksiyon sistemindeki konumu, b) Hasarlı çolak kolu, c) Zıt yönlü eğilme ve burulma sonucu oluşan kırık yüzeyi, d) Kırık yüzeyin görünümü.....	33
Şekil 2.2. Direksiyon mafsallı göbeği çolak kol muylu bağlantıları.....	34
Şekil 2.3. a) Ana kasnağın kırık bölgesinin yeri, b) Kasnak ağzının enine kesitinin görünüşü, c) Kırık bölgesinin geometrik şekil üstündeki yeri	36
Şekil 2.4. Beş farklı mesh yapısı kullanılarak yapılmış sonlu elemanlar analizi (a.10, b.15, c.20, d.25, e.30)	37

Şekil 2.5. Hasarlı daire dişli rotu ve bulunduğu konumu	38
Şekil 3.1. Toprak frezesinin hareket iletim sistemleri	40
Şekil 3.2. Hidrolik kaydırmalı toprak frezesi dişli kutusu ve frezeli mil.....	41
Şekil 3.3. Hidrolik kaydırmalı dişli kutusunun hareket iletim şeması (Anonim 7).	42
Şekil 3.4. Hasarlı frezeli milin görünümü ve kopma bölgesi	43
Şekil 3.5. Z17 dişlisinin makine üzerindeki görünüşü.....	43
Şekil 3.6. Mekanik kaydırmalı toprak frezesi dişli kutusunun hareket iletim şeması	44
Şekil 3.7. Z17 dişlisinin bulunduğu yan dişli takımı	45
Şekil 3.8. Hasarlı Z17 dişlisinin görünümü	46
Şekil 3.9. Frezeli aksın makinedeki konumu	46
Şekil 3.10. Frezeli aksın bağlandığı dişli takımının devir sayıları.....	47
Şekil 3.11. Hasarlı frezeli aksın görünümü.....	48
Şekil 3.12. Kimyasal analiz için hazırlanan numuneler.....	49
Şekil 3.13. Frezeli mile ait mikroskopik görüntü (400x).....	51
Şekil 3.14. C elementi % ağırlığı 0,16 olan çeliklerin ferrit ve perlit fazı yapısının görünümü	52
Şekil 3.15. Z17 dişlisinin mikroskopik görüntüsü (400x)	52
Şekil 3.16. Frezeli aksa ait mikroskopik görüntü (400x).....	53
Şekil 3.17. Sertlik ölçüm deneyinde kullanılan Rockwell sertlik ölçüm cihazı	54
Şekil 3.18. Çekme testi numunesinin ölçüleri	55
Şekil 3.19. Hazırlanan çekme numuneleri	55
Şekil 3.20. Dişli kutusu frezeli milinin katı modelinin görünümü	56
Şekil 3.21. Yükün ve sınır koşullarının uygulandığı kısımlar	57
Şekil 3.22. Hasarlı frezeli milin katı modelinin mesh yapısı.....	58
Şekil 3.23. Z17 dişlisi ve Z37 dişlisinin montaj resmi	59
Şekil 3.24. Z17 dişlisine uygulanan yükün ve sınır koşulunun görünümü	60
Şekil 3.25. Mesh yapısının görünümü	60
Şekil 3.26. Hasarlı frezeli aksın üç boyutlu katı modeli	61
Şekil 3.27. Hasarlı frezeli aksa uygulanan yükün ve sınır koşullarının görünümü	62
Şekil 3.28. Hasarlı frezeli aksın mesh yapısı	62
Şekil 4.1. Frezeli milin kırık yüzeyinde yorulma izleri görünümü.....	63
Şekil 4.2. Çekirdeklenme (çatlak başlangıç) bölgelerinin bulunduğu frezeli kısımlar...	64

Şekil 4.3. Z17 dişlisi dış yüzeylerinde oluşan ilerleyen pitting hasarı	65
Şekil 4.4. Frezeli aks kırık bölgesinde lifli ve radyal bölge görünümü	66
Şekil 4.5. Hasarlı parçanın yükleme sonucundaki eş değer gerilmesi	69
Şekil 4.6. Frezeli milde oluşan maksimum gerilmenin yeri	69
Şekil 4.7. Analiz sonucunda elemanda meydana gelen maksimum deformasyon	70
Şekil 4.8. Z17 dişlisinde oluşan maksimum gerilme ve yeri	71
Şekil 4.9. Z17 dişlisinde oluşan maksimum gerilme miktarı ve oluştuğu bölgeler	72
Şekil 4.10. Z17 dişlisinde meydana gelen deformasyon miktarı ve yeri	73
Şekil 4.11. Hasarlı frezeli aksta meydana gelen maksimum gerilme	74
Şekil 4.12. Frezeli aksta meydana gelen maksimum gerilme bölgesi	74
Şekil 4.13. Frezeli aksta meydana gelen maksimum deformasyon ve yeri	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Hasar sebepleri (Alsaran 2019)	22
Çizelge 2.1. Hasarlı makine parçalarının kimyasal kompozisyonu	35
Çizelge 2.2. Hasarlı kasnağın kimyasal kompozisyonu.....	36
Çizelge 2.3. Mekanik test sonuçları.....	38
Çizelge 3.1. Hasarlı elemanların bulunduğu toprak frezelerinin özellikleri.....	41
Çizelge 3.2. 16MnCr5 malzemesinin ve frezeli milin kimyasal kompozisyonları.....	49
Çizelge 3.3. 20MnCr5 malzemesi ve Z17 dişlisinin kimyasal kompozisyonları	50
Çizelge 3.4. CK45 malzemesinin ve frezeli aksın kimyasal kompozisyonları.....	50
Çizelge 4.1. Hasarlı ve yeni elemanlardan ölçülen sertlik değerleri.....	67
Çizelge 4.2. Çekme deneyi sonuçları.....	67

1. GİRİŞ

Çeşitli malzemeler kullanılarak imal edilen ve yaşantımızın birçok kısmında önemli rol oynayan yapılar ve sistemlerde veya bu sistemleri oluşturan elemanlarda, iyi bir tasarım süreci yapılması ve özellikleri iyi bilinen uygun malzemeler seçilmesine rağmen, ürünün kullanım sürecinin başında veya belirli bir süre geçtikten sonra önceden tahmin edilemeyen hasarlar ortaya çıkmaktadır (Alsaran 2019).

Hasar, bir yapının veya bu yapıyı oluşturan elemanların kendisinden beklenen işlevi yerine getiremez hale gelmesi olarak tanımlanmaktadır (Eryürek 1993). Hasar bir yapının imalat veya işletme sürecinde yapılan teknolojik hatalar sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Hasarlı elemanlar, yapıyı tamamen kullanılmaz hale getirebilir, kullanılacak durumda olup performansını istenilen ölçüde gösteremeyebilir veya kullanımları tehlikeli olabilir (Ay 2005). Ayrıca hasar maddi ve manevi kayıplara sebep olur. Bu kayıpların önüne geçilebilmesi için hasarın ana nedeninin araştırılması ve tekrarlanmasını engelleyecek çözüm önerilerinin sunulması gerekmektedir. Bir hasarın araştırılması, kaynağının tespit edilmesi ve araştırma sonunda çözüm önerilerinin sunulması gibi faaliyetlerin tümüne hasar analizi denir. Hasar analizi sadece oluşan hasarın tekrarlanmasını engellemekle kalmayıp, kaliteli ürün ortaya çıkarılmasına da önemli katkı sağlamaktadır. Yeni malzemeler ve üretim teknolojilerinin yoğunluk kazandığı gelişmiş ülkelerde, birçok hasarla karşı karşıya kalınmıştır. Dolayısıyla hasarın tekrarlanmasını engellemek amacıyla yapılan çalışmalarla, hasar analizi tekniklerinde büyük ilerleme kaydedilmiş ve hasar analizi, bilimsel yöntemlere sahip bir mühendislik alanı haline gelmiştir (Eryürek 1993).

Birçok mühendislik dallarında olduğu gibi tarım alet ve makineleri imalat sektöründe de makine sistemlerinde veya elemanlarında hasarlarla karşılaşılması ile hasar analizi bu sektörde de önem kazanmıştır. Tarım makineleri imalat sanayi genel imalat sanayinin önemli dallarından biridir (Ergün 2007). Zeren vd. (1996)'ne göre bu sektör tarımsal üretim için kullanılan tohum, gübre, ilaç, su vb. girdileri arasında yer alan ve önemi gittikçe artan, "tarımda makineleşme" girdisi içerisinde gerekli güç kaynağı, makine, ekipman ve tesislerin üretildiği bir sektördür (Çelik 2013).

Tarım makineleri, tarımda çeşitli uygulama alanlarına göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar toprak işleme alet ve makineleri, ekim-dikim makineleri, gübreleme makineleri, hasat harman makineleri gibi makinelerdir. Bitkisel üretimin ilk aşaması toprak işlemedir. Bu aşamanın temel amacı toprağın fiziksel özelliklerini bitkinin ihtiyacına uygun hale getirmektir. Bu amaca ulaşmak için yapılan bazı işlemler ve işlemlerin gerçekleşmesinde kullanılan toprak işleme alet ve makineleri şu şekilde sıralanabilir (Özmerzi 1996):

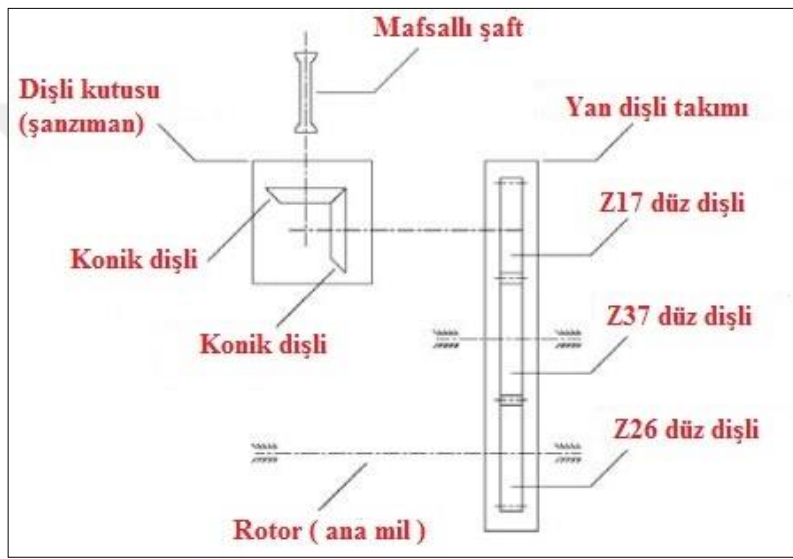
- Pulluk ile toprağın şeritler halinde kesilip, devrilmesi,
- Kültivatör, tırmık, çapa ile toprağın devrilmeden kabartılması,
- Toprak frezesi ile toprağın karıştırılması ve
- Sürgü, merdane ile toprağın sıkıştırılmasıdır.

Yapılan bu işlemler ile toprak bünyesinde önceki üretimden kalan organik materyallerin kesilip, parçalanıp ya da toprağın alt üst edilerek toprağa karıştırılması, bitki kök bölgesinin hava, nem ve ısı ihtiyacına göre toprağın havalandırılması, yabancı

ot ile mücadele ve tohum yatağının hazırlanması sağlanmaktadır. Toprak frezesi de bu işlemlerin uygulanmasında kullanılan bir toprak işleme makinesidir.

Toprak frezesinin genel olarak çalışma prensibi, güç kaynağı olan traktörden alınan dönü hareketinin mafsallı bir şaft yardımıyla dişli kutusuna iletilmesi, dişli kutusundan alınan hareketin 90 derece yön değiştirerek yan dişlilere, yan dişlilerden de uç demirlerinin bulunduğu ana mile (rotor) iletilmesi şeklindedir (Akıncı vd. 2005).

Toprak frezesinde, traktörden alınan dönü hareketinin, işleyici uç demirlerine iletilmesinde yer alan hareket iletim elemanları ve hareket iletim şeması Şekil 1.1’de verilmiştir (Akıncı vd. 2005).



Şekil 1.1. Toprak frezesi hareket iletim şeması ve hareket iletim elemanları

Toprak frezelerinin kullanım amaçlarına göre farklı tipleri bulunmaktadır. Bunlar rotovator, dik rotovator, rototiller, frezeli ara çapa makinesi ve motorlu toprak frezeleridir. Bazı toprak frezesi tipleri kaydırılma şekillerine göre hidrolik kaydırılmalı, mekanik kaydırılmalı ve duyargalı tip olarak da sınıflandırılmaktadır. Özellikle meyve bahçeleri ve bağlarda traktörün bitkiye zarar vermemesi ve ağaç aralarının toprak frezesi ile işlenmesi için tasarlanan toprak frezesi tipleridir. Kaydırma işlemi, makinenin gövdesinin hidrolik bir piston, mekanik bir sistem veya otomatik olarak traktör en kesiti doğrultusunda hareket ettirilmesi ile gerçekleştirilir (Çanakçı 2008). Ayrıca rotovator, dik rotovator ve rototiller tiplerinin iş genişliklerine (1350 mm, 1600 mm, 1850 mm, 2100 mm gibi) değişik tipleri bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında toprak frezesi makinesinin hareket iletim elemanlarında yaygın olarak ortaya çıkan hasarlar incelenmiştir. Hareket iletim sistemlerinde üç farklı hasarlı hareket iletim elemanının hasar analizi yapılmıştır. Hasar tipinin tespit edilmesi için bazı deneysel çalışmalar yapılmış ve hasarın oluşmasına sebep olan teknolojik hatalar tespit edilmiştir. Çalışma sonunda hasarın tekrarlanmaması için hasarı engelleyici çözüm önerileri sunulmuştur.

1.1. Teknolojik Hatalar

Hasar, bir yapı veya yapı elemanının üretim aşamasında ya da işletme/kullanım aşamasında yapılan hatalar sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Bu hatalara teknolojik hata adı verilmektedir (Alsaran 2019). Teknolojik hatalar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Tasarım sırasında yapılan hatalar,
2. Malzeme içindeki hatalar,
3. İmalat sırasında yapılan hatalar,
4. Montaj hataları,
5. Uygun olamayan çalışma şartlarıdır.

1.1.1. Tasarım sırasında yapılan hatalar

Tasarımı yapılan parçanın geometrisinde şiddetli gerilme yığılmalarına neden olan süreksizlerin mevcut olması, yetersiz gerilme analizi, karmaşık geometriye sahip parçalarda oluşan rasyonel gerilmelerin hesaplanamaması, hasara karşı daha dirençli malzeme parametrelerinin kullanımı yerine başka özellikleri düşünülerek tasarımın yapılması, çalışma ortamına ve parçanın imal yöntemlerine uygun olmayan malzeme seçimi yapılması gibi tasarım sırasında yapılan hataları kapsamaktadır (Eryürek 1993). Bir rulmana uygun olmayan toleranslı bir rulman yatağının imal edilerek rulman bilyelerinin aşırı ısınması, dağılması ve olağan dışı dönü hareketi yapması bu tip hataya bir örnektir.

1.1.2. Malzeme içindeki hatalar

Metal olmayan kalıntılar ve yapıyı gevrekleştirici fazlar oluşturan kimyasal bileşim ile malzemenin yarı mamul hale getirilme safhasındaki döküm ve plastik şekil verme sırasında oluşan segregasyon, gözeneklilik, kendini çekme boşluk ve çatlakları, katmerler, homojen olmayan içyapı, kalan gerilmeler, aşırı yerel plastik deformasyonlar bu sınıfa girmektedir (Eryürek 1993).

1.1.3. İmalat sırasında yapılan hatalar

Tasarlanan elemanın tasarımında öngörülen şeklinin verilmesi aşamasında yanlış imal usulleri ve yöntemlerinin uygulanmasından kaynaklanan hataları kapsamaktadır (Alsaran 2019). Talaş kaldırma esnasında çatlak ve yırtılma, kaynaklardaki nüfuziyet azlığı, yanma olukları, yetersiz erime, cüruf kalıntıları, ısıtma işlemi sırasında meydana gelen deformasyon bu tip hata örnekleridir.

1.1.4. Montaj hataları

Montaj hataları, tasarımda göz önüne alınmamış ilave gerilmeler ve değişik yükleme şekilleri oluşturarak aşınma, yorulma ömrünün azalması, distorsiyon ve benzeri hasarlara neden olmaktadır (Eryürek 1993). Cıvata ve somunların uygun tork ve eşit şekilde sıkılmaması, dişli çark sistemlerinde eksenlerinin kaçık olması gibi uygulamalar bu tip hata örnekleridir.

1.1.5. Uygun olmayan çalışma şartları

İşletme sırasında yapılan hatalardır. Makine elemanının, tasarıma uygun olmayan çalışma şartlarında çalışması sonucu hasar oluşabilir. Aşırı yükleme, uygun olmayan işletme ve bakım koşulları bu tip hatalara neden olabilir (Alsaran 2019).

1.2. Hasar Analizinin Aşamaları

Hasar analizinin yöntemi konusunda belirli bir kural yoktur. Ancak yaygın olarak izlenen yöntem; hasarın tanımlanması, bireysel kontrol ve incelemeler, incelemelerin değerlendirilmesi ve hasar raporunun hazırlanması şeklindedir (Yılmaz vd. 2001). Hasar analizi sürecinde, aşağıda açıklanan safhalardan herhangi birinde hasar tespit edilip kaynağı bulunabilir. Bu durumda diğer safhalar bu bilgiyi teyit etmek amacıyla yapılır. Bu safhalarda yapılan tüm faaliyetlerin sıralaması ve uygulanması hasarın tipine bağlı olarak değişebilir (Eryürek 1993).

Hasar analizi aşamaları aşağıdaki şekilde verilebilir.

1. Geçmişle ilgili bilgi toplama,
2. Numunelerin seçimi,
3. Hasarlı elemanın ön muayenesi,
4. Tahribatsız deneyler,
5. Mekanik deneyler,
6. Kırık yüzeylerin seçimi, saklanması ve temizlenmesi,
7. Metalografik incelemeler,
8. Kırılma tipinin saptanması,
9. Kimyasal analiz,
10. Sonlu elemanlar yöntemi,
11. Delillerin analizi, sonuçlar ve analiz raporu.

1.2.1. Geçmişle ilgili bilgi toplama

Hasara uğrayan parçanın üretim ve işletme sürecindeki tüm bilgiler araştırılır. Bu bilgiler, öncelikle analizi yapılacak olan elemanın tanınmasını sağlar ve yapılacak olan muayenelere referans olur.

1.2.1.1. İmalat geçmişi bilgilerin toplanması

Elemanın hangi imalat yöntem ve işlemlerden geçtiğini gösteren bilgilerdir. Bu işlemler, mekanik işlemler (soğuk şekil verme, çekme, eğme, talaş kaldırma, taşlama vb.), termal işlemler (ısıtıl işlemler, sıcak şekil verme, kaynak vb.) ve kimyasal işlemlerdir (temizleme, elektro kaplama, difüzyonla kaplama).

1.2.1.2. Elemanın çalışma geçmişi

Çalışma (işletme) sürecindeki bilgiler, elemanın çalışma geçmişi ile ilgili bilgilerdir. Bu bilgiler elemanın işletmecisinden elde edilir. Hasar öncesinde anormal bir durumun olup olmadığı, bakım ve tamir yapıp yapılmadığı, yapılmış ise ne zaman yapıldığı, yapının veya yapı elemanının hangi şartlarda çalıştırıldığı öğrenilir. Böylece, elemanın tasarımına uygun şartlarda işletilip işletilmediğinin anlaşılması sağlanır.

1.2.2. Fotoğraf kayıtları

Hasar analizinde, hasara uğramış yapının veya elemanın fotoğraflarının gerekli olup olmadığına karar verilir. Bir ön araştırmada önemsiz gibi görünen bir hasarın, daha sonra çok önemli olduğu ortaya çıkabilir. Bu nedenle hasarın tam bir fotoğraf kaydının yapılması gereklidir (Eryürek 1993).

1.2.3. Numunelerin seçimi

Numuneler esas etütlere başlamadan önce özenle seçilmelidir. Hasar analizinde, numunelerin amaca uygun seçimi ve hasarın özelliklerini temsil etmesi oldukça önemlidir. Bu süreçte hemen belirgin olmayan ilave hasar delillerinin araştırılması da yerinde olur. Genellikle, hasara uğramış elemanın, benzer fakat hasara uğramamış elemanla mukayese edilmesi gerekir. Bunun nedeni, hasarın çalışma şartları nedeniyle mi, yoksa elemanın imalatı sırasında yapılan bir hata sonucu mu ortaya çıktığını araştırmaktır (Eryürek 1993).

1.2.4. Hasarlı elemanın ön muayenesi

1.2.4.1. Gözle muayene

Muayene çıplak gözle yapılan inceleme ile başlar. Çıplak göz, mükemmel bir odak derinliğine ve geniş alanları hızlı bir şekilde etüt etme, renk ve dokudaki değişimleri tespit etme yeteneğine sahiptir (Eryürek 1993).

1.2.4.2. Fotoğrafların çekilmesi

Hasara uğramış parçanın ön etüdünün ikinci aşaması eğer elemanda kırık mevcut ise kırılmış elemanın ve bu elemana ait kırılmış parçaların fotoğraflarının çekilmesidir. Çeşitli ölçeklerde büyütülerek ve değişik açılardan aydınlatma yapılarak çekilen fotoğraflar gerekli bilgileri içerecek biçimde kaydedilmelidir (Kanbir 2014). Bu bilgiler, çekilen fotoğrafın neyi anlattığı, hangi büyütmede çekildiği, aynı elemanın birden fotoğrafı çekilecekse diğer fotoğraflarla olan ilişkisi ve sıralaması gibi bilgilerdir.

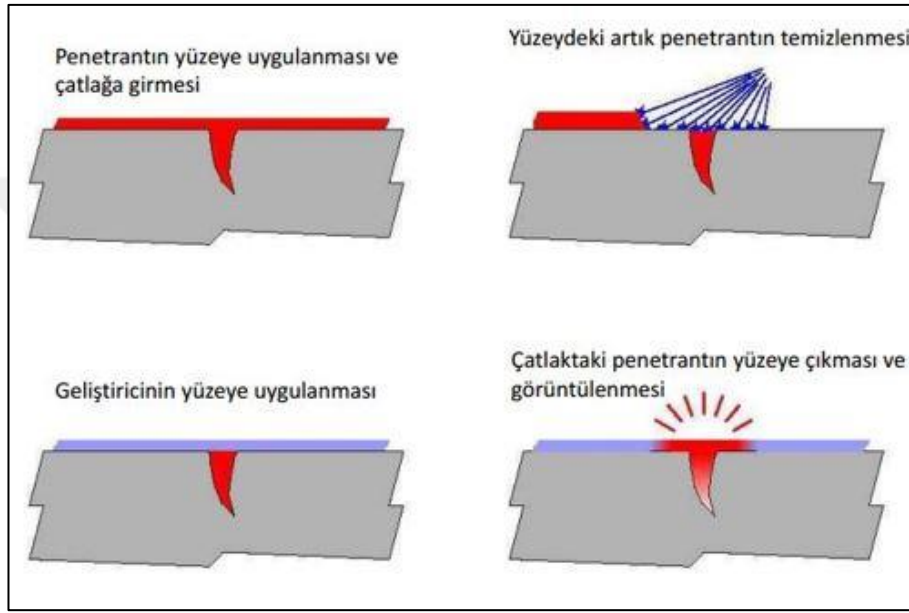
1.2.5. Tahribatsız deneyler

Uygulandığı yapı veya yapı elemanına zarar vermeden yapılan muayenelerdir. İncelenecek olan yapıdan numune alma ihtiyacı yoktur. Doğrudan yapı üzerinde muayene yapılır. Tahribatsız muayene yöntemleri ile malzemelerin imalat aşamasında veya işletme aşamasında oluşan çatlak, iç yapıda meydana gelen boşluk gibi hataların tespiti gerçekleştirilir. Malzeme cinsi ve hata tahminine göre uygulanacak tahribatsız muayene yöntemi değişiklik gösterir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Anonim 1).

1. Sıvı emdirme (penetran sıvısı) yöntemi,
2. Girdap akımları (Eddy Akımı) yöntemi,
3. Manyetik parçacık yöntemi,
4. Ultrasonik muayene,
5. Radyografik (Röntgen) ışınları ile muayene yöntemleridir.

1.2.5.1. Sıvı emdirme yöntemi (penetran sıvısı) ile muayene

Yüzey hatalarının tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde penetran sıvı parça üzerine püskürtülür. Penetran sıvı yüzey üzerinde 1 mikron'a kadar aralığa sahip çatlak ve hataların içine kapiler etkiyle girer. Yüzeyde kalan fazla sıvı silinerek temizlenir. Daha sonra yüzeye bir geliştirici uygulanarak yüzeye açık olan çatlak ve hataların içindeki sıvı yüzeye çekilir. Sıvının kendisi genellikle parlak renklidir veya floresan parçacıklar içerir. Böylece mor ötesi ışığın altında malzeme yüzeyindeki süreksizlikler kolayca görülür (MEB 2011).



Şekil 1.2. Penetran sıvının uygulama aşamaları (Anonim 2)

1.2.5.2. Girdap akımıyla (Eddy-Current) muayene

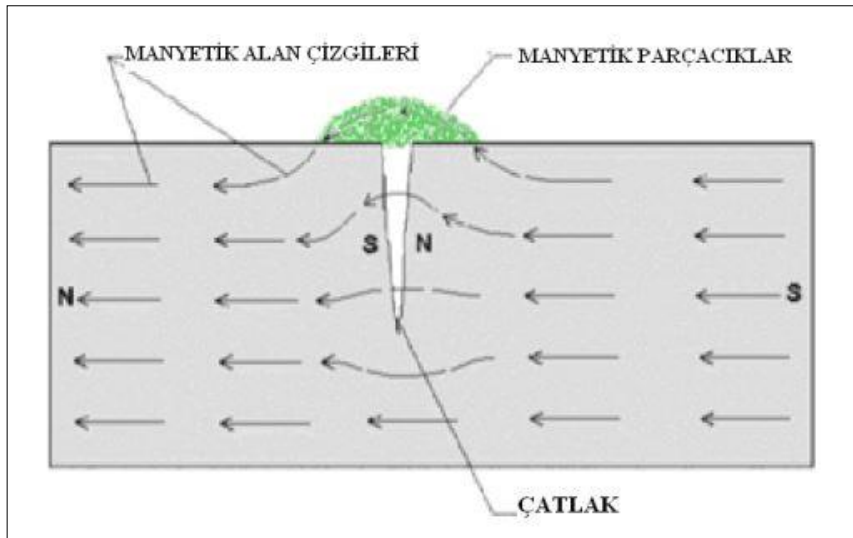
Bu yöntem kullanılarak çatlak, korozyon, iletken bir malzeme üzerindeki boya veya kaplama kalınlığının ölçülmesi ve iletkenlik ölçümü mümkündür. Bu yöntemde bir sarımdan değişken akım (AC) geçirildiğinde bu sarım etrafında bir manyetik alan meydana gelir ve bu sarım elektriksel olarak iletken bir malzeme yüzeyine yaklaştırıldığında, sarımın değişken manyetik alanı malzeme yüzeyinde indüksiyon akımları oluşturur. Bu akımlar kapalı bir devre halinde akarlar ve girdap akımları olarak adlandırılırlar. Girdap akımları da kendi manyetik alanlarını yaratırlar. Yaratılan bu ikincil manyetik alan ölçülerek yüzey hataları bulunabilir. Şekil 1.3'te gösterildiği gibi bu yöntem yüzey ve yüzeye yakın hataların belirlenebilmesi için uygun bir yöntemdir ve yalnızca iletken malzemeler üzerinde kullanılabilir (Anonymous 1).



Şekil 1.3. Eddy-Current cihazı

1.2.5.3. Manyetik parçacık ile muayene

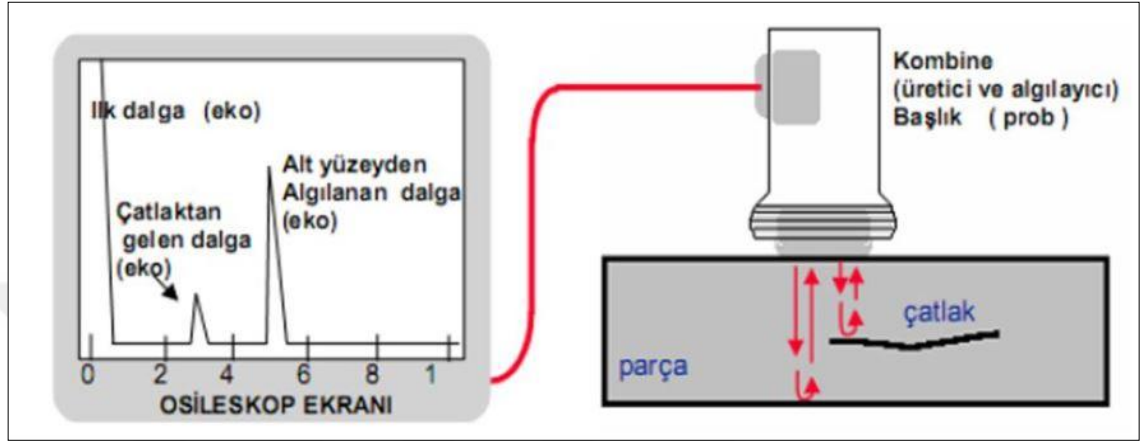
Bu yöntem mıknatıslanabilir malzemelerin yüzey ve yüzeye yakın bölge süreksizliklerinin tespitinde kullanılır. Şekil 1.4'te gösterildiği gibi malzeme üzerinde manyetik bir alan oluşturulur ve süreksizliklerin üzerinde oluşan kaçak akıma duyarlı toz uygulanır (Anonim 2). Yaygın olarak demir tozu (Fe_3O_4) kullanılır. Uygulanan toz, parça yüzeyinde kaçak alan tarafından tutularak görünür. Yüzey ve yüzeye yakın bölgelerdeki süreksizlerden çatlak, boşluk, damar ve metalik olmayan yabancı maddelerin yerinin tespiti sağlanır (MEB 2011).



Şekil 1.4. Manyetik akım muayene yöntemi

1.2.5.4. Ultrasonik muayene

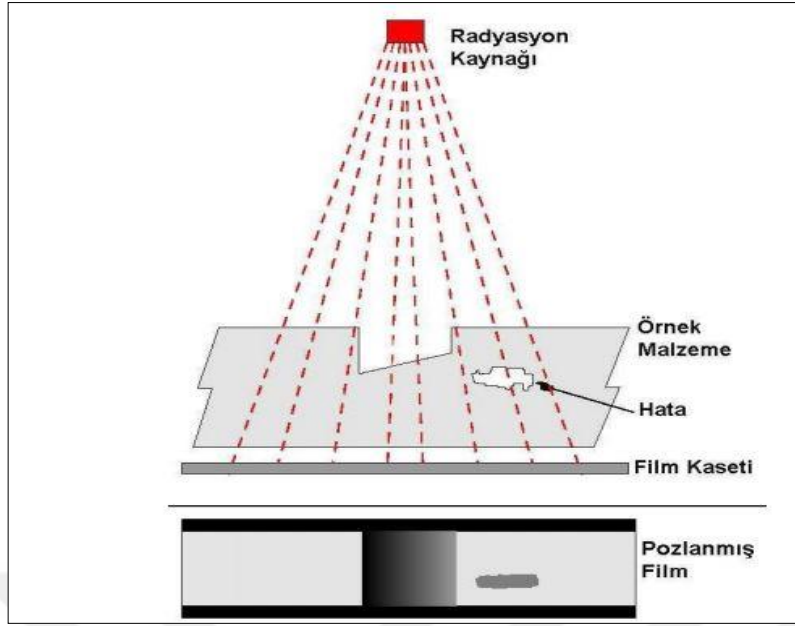
Malzeme içindeki hataların tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Demir (2019)' a göre bu yöntem incelenmek istenilen malzemedeki süreksizlikleri tespit edebilmek için prob tarafından üretilen yüksek frekanstaki (0.1-20 MHz) ses dalgalarının test malzemesi içerisinde yayılması ve bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansıtılarak prob tarafından algılanması esasına dayanır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Ultrasonik muayene yöntemi

1.2.5.5. Radyografik ışınları ile muayene

Test parçası bir kaynaktan çıkan radyasyon demeti (x veya gama ışınları) ile ışınlanır. Radyasyon malzeme içinden geçerken malzemenin özelliğine bağlı olarak belli oranda yutularak kayba uğrar ve sonra parçanın arka yüzeyine yerleştirilmiş olan filme ulaşarak filmi etkiler. Süreksizlikler radyasyonu farklı zayıflatırlarından, süreksizliklerin olduğu bölgelerden geçen radyasyonun şiddeti ve film üzerinde oluşturacağı kararma da farklı olacaktır. Şekil 1.6'da gösterildiği gibi filmin banyo işleminden sonra film üzerindeki kararmalar süreksizliklerin belirtisi olarak görünür hale gelir (Anonim 1).



Şekil 1.6. Radyografi ışınları ile muayene yöntemi

1.2.6. Tahribatlı deneyler

Tahribatlı (mekanik) deneyler, malzemelerin kalıcı şekil değişikliklerine karşı göstereceği direnci ve dayanımı belirtmek için uygulanan muayene yöntemleridir. Bu yöntemler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Sertlik deneyi,
2. Çekme deneyi,
3. Basma deneyi,
4. Eğme deneyi,
5. Çentik darbe deneyidir.

Mekanik deneyler içerisinde en basit olanı sertlik deneyidir. Bu deney, hasar analizinde değişik amaçlar için kullanılabilir. Sertlik deneyi birçok uygulamaların yanı sıra parçaya uygulanan ısıtıl işlemin değerlendirilmesinde, çeliğin çekme dayanımını yaklaşık olarak tahmin etmede, pekleşmeyi tespit etmede veya aşırı ısınma sonucu karbon kaybı yoluyla oluşan yumuşamayı belirlemede kullanılabilir. Sertlik deneyi özel deney parçası hazırlığı gerektiren haller dışında temelde tahribatsız bir deneydir.

Diğer mekanik deneyler ise, hasara uğramış elemanın şartnamelere uygunluğunu onaylamada veya parçanın yüzey şartlarının mekanik özelliklere etkisini değerlendirmede yararlıdır. Deney parçalarının imalatı için yeterli malzemenin olması şartıyla, gerekli olduğunda çekme, yorulma ve darbe deneyleri yapılmalıdır. Ayrıca kırılma tokluğunun deneysel olarak saptanması da gerekebilir.

Mekanik deney sonuçlarının değerlendirilmesinde dikkatli olmak gerekir. Örneğin küçük numuneler kullanılarak yapılan deney sonuçlarının, çok daha büyük

parçaların özelliklerini temsil etmesi istenir. Bu durumda değerlendirme hatalarının ortaya çıkması olasıdır.

Önemli mekanik deneylerden olan çekme deneyi hasar analizi yapılırken çok fazla tercih edilmemelidir. Bunun nedeni; çekme deneyi numunesinin hazırlığı zaman alıcı ve maliyetinin yüksek olmasıdır. Ayrıca numunelerin alındığı yerler ve doğrultular dikkatle belirtilip numune alım esnasında talaş kaldırma ve kesme sırasında oluşan ısının numuneyi etkilememesine dikkat edilmelidir (Eryürek 1993).

1.2.6.1. Sertlik deneyi

Sertlik; bir malzemenin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Diğer bir ifadeyle, bir malzemenin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir (Savaşkan, 1999). Bir malzemenin yüzeyine batırılan bir uca karşı, malzemenin gösterdiği direncinin ölçülmesi esasına dayanır. Batırılan ucun oluşturduğu izin büyüklüğü, malzemenin sertliği ile ters orantılıdır; yumuşak malzemelerde oluşan izin alanı, sert malzemelerde oluşan izin alanından büyüktür. Laboratuvarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçme yöntemlerinden, yaygın olarak Brinell, Rockwell ve Vickers sertlik ölçme yöntemleri tercih edilir.

a. Brinell sertlik ölçme yöntemi

Bu yöntem, sertleştirilmiş çelik bir bilyenin belirli bir kuvvetle malzeme yüzeyine bastırılması ve malzeme yüzeyindeki oluşan izin çapının ölçülmesi esasına dayanır. Sertlik değeri uygulanan kuvvetin büyüklüğünün malzemede meydana getirdiği izin alanına bölünmesiyle bulunur. Çelik bilyelerle en çok 400 HB değerine kadar sertlik ölçülmelidir. 550 HB' ye kadar sert metal (sinter tungsten karbür) bilye kullanılarak ölçüm yapılabilir. Ancak daha yüksek sertliğe sahip metallerde bu deneyi yapmak uygun değildir (Çelik ve Taşdemir 2017).

Brinell sertlik değeri;

$$HB = \frac{F}{A} \quad \text{eşitliği ile hesaplanır.} \quad (1)$$

HB : Brinell sertlik değeri, kg/mm^2

F : Uygulanan yük, kg

A : Malzemede batıcı uç bilyenin oluşturduğu alan, mm^2

b. Vickers sertlik ölçme yöntemi

Brinell Sertlik Ölçme yönteminde olduğu gibi bu yöntemde de uygulanan kuvvetin büyüklüğünün malzemede meydana gelen izin alanına bölünmesiyle bulunur. Aralarındaki fark ise, Vickers sertlik ölçme yönteminde bilye yerine; 136 derece tepe açılı ve tabanı kare olan elmas piramit batıcı ucun kullanılmasıdır. Piramit şeklindeki batıcı ucun malzeme üzerinde oluşturduğu izin köşegen uzunluklarının ölçülmesi ile bulunur (Çelik ve Taşdemir 2017).

Vickers sertlik değeri;

$$HV = \frac{F}{A} \text{ veya } HV = 1.854 F/d^2 \quad \text{eşitliği ile hesaplanır.} \quad (2)$$

HV : Vickers sertlik değeri, kg/mm^2

F : Uygulanan kuvvet, kg

A : Numune üzerindeki izin yüzey alanı, mm^2

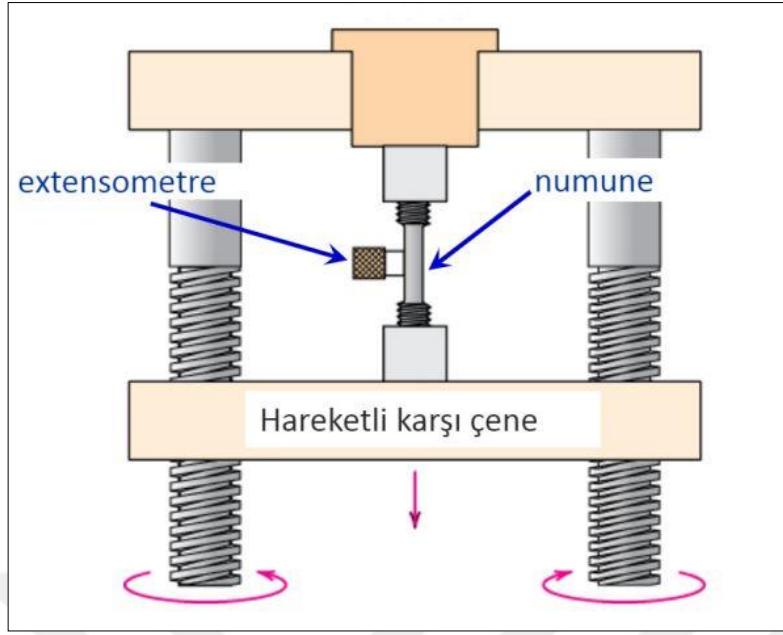
d : Numune üzerindeki izin köşegen boyu, mm

c. Rockwell sertlik ölçme yöntemi

Rockwell sertlik ölçme yönteminde sonuçlara yüzey pürüzlüğünün etki etmemesi için standart batıcı uç 10 kg'lık bir yük ile malzeme yüzeyine bastırılır. Ön yükleme değeri sıfırlanır. Oluşan izin dip noktası ana yükün başlangıç noktası kabul edilir. İkinci olarak ana yük uygulanır ve göstergeden Rockwell sertlik değeri okunur. Rockwell sertlik değerinde iki adet skala vardır. Bu skalalar yumuşak malzemeler için HRB değerini gösteren ve sert malzemeler için HRC değerini gösteren skalalardır. Sert malzemelerde konik tipli batıcı uç kullanılırken, yumuşak malzemeler için silindirik batıcı uç kullanılmaktadır (Çelik ve Taşdemir 2017).

1.2.6.2. Çekme deneyi

Çekme deneyi malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir tahribatlı muayene yöntemidir. Bu deney şekil 1.7'de şematik olarak gösterilen çekme cihazı olarak adlandırılan cihazlarla, numunenin iki ucundan bağlanıp genellikle kopuncaya kadar çekilmesi esasına dayanır. Çenelerden birisinin sabit hızla hareket ettirilmesi ile numuneye çekme kuvvetleri uygulanır ve uzama miktarı kaydedilir (Aslanlar 2016).



Şekil 1.7. Çekme deneyinin çalışma prensibi

Çekme deneyi ile elde edilen bazı malzeme mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Elastisite katsayısı (E)
- Elastiklik sınırı
- Rezilyans (u_r)
- Akma gerilmesi
- Çekme dayanımı (Maksimum gerilme)
- Uzama (%)
- Kesit daralması (%)

a. Elastisite katsayısı (E): Gerilme (σ) ile gerinme (ϵ) arasındaki ilişkiyi belirleyen ve malzemenin temel özelliklerinden olan bir değerdir. Aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$E = \sigma / \epsilon \quad (3)$$

E: Elastisite katsayısı, N/m^2

σ : Gerilme, N/m^2

ϵ : Gerinme, m/m

b. Elastiklik sınırı: Malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığı zaman plastik uzamanın görülmediği veya elastik uzamanın meydana geldiği en yüksek gerilme olarak tanımlanır.

c. Rezilyans (u_r): Elastik şekil değişimi esnasında, malzeme tarafından depolanan enerji miktarıdır. Bu enerji, gerilme-birim uzama eğrisinin altında kalan alana eşittir. Deney, numunenin kırılması ile sonuçlanırsa bu enerji geri verilir. Gerilme ile gerinme arasında

lineer bir ilişki doğrultusunda, en yüksek gerilme değeri olan orantısal gerilme (σ_{pl}) Gerilme-Gerilme diyagramından okunarak rezilyans(u_r) değeri aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$u_r = \frac{1}{2} \sigma_{pl} \varepsilon_{pl} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{pl}^2}{E} \quad (4)$$

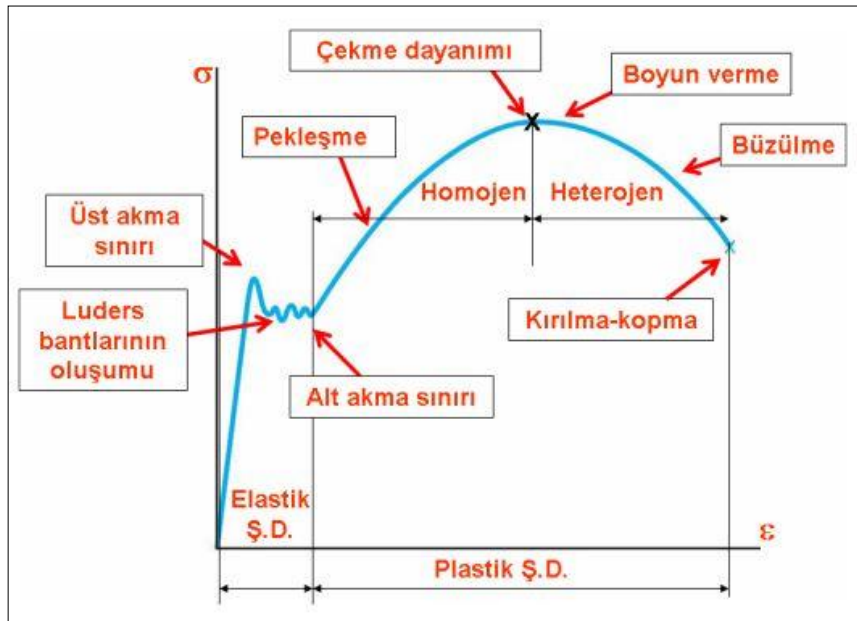
u_r : Rezilyans, N/ mm²

σ_{pl} : Orantısal gerilme, N/ mm²

ε_{pl} : Orantısal gerinme, N/ mm²

E : Elastise katsayısı, N/ mm²

d. Akma gerilmesi: Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değişiminin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği gerilme değeridir. Bazı durumlarda malzemenin çekme diyagramında akma noktası belirgin değildir. Bu gibi durumlarda %0,2 uzamanın olduğu noktadan elastik bölgedeki eğriye paralel, düz bir çizgi çizilir. Çizginin çekme eğrisini kestiği nokta akma noktası olarak kabul edilir. Malzemenin elastik ve plastik davranışının ayırt edildiği nokta olarak da söylenebilir. Deney sonrası elde edilen gerilme-gerinme grafiği örneği Şekil 1.8.'de verilmiştir (Aslanlar 2016).



Şekil 1.8. Gerilme-gerinme grafikleri örnekleri

e. Çekme dayanımı (Maksimum gerilme): Numunenin kopmadan dayanabileceği ve diyagramdaki en yüksek gerilme değeridir.

f. Uzama (%): Son ölçü uzunluğu ile ilk ölçü uzunluğunun farkının, ilk ölçü uzunluğuna oranının yüzde olarak ifadesidir.

$$\delta(\%) = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100 \quad (5)$$

$\delta(\%)$: Uzama (%)

L_u : İlk boy, mm

L_0 : Son boy, mm

g. Kesit daralması (%): İlk kesit alanı ile son kesit alanı farkının, ilk kesit alanına oranının yüzde olarak ifadesidir.

$$Daralma(\%) = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100 \quad (6)$$

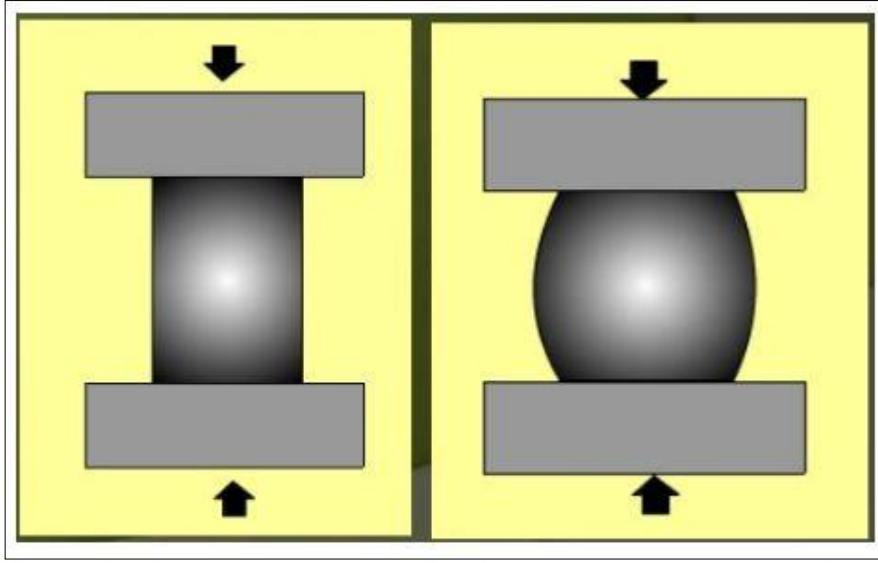
S_0 : İlk kesit alanı, mm²

S_u : Son kesit alanı, mm²

Deney numunesi olarak uluslararası standartlarla belirlenmiş genelde silindirik veya dikdörtgen kesitli malzemeler kullanılmaktadır. Deney sonuçlarının alındığı numunelerin orta kısmının kesit alanı, numunenin cihaz tarafından tutulduğu kenar kısımlarının kesit alanından küçüktür (Aslanlar 2016).

1.2.6.3. Basma deneyi

Çekme deneyinin tersi olarak kabul edilen basma deneyi, deney parçasına basma kuvveti uygulanarak yapılır. Belirli standartlara göre hazırlanan deney numunesinin parçalanıncaya kadar basılması işlemidir. Çekme deneyinde numunede görülen boyun verme olayı meydana gelmez aksine sünek malzemelerde numunenin kesiti sürekli arttığından fıçı olarak adlandırılan şişme meydana gelir (MEB 2011).



Şekil 1.9. Basma deneyinde numunede görülen fiçilaşma (<https://nblog.net.>)

Basma deneyinde akma sınırı basıya ve ezilmeye zorlanan sünek malzemelerin dayanım sınırı olarak alınır ve aşağıda verilen bağıntısıyla hesaplanır (Can 2006).

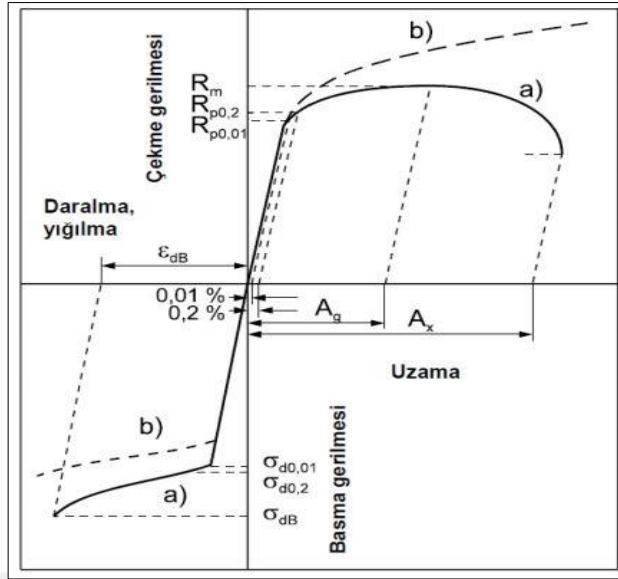
$$\sigma_{bA} = F_A / S_0 \quad (7)$$

σ_{bA} : Basma akma sınırı, N/ mm²

F_A : Basma kuvveti, N

S_0 : Numunenin ilk kesit alanı, mm²

Çekme deneyinde olduğu gibi basma deneyinde de basma diyagramı elde edilir ve bu diyagram çekme diyagramına benzer. Basma deneyi ile çekme deneyi arasındaki en önemli fark basma deneyi sırasında numunenin çapının devamlı artmasının sonucu olarak deneyin sonuna doğru basma gerilmelerindeki ani yükselmedir (Savaşkan 1999).

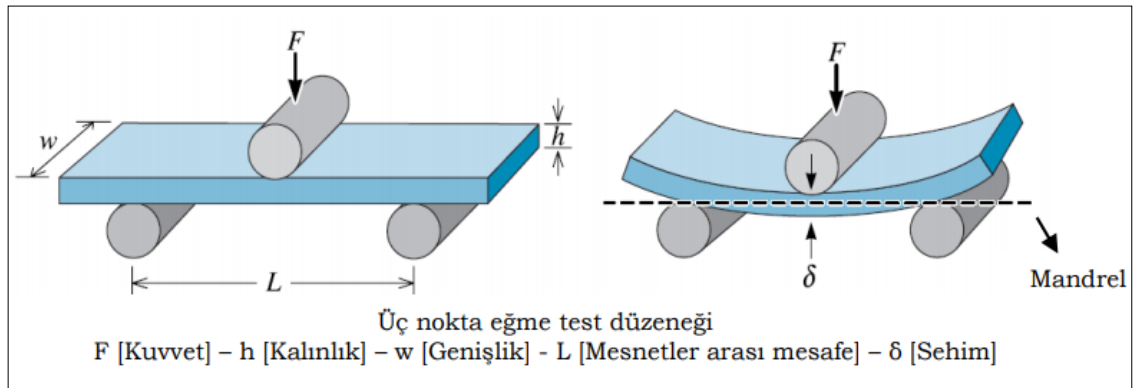


Şekil 1.10. Basma -çekme gerilmesi (MEB 2011)

1.2.6.4. Eğme deneyi

Eğme iki destek üzerinde serbest biçimde duran deney numunesine kuvvet uygulanması ile numunede meydana gelen şekil değişikliğine denir (Savaşkan 1999). Eğme deneyi kuvvet uygulanan malzemenin dayanımı hakkında tasarım bilgilerinin belirlenip eğilmeye karşı mekanik özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla yapılan bir mekanik deneydir. Numuneye uygulanan kuvvet etkisiyle numunenin iç yüzeyinde basma gerilmeleri, dış yüzeye yakın kısımlarda ise çekme gerilmeleri meydana gelir.

Eğme deneyi sonucunda; eğme momenti [Me], Eğilme gerilmesi [σe], Elastisite modülü [Ee], Sehim miktarı [δ] değerleri hesaplanabilmektedir (Anonim 3).



Şekil 1.11. Üç nokta eğme deneyi test düzeneği

1.2.6.5. Çentik darbe deneyi

Çentik darbe deneyi malzemelerin çarpma dayanımlarını ya da kırılma enerjilerini ölçmek amacıyla yapılır. Üzerine çentik açılmış bir numuneye belirli yükseklikten serbest bırakılan sarkaç ile darbeye maruz bırakılması esasına dayanır. Darbeden sonra sarkacın çakabileceği maksimum yükseklik ölçülür. Sarkaç darbeden sonra çıkabildiği yükseklik ne kadar az ise numunenin soğurduğu enerji o kadar çok demektir (MEB 2011) Bu da malzemenin direncinin ve tokluğunun yüksek olması anlamına gelir. Çentik darbe deneyi standart çentik içeren bir numunenin darbe etkisi ile kırılması için gerekli enerjinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Ölçülen bu enerji darbe dayanımı (direnci) olarak adlandırılır ve birimi joule'dür ve aşağıdaki formül ile hesaplanır (MEB 2011).

$$\text{Kırılma enerjisi (J)} = G.(h-h^1) = G.L(\cos\beta - \cos\alpha) \quad (8)$$

G : Sarkacın ağırlığı (kg)

h : Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m)

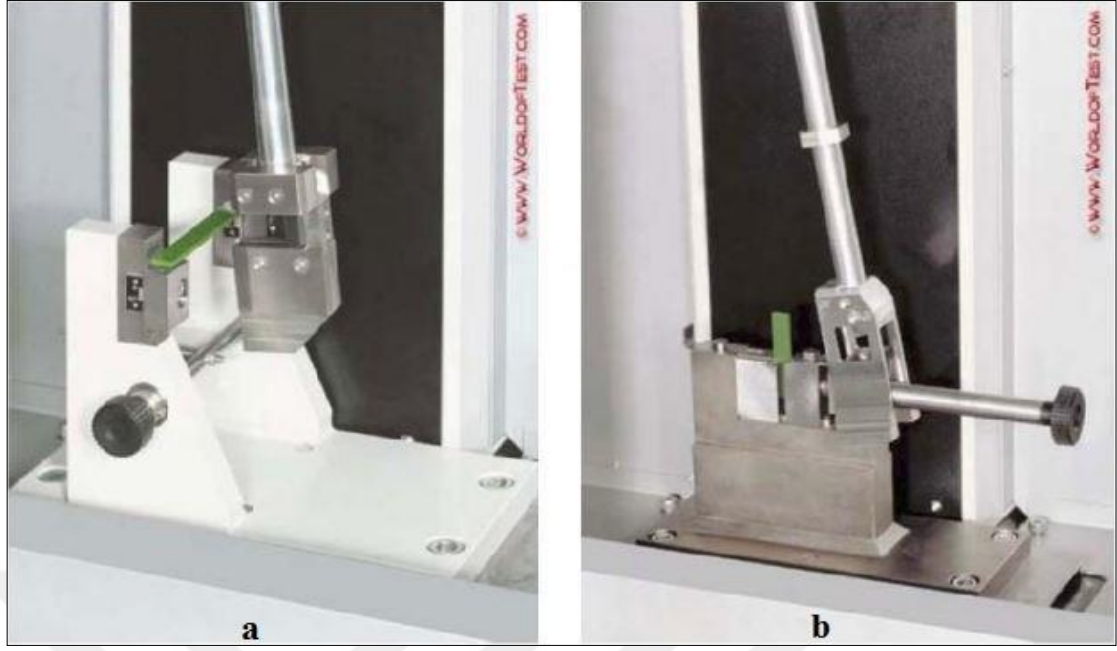
h^1 : Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m)

L : Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine olan uzaklığı (m)

β : Yükseliş açısı (derece)

α : Düşme açısı (derece)

Çentik darbe testinin iki farklı yöntemi vardır. Bunlar Charpy ve Izod yöntemleridir. Şekil 1.12'de gösterilen bu iki yöntemin arasındaki fark Charpy deneyinde numune iki mendeneye yatak olarak yaslanır ve numunenin ortasındaki çentiğe sarkaçtaki çekiç darbesi uygulanır (Anonim 4). Izod yönteminde ise numune kavrama ünitesine dikey olarak çentik bölgesine kadar yerleştirilip bir ucu serbest bırakılarak çekiç darbesi uygulanır (Savaşkan 1999).



Şekil 1.12. Charpy (a) ve İzod (b) deney düzenekleri

1.2.7. Kırık yüzeylerin seçimi, saklanması ve temizlenmesi

Kırık yüzeyler önemli delilleri içerdiği için analiz yapılırken dikkatli olmak gerekir. Eğer dikkatli olunmaz ise kırık yüzeylerde mekanik veya kimyasal tahripler meydana gelebilir. Elemanın ön incelenmesi, taşınması ve laboratuvar incelemeleri esnasında başka bir cismin çarpması veya kırık yüzeyi başka bir cisme çarpma, kırık bölgelere parmakla dokunma veya kırılan elemanın kendisinden ayrılan parçası ile birleştirilmeye çalışılması ile kırık yüzeyde tahripler oluşabilir. Kırık yüzeyin taşınması işlemi yumuşak bir dokulu bir bez ile sararak gerçekleştirilirse taşıma sırasındaki tahripler engellenmiş olur. Fakat pamuk vb. yumuşak dokulu malzemeler kırık bölgesinin genel değerlendirilmesi aşamasında kanıt olabilecek yabancı maddelerin uzaklaşmasına sebep olabilir (Eryürek 1993). Değerlendirme tamamlandıktan sonra kırık bölge mikroskop ile incelemenden önce bu incelemeyi önleyen kirler temizlenir. Temizleme kuru hava ve yüzeyin dokusuna zarar vermeyecek yumuşak kıllı fırçalar ile yapılmalıdır. Kırık yüzeylerde hava veya fırça ile temizlenemeyecek kir, pas vb. veya yüzey yağlı ise parça inorganik çözeltilere daldırılır ya da yüzeye bu çözeltiler uygulanır. Bu çözeltiler yüzey üzerindeki kirlere etki edip malzemenin kendisine herhangi bir etkide bulunmazlar (Eryürek 1993).

1.2.8. Metalografik incelemeler

Metalografik inceleme malzemenin iç yapısını incelemek amacıyla yapılır. Bu inceleme ile tane boyutu, porozite, faz analizi, çatlak ve diğer kusurlar, korozyon ve malzemenin geçmişte gördüğü işlemler gibi iç yapısı hakkında bilgi verir.

Metalografik inceleme iki tipte yapılır. Bunlardan birincisi makroskobik incelemedir. Makroskobik inceleme göz ile, bir büyüteç ile veya düşük büyütme mikroskoplarla yapılır. Ayrıca deney parçalarının, yüksek büyütme ve çözünürlük

sağlayacak cihazlarla çekilmiş fotoğraflar ile de kırık yüzey incelenir. Kırık yüzeyinin geometrisinin incelenmesiyle hasara neden olan gerilme sistemi hakkında bilgi edinilebilir (Eryürek 1993). Metalografik incelemelerin ikincisi ise mikroskobik incelemedir. Mikroskobik inceleme yüksek büyütmeli mikroskoplarla gerçekleştirilir. Bu mikroskoplar, optik mikroskoplar, transmisyon elektron mikroskopları ve tarayıcı elektron mikroskoplarıdır.

Metalografik incelemenin en önemli aşaması numunenin alınması kısmıdır. Alınan numunenin her açıdan numune alınan ana parçayı temsil etmesi gerekir (Eryürek 1993). Ana kriter, numunenin inceleme amacına uygun olmasıdır; yani numune, ya genel mikro yapı incelenmesine veya sadece bir veya birkaç belirlenmiş parametrenin (tane boyutu, kırılma veya çatlama türü vb.) incelenmesine imkân verecek şekilde alınmalıdır (Zeytin vd. 2019). Numune alma işlemi incelenecek amaca uygun şekilde keserek ya da kırarak, özel kesme cihazlarının yanı sıra, torna, testere, kesici taş, çekiç kullanılarak yapılır. Bu işlemler esnasında malzemede tahribatlar meydana gelebilir. Minimum seviyede ısınma ve deformasyon olmasına dikkat edilmelidir. Eğer numune alınacak parça büyük ise kesme işlemi alevle yapılır fakat bu kesme işlemi kırık yüzeyden uzakta yapılmalıdır. Zira ısının etkisi malzemenin mikro yapısında değişikliğe sebep olabilir. Küçük parçalardan numune alınacak ise veya kesme kırık yüzeye yakın bir yerde yapılmak zorunda ise ısının etkisi de düşünülerek sıvı soğutucular kullanılmak zorunda kalınabilir. Kullanılacak sıvı soğutucular, numunede korozyona sebep olmayacak yağ ve yağ karışımlarından olmalıdır. Mikroskopla incelemede, incelenecek numunenin yüzeyinin pürüzsüz ve düz olması gereklidir. Kesme işlemleri esnasında ortaya çıkacak çizikler veya pürüzler uygun ince zımparalarla alınır hatta ihtiyaç durumunda parlatma işlemi yapılır. Numunenin düz zeminde duramaması ya da çok küçük olması durumunda numune kalıplanır.

1.2.9. Kırılma tipinin saptanması

Kırılma tipinin saptanması kırılma nedeninin bulunması açısından önemlidir. Kırılma nedenini anlamak için önce kırılma tipinin saptanması gerekmektedir. Yüzeyde yapılan makro ve mikro incelemeler sonucunda kırılma tipi saptanabilir. Bazı kırılma tipleri; gevrek kırılma, sünek kırılma, yorulma kırılması, gerilmeli korozyon çatlama, sünme ve sünme kopmasıdır (Eryürek 1993).

1.2.10. Kimyasal analiz

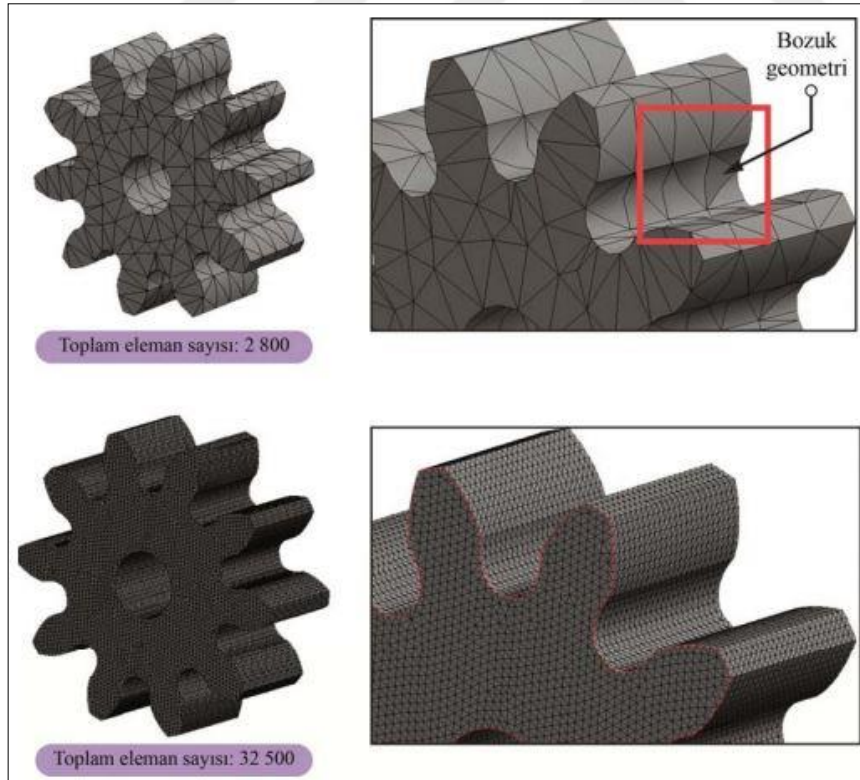
Hasarlı elemanın malzemesinin belirtilen malzeme olup olmadığını saptamak amacıyla kimyasal analiz yapılır. Bir malzemede kimyasal analiz sonucunda elde edilen verilerde malzemenin kimyasal kompozisyonu ortaya çıkarılır. Ortaya çıkan tabloda bir elementin olması gereken miktarından fazla olması hasar sebebi olarak görülmez. Belli sınırlar içinde, mikro yapısal bileşenlerin malzeme içindeki dağılımı, bunların malzeme içindeki oranlarından çok daha önemlidir (Eryürek 1993)

1.2.11. Sonlu elemanlar analizi (FEA)

Sonlu elemanlar metodu (Finite Element Method: FEM), çeşitli alanlardaki mühendislik problemlerine yaklaşık çözümler bulmak için kullanılan sayısal bir analiz tekniğidir. Bu metot ilk olarak 1950’li yıllarda, uçak-uzay endüstrisinde karmaşık yapıların gerilme analizlerinin yapılabilmesi amacı ile geliştirilmiştir (Fetvacı 2001).

Metodun esasları üzerinde yapılan çalışmalar ve farklı disiplinlerdeki problemlere uygulanabilirliği ile bugün biyomekanikten nükleer teknolojiye kadar birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Özellikle sürekli gelişen teknoloji ile bilgisayarların güçlenmesi bu metodun yaygınlaşmasını sağlamıştır. Ayrıca, bu yönde birçok sonlu eleman metodu ile çözüm veren bilgisayar paket programları ortaya çıkmıştır. Bu programlar ile karmaşık yapıları problemlerin çözümü kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Geliştirilen FEM paket programları ile çözümü istenen problemin verilerinin hazırlanması, çözümlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi bilgisayar ortamında kolaylıkla görülebilmektedir (Miralbés ve Castejón 2009). Bugün uygulamada en çok kullanılan FEM paket programları arasında ANSYS, NASTRAN, ABAQUS, SOLIDWORKS-SIMULATION yazılımları örnek olarak verilebilir. Sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen analizler Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) olarak da adlandırılmaktadır.

Sonlu elemanlar analizinde analizin doğruluğu, seçilen elemanın sayısı ve tipinin seçimine bağlıdır. Analizin türüne göre, seçim en uygun şekilde yapılmalıdır. Eleman sayısının ve düğüm noktalarının artırılması analizin doğruluk oranını artırmaktadır (Şekil.1.13). Ancak, bu faktörlerin artırılması çözümün süresini de artırmaktadır. Yapılacak doğru yorumlarla, modelde kritik sayılan bölgelerde eleman sayısını artırmak, daha az kritik bölgelerde ise eleman sayısını azaltmak geçerli bir yöntemdir (Çelik 2013).



Şekil 1.13. Sonlu elemanlar yönteminde eleman sayısının etkisi

Sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan farklı yazılımlardaki uygulama adımları birbirine benzerdir.

Bu adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Modelleme, bu aşama elemanın katı modelinin oluşturulması aşamasıdır.

Eleman seçimi, analiz türüne göre ve modelin geometrik şekline göre eleman sayısı ve eleman boyutunun seçilmesidir.

Malzeme özelliklerinin tanımlanması, malzemeye ait bazı teknik verilerin programa tanıtılması aşamasıdır. Bu veriler, belirli bir yük altında analizi yapılan yapının davranışı, malzemenin elastisite modülü, poisson oranı ve ısı genleşme katsayısı gibi verilerdir.

Sonlu eleman modeli ağ örgüsünün oluşturulması,_bu aşama, geometrik yapının, önceden davranışı belirlenmiş belirli sayıda elemana bölünmesi (Meshing) aşamasıdır. Seçilecek elemanın boyutları, paket program tarafından otomatik olarak seçilir veya tasarımcı tarafından belirlenir.

Yüklerin ve sınır koşullarının belirlenmesi, bu aşamada problemin tanımına uygun şekilde gelen yüklerin ve sınır koşullarının belirlenmesi aşamasıdır.

Çözüm, yük değerleri ve sınır koşulları belirli olan bir modelin, sonlu sayıda oluşturulan elemanları arası kurulan denklemlerin çözülmesi ve sonuçların ortaya çıkarılması işlemlerini kapsamaktadır.

Son işlem, bu aşamada analiz sonuçları görselleşir ve bu sonuçlar değerlendirilir.

1.2.12. Delillerin analizi, sonuçlar ve analiz raporu

Ön inceleme, olay öncesi bilgilerin toplanması ve yapılan tahribatsız ve mekanik testler sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilir. Hasara sebep olan teknolojik hata saptanır ve tekrarlanmaması için çözüm önerilerini içeren bir hasar analiz raporu hazırlanır.

Hazırlanan analiz raporu;

1. Hasar analizi yapan kişi/kurum bilgisi,
2. Hasarlı parçaların ne olduğu ve kullanılan makineler hakkında detaylı bilgi,
3. Hasarın cinsi ve fotoğrafları,
4. Yapılan bireysel kontrol ve incelemeler,
5. Hasar nedenleri,
6. Hasardan korunma yöntemleri,
7. Çözüm önerilerine yer verilen bilgilerden oluşmaktadır.

1.3. Temel Neden Analizi

Hasar analizinin temel amacı, hasara sebep olan hatayı bulmaktır. Hasar incelenir, hasara sebep olan temel neden bulunur ve tekrar ortaya çıkmaması için çözüm önerileri sunulur. Bulunan hasar sebepleri doğru ise hasar engellenmiş olur (Kanbir 2014). Bazı

mühendislik dallarında karşılaşılan hasar sebeplerinin % miktarı Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Hasar sebepleri (Alsaran 2019)

Hasar Sebebi	%
Yanlış malzeme seçimi	38
Üretim hatası	15
Hatalı ısı işlem	15
Tasarım hatası	11
Beklenmeyen çalışma koşulları	8
Uygun olmayan ortam koşulları	6
Kalite kontrol eksikliği	5
Malzeme karışması	2

Temel neden analizi üç aşamadan oluşur. Bunlar, fiziksel nedenler, insandan kaynaklanan nedenler ve gizli nedenlerdir. Fiziksel nedenlerden kaynaklanan çoğu hasar laboratuvar incelemeleri ve mühendislik analizleri ile sonlandırılır. Diğer iki nedeni ise insan faktörü ve beklenmeyen kontrol dışı nedenleri kapsar (Kanbir 2014).

1.3.1. Fiziksel nedenler

Fiziksel nedenler dört grupta toplanır. Bunlar;

1. Tasarımdaki eksiklikler,
2. Malzeme hataları,
3. Üretim hataları,
4. Servis ömründeki hatalardır.

1.3.2. Tasarımdaki eksiklikler

Tasarım aşaması, orijinal fikrin gelişimi, genel konfigürasyonun tanımı ve detaylı dizayn, malzeme seçimi ve üretim aşamalarını içerir. Tasarımdaki eksikliklere; son derece keskin çentiğe bağlı olarak gerilmelerin artması, karmaşık geometriyle tasarlanmış ısı işlem konfigürasyonlarının neden olduğu yüksek gerilmeler, istenmeyen engeller içeren konfigürasyonlardan kaynaklanan bağlantı gerilmeleri örnek olarak verilebilir.

1.3.3. Malzeme hataları

Ürünün performansını olumsuz yönde etkileyen süreksizlikler malzeme hatalarıdır. Üretimde gerekli ölçüm ve analizler yapılsa da hataların oluşumu engellenemez. İmalathane, dökümhane veya ısı işlem fırınlarında üretilen birçok hatalı ürün kalite sistemlerine takılır ve böylelikle hatalı ürünlerin piyasaya sürülmesi önlenir.

1.3.4. Üretim hataları

Üretim; teknik bilgilerde ve ham malzemeyle yeni bir ürün oluşturma aşamalarına verilen isimdir. Tesis ise üretimin yapıldığı fabrika veya kuruluştur. Tüketiciden hatalı olduğu için iade edilen ürünün analizi yapılırken, üretim işlemleri veya tesiste kurulumu yanlış yapılan cihazlar dikkate alınmalıdır. Kontrol limitlerini çok aşan sapmalara izin verildiği takdirde hatalı ürün çıkar (Gökşenli ve Eryürek 2007).

1.3.5. Servis ömründeki hatalar

Bir ürünün servis ömrü bu ürünün çalışma şekli, bakımı, muayenesi, tamiri ve modifiyesini içermektedir. Bu sayılan durumlardan herhangi birinde oluşan hasar; tasarım aşamasında, malzeme temininde ve ürünlerin imalatı esnasında meydana gelir. Bu hasarların nedenleri; servis sırasında kirli yağ kullanımı, montaj öncesi motor parçaların (motor bloğundaki yağ kanalları, krank mili kanalları, piston kolu kanalları vs.) yeterince temizlenmemesi, yağ filtre değişiminin düzensiz yapılışıdır.

1.4. Hasar Tipleri (Mekanizmaları)

Hasarın dört temel mekanizması vardır. Bunlar 1. Deformasyon, 2. Kırılma, 3. Korozyon ve 4. Yorulmadır. Bazı hasarlarda bu mekanizmaların iki veya daha fazlası aynı anda bulunabilir.

1.4.1. Deformasyon

Bir yapının veya yapı elemanının şekil değişimi sonucu oluşur. Deformasyon sonucu eleman kendisinden beklenen işlevi yerine getiremeyebilir, taşıması gereken yükü taşıyamaz hale gelebilir ya da başka elemanın çalışmasını engelleyebilir. İki tip deformasyon mevcuttur.

1. **Boyut deformasyonu:** Hacim değişimi anlamına gelir (büyüme veya kendini çekme).
2. **Şekil deformasyonu:** Geometrik şeklinde değişme anlamına gelir (eğilme veya çarpılma).

Deformasyon hasarları plastik ve elastik olabilirler, kırılmayla da sonuçlanabilirler (Eryürek 1993).

1.4.1.1. Plastik deformasyon

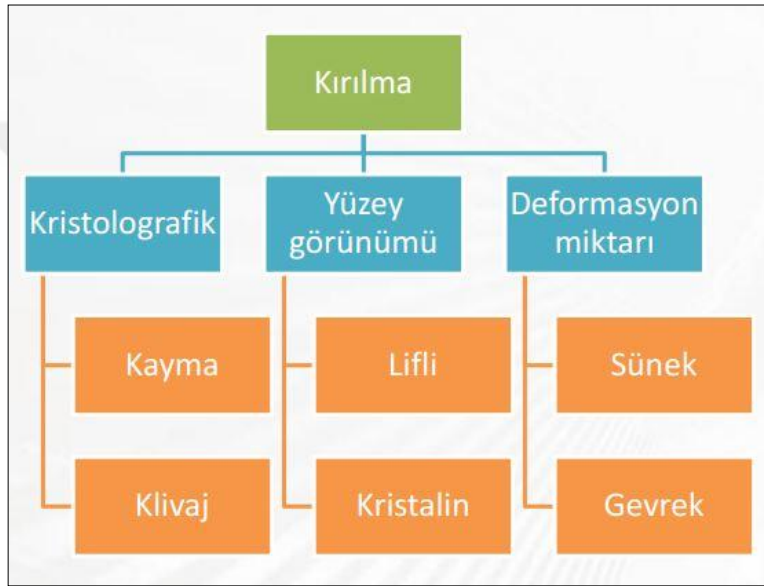
Elemana etkiyen kuvvetin eleman üzerinde oluşturduğu gerilmelerin elastik sınırı aşması sonucu elemanda kalıcı bir şekil değişikliğinin görüldüğü hasar tipidir. Şekil kalıcı şekil değişikliği olduğu için tanısı kolaydır. Plastik distorsiyon hasarına karşı tasarımda kullanılacak malzeme parametresi, malzemenin akma dayanımıdır (Eryürek 1993).

1.4.1.2. Elastik deformasyon

Elemana etkiyen kuvvetin oluşturduğu gerilmelerin elastik sınıra kadar olan bölgedeki şekil değişimidir. Uygulanan kuvvet kaldırıldığında eleman eski şekline geri döner (Eryürek 1993).

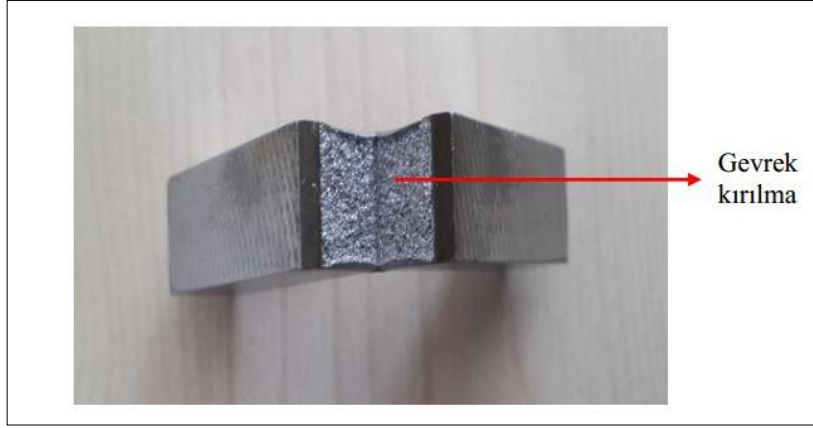
1.4.2. Kırılma

Kırılma, bir yapı veya yapı elemanının dış kuvvetlerin etkisi ile iki veya daha fazla parçalara ayrılmasına denir. Kırılma, eleman üzerinde önceden mevcut olan ya da sonradan oluşan çatlağın gerilmelerin etkisi ile ilerlemesi sonucu oluşur. Çatlağın boyu, etki eden yükün artırılmasıyla ilerliyorsa kararlı çatlak ilerlemesi, etki eden yük artırılmadan çatlak ilerliyorsa kararsız çatlak ilerlemesidir. Kararlı olan çatlak belirli bir seviyeye ulaştıktan sonra kararsız hale dönüşebilir. Kırılma, gevrek ve sünek olmak üzere iki tiptedir (Eryürek 1993). Kırılma tiplerinin, kristalografik ve yüzey görünümü arasında Şekil 1.14’deki gibi bir ilişki vardır (Alsaran 2019).



Şekil 1.14. Kırılma tipinin kristalografik ve yüzey görünümü ilişkisi

Gevrek Kırılma: Bu kırılma tipinde kırılmadan önce çok az plastik deformasyon vardır. Kırılma, parçanın genel akma gerilmesinden küçük gerilme değerinde oluşur. Yani eğilmeden önce kırılır. Kırılan parçalar bir araya getirilmek istenirse, görünüm olarak elemanın kırılmadan önceki şeklinin aynı görüntüsü elde edilebilir (Eryürek 1993). Kırık yüzeyi parlak ve kristalin görünümünde olan gevrek kırılma çok eksenli gerilmeler, ani zorlamalar ve düşük sıcaklığın etkisi ile meydana gelir (Alsaran 2019).



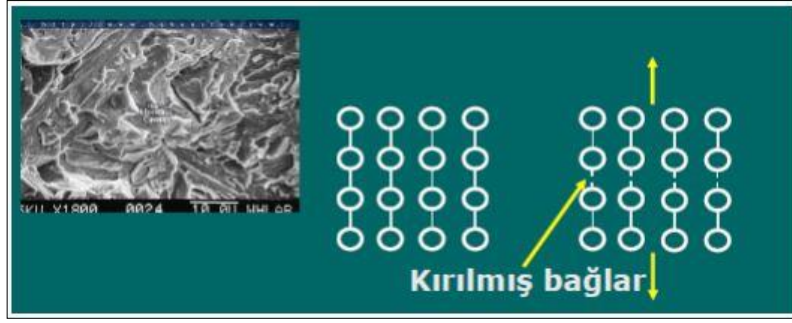
Şekil 1.15. Gevrek kırılma (Kanbir 2014)

Sünek Kırılma: Kırılmadan önce büyük miktarda plastik deformasyon vardır ve oldukça belirgindir. Kırılma, parçanın genel akma değerinden büyük gerilme değerinde oluşur. Kırılmadan önce eğilme gerçekleşir (Eryürek 1993). Bu kırılma tipinde kırılma yüzeyi mat ve lifli yapıdadır.



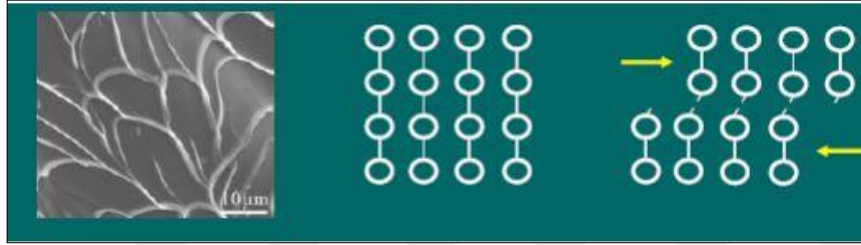
Şekil 1.16. Sünek kırılma

Klivaj (Ayrılma) kırılması: Kırılma düzlemine dik bağların kopması sonucu oluşan kırılma türüdür (Alsaran 2019). Tanelerin şekli bozulmaz kristalin kırılma oluşur ışığı yansıtır ve parlak görünümlüdür. Gevrek kırılmalar Şekil 1.17’de gösterildiği gibi klivaj kırılma şeklinde olur (Sarıbyık 2019).



Şekil 1.17. Klivaj kırılma

Kayma Kırılması: Kayma gerilmesinin kritik bir değeri aşması ile atom düzlemlerinin kayması sırasında atom bağlarının kopması ile meydana gelir. Mat ve lifli bir görünümü vardır. Sünek kırılma kayma kırılması şeklinde olur (Sarıbyık 2019).



Şekil 1.18. Kayma kırılması

1.4.3. Korozyon

Korozyon, genellikle malzemesi metalsel olan yapı ve yapı elemanlarının bulundukları ortamla kimyasal ve elektro kimyasal tepkimeye girerek bozunması ve işlevini yerine getiremez hale gelmesine denir. Bozunma kavramı, elemanların malzeme özelliklerindeki değişimdir (Çakır 2016). Korozyon malzemelerde tek başına hasar oluşturduğu gibi diğer hasar tiplerinin de meydana gelmesine sebep olabilir (Eryürek 1993). Gerçekleşen tepkimenin tipine göre ikiye ayrılır. Bunlar kimyasal ve elektro kimyasal korozyondur. Metal ve alaşımlarının, gaz ortamlar içindeki oksitlenmesi kimyasal korozyon, sulu ortamlarda bozulmaları ise elektro kimyasal reaksiyondur. Bütün metaller, tabiatta bulundukları mineral hâline dönüşme eğilimindedir. Element halinde kararlı olmayan metaller uygun bir ortamda üzerinde taşıdığı enerjiyi geri vererek kendiliğinden doğada bulunduğu eski bileşik haline dönmeye çalışır. Böylece korozyon reaksiyonlarında daima bir serbest enerji azalması söz konusu olur. Metallerin korozyona yatkınlığı doğrudan bu serbest enerji değişimine bağlıdır (Çakır 2016).

Korozyon türleri aşağıdaki gibidir.

1. Üniform korozyon
2. Ayrımlı korozyon
3. Aralık korozyonu
4. Çukurcuk korozyonu

5. Taneler arası korozyon
6. Erozyonlu korozyon
7. Korozyonlu yorulma

Üniform korozyon: Gözle kolay bir şekilde fark edilebilen, metal yüzeyine homojen bir şekilde etki eden bir korozyon tipidir. İncelen yüzeyin kalınlığı her yerde eşittir (Eker 2009).

Ayrımlı korozyon: Alaşımlarda elementlerden birinin korozyona uğrayarak ortamdan ayrılmasıyla oluşan korozyon türüdür (Eryürek 1993).

Aralık korozyonu: Dar aralıklarda ortaya çıkan korozyon tipidir. Kolayca fark edilemeyebilir. Bu aralığı oluşturan elementlerin her ikisinin de metal olması gerekmez. Cıvata, perçin bağlantılarının bulunduğu dar kısımlara korozyon sıvısının girmesi ile oluşur (Eker 2009).

Çukurcuk (Pitting) korozyonu: Metal yüzeylerinde çukur oluşturarak meydana gelen korozyon tipidir. Ağırlık azaltması yaratmasa da malzemeyi delerek hasar oluşturur.

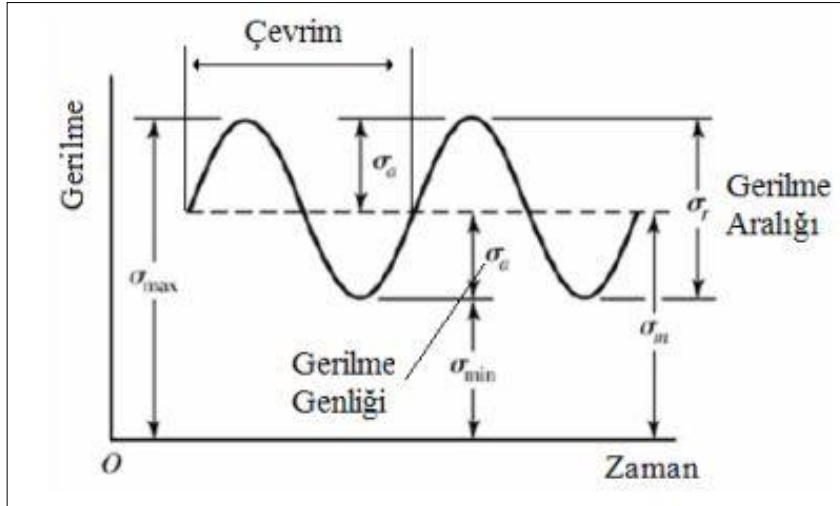
Taneler Arası korozyon: Metalin tane sınırlarına boyunca meydana gelen korozyon tipidir. Bu korozyon tipi çok küçük ağırlık kaybına sebep olsa da korozyon hızı tane sınır çizgilerinde çok hızlı seviyededir (Eker 2009).

Erozyonlu korozyon: Ortamdaki akışkan ile metal malzeme arasında gerçekleşir. Boru hatlarında, akışkanın yön değiştirdiği yerlerde ve pompalarda sık görülür.

Korozyonlu yorulma: Tekrarlı gerilme ve korozi ortamının birlikte etkisi ile meydana gelmektedir. Çatlak oluşumu, çatlak ilerlemesi ve kırılma evrelerinden oluşmaktadır. Kırılma yüzeyinde korozyon ürünlerine rastlamak mümkün olmaktadır (Aksoy 2015).

1.4.4. Yorulma

Yapı veya yapı elemanına etki eden tekrarlı yüklerin etkisi ile etki eden değişen gerilmelerle şekil 1.19'da zorlanan akma mukavemetinin altındaki düşük gerilmelerde belirli bir süre sonra tahrip olmasına yorulma, yükleme sonundaki kırılmaya ise yorulma kırılması denir (Özmen 2007).



Şekil 1.19. Yorulmada kullanılan değişkenler (Eryürek 1993)

Maksimum gerilme (σ_{max}): Gerilme periyodundaki en büyük gerilme (N/mm^2).

Minimum gerilme (σ_{min}): Gerilme periyodundaki en küçük gerilme (N/mm^2).

Ortalama gerilme (σ_m): Gerilme periyodundaki en büyük ve en küçük gerilmenin aritmetik ortalaması.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}, (N/mm^2) \quad (9)$$

Gerilme genliği (σ_a): Gerilme periyodundaki en büyük ve en küçük gerilmenin farkının ortalaması.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}, (N/mm^2). \quad (10)$$

Maksimum ve minimum gerilmeler arasındaki fark (σ_r)

$$\sigma_r: \sigma_{max} - \sigma_{min}, (N/mm^2). \quad (11)$$

Gerilme oranı (R)

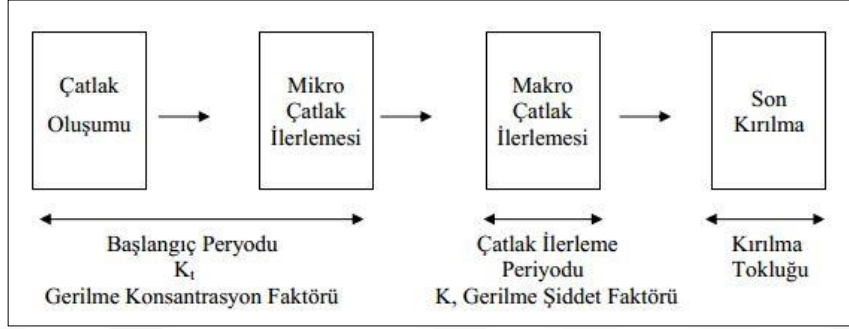
$$R = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}} \quad (12)$$

Genlik oranı (A)

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_r} \cdot (\text{mm}^2) \quad (13)$$

Çevrim sayısı (N): Deney sırasında herhangi bir durumda uygulanan periyot sayısı.

Yorulma hasarı Özmen (2007)' yere göre Şekil 1.20'de görüldüğü gibi üç ana safhada gerçekleşmektedir

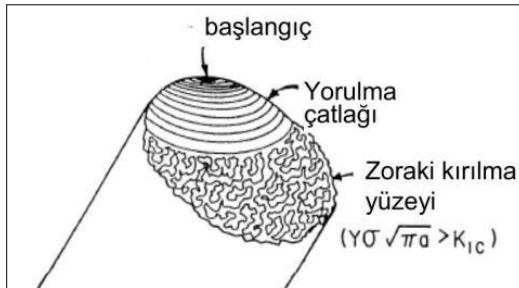


Şekil 1.20.Yorulma ömrü aşamaları

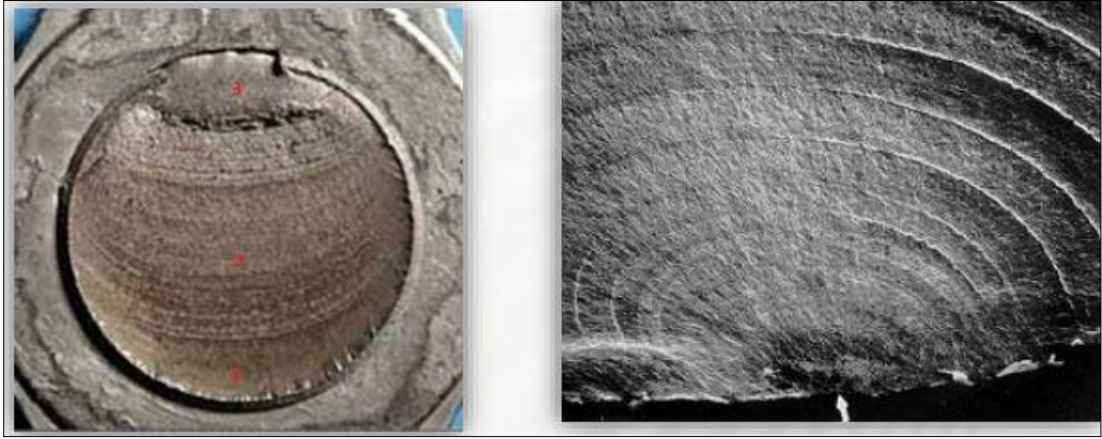
Malzeme iç yapısındaki kusur ve yüzeydeki çentik bölgelerinde oluşan deformasyonların şiddetli olduğu bölgede çatlak çekirdeklenmesi başlar ve çekirdeklenen çatlak yüksek kayma gerilmelerinin bulunduğu ve çekme doğrultusuyla 45^0 açı yapan kayma bandında ilerler. Bu aşama mikro çatlak ilerlemesi aşamasıdır. Kayma bandında ilerleyen çatlaklardan baskın olan çatlak ortaya çıkar ve yükleme eksenine dik konuma gelir. Bu aşama makro çatlak ilerleme aşaması ya da safha iki olarak (Özmen 2007). Son aşama ise kırılma aşamasıdır. Kırılma, sünek veya gevrek oluşabilir (Eryürek 1993).

1.4.4.1. Yorulma hasarında kırık yüzeyin görünümü

Yorulma hasarı sonrası oluşan kırılma yüzeyi üç farklı bölgeden oluşur. Şekil 1.21'de gösterildiği gibi bu bölgelerden birincisi çekirdeklenmenin başladığı çatlak odağı, ikincisi bu çekirdeklenme odağını çevreleyen çatlağın ilerlemesi safhasında oluşan bölge (yorulma çatlağı) ve üçüncüsü kırılma bölgesidir (Eryürek 1993). Yorulma yüzeyinin makro görünümü şekil 1.22'de gösterilmiştir.



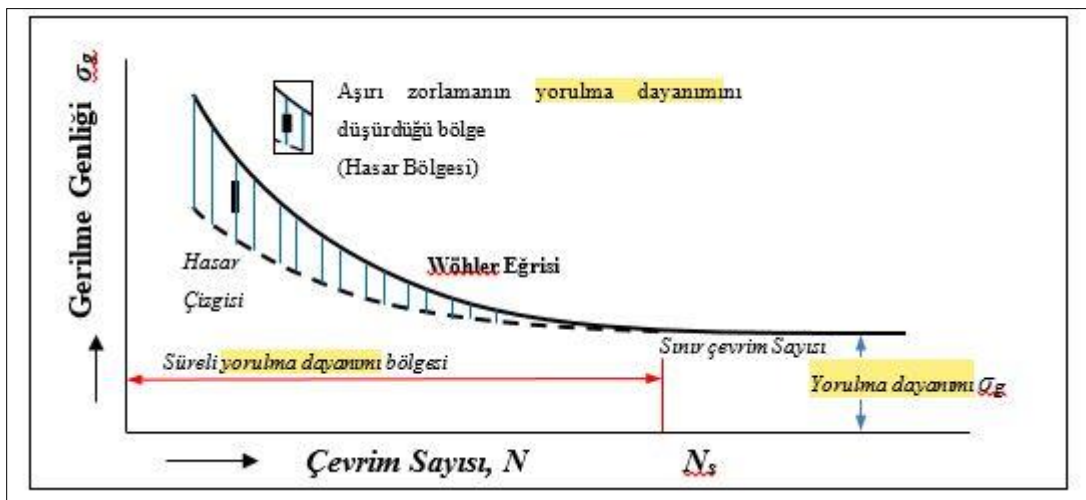
Şekil 1.21. Yorulma hasarının şematik görünümü (Alsaran 2015)



Şekil 1.22. Yorulma yüzeyinin görünümü (Alsaran 2015)

1.4.4.2. Yorulma dayanımının saptanması

Yorulma dayanımı genel olarak Wöhler yöntemi ile saptanmaktadır. Birbiri ile tüm yönleri (malzeme, biçim ve yüzey kalitesi) ile aynı olan test parçalarının her biri aralıksız şekilde ve farklı seviyelerde zorlanarak kırılmanın meydana geldiği çevrim sayıları saptanır. Yapılan bu testlerde çoğunlukla 6 ile 10 adet test numunesi kullanılır. Deneyin amacına, malzeme ve deney makinesine göre yük veya şekil değiştirme genlikleri kontrol edilir ve bu büyüklükler gerilme veya birim şekil değişimi değerlerine dönüştürülür. İlk test numunesinin testinde, numune üst gerilme akma sınırına yakın olacak şekilde zorlanır. Diğer numuneler gittikçe daha düşük zorlanmalar uygulanarak kırılma çevrim sayısının çok yüksek seviyelere ulaşması sağlanır. Tüm testler sonunda gerilme genlikleri ve kırılmanın olduğu çevrim sayılarının bir eğri olarak çizimi ile eğer noktalar büyük dağılmalar göstermiyorsa Wöhler eğrisi elde edilir (Güleç ve Aran 1983). Bu değişim Şekil 1.23’de gösterilmiştir.



Şekil 1.23. Wöhler Eğrisi

Yorulma dayanımını etkileyen faktörler, çentik etkisi, boyun etkisi, yükleme tipi, yüzey durumu, yüzey işlemleri, metalürjik değişkenlerin etkisi, sıcaklık ve çevre gibi faktörleridir (Özmen 2007).

1.5. Malzemelere Uygulanan Isıl İşlemler

Genel olarak ısıtma işlemi, malzemenin sertliği, tane yapısı ve mekanik özelliklerinin istenen değerlerde olmasını sağlamak amacıyla, malzemeye uygulanan bir dizi ısıtma ve soğutma işlemidir. Isıl işlem ile dayanımın artırılması veya azaltılması, işlenebilirliğinin iyileştirilmesi, iç gerilmelerin azaltılması ve soğuk şekil vermenin etkisini ortadan kaldırmak amaçlarıyla yapılır (Eker 2008). Başlıca ısıtma işlemleri tavlama, sertleştirme ve temperleme işlemleridir.

1.5.1. Tavlama

Tavlama çeliklerin sertleştirme işleminden önce yapısını homojen hale getirmek, tane boyutunu küçültmek ve iç gerilmeleri gidermek için yapılan işlemdir (Aksoy 2015). Malzeme için uygun sıcaklıkta ısıtılıp, belirli bir süre bekletildikten sonra soğutulmuş işlem gerçekleştirilir. Tavlamanın, işlem sıcaklıkları ve soğutma şekillerine göre farklı tipleri bulunmaktadır. Bunlar; yumuşatma tavlama, gerilim giderme tavlama, yeniden kristalleştirme tavlama ve normalleştirme tavlama.

Yumuşatma tavlama: Isıl işlem görmemiş malzemeler, içerdikleri karbon oranlarına bağlı olarak, oda sıcaklığında farklı sertlikler gösterirler. Bazı malzemeler sertlikleri itibarıyla kolay işlenemez durumda olabilirler. Yumuşatma tavlama, $\%C \geq 0,4$ olan çeliklerde talaşlı işlemeyi, $\%C \leq 0,4$ olan çeliklerde soğuk şekil vermeyi kolaylaştırmak için yapılır (Eker 2008).

Gerilim giderme tavlama: Kaynak, üniform olmayan plastik şekil verme, ısıtma işlemi gibi işlemlerde malzeme içinde çeşitli yönlerde iç gerilmeler meydana gelir. Malzeme içinde oluşan bu gerilmelerin giderilmesi amacıyla yapılan tavlama işlemidir (Eker 2008).

Yeniden kristalleştirme tavlama: Plastik şekil verme yöntemi ile şekillendirilen malzemelerin tane yapısında kalıcı yapı bozuklukları meydana gelir. İçyapıda meydana gelen bu yapı bozukluklarını düzeltmek için ve malzemeyi başlangıç durumuna getirmek için yapılan tavlama şeklidir (Anonim 5).

Normalleştirme tavlama: Tavlama işlemlerinin tamamı malzemeye iyi özellikler kazandırmasına karşın, tane irileşmesine de sebep olur. Yapılacak işleme göre iri taneli yapıların istenmediği durumlar için malzemeler sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılarak, sakin havada soğumaya bırakılırlar. Normalleştirme tavlamasında diğerlerinde olduğu gibi malzemeler yavaş soğutulmaz sakin havada hızlı soğutulur (Anonim 5). Normalleştirme tavlama sonunda küçük ve eş eksenli tanelerden oluşan perlitik- ferritik fazda içyapı elde edilir (Eker 2008).

1.5.2. Sertleştirme

Çeliklerin içyapısını değiştirmek için yapılan kontrollü soğutmadır. Çeliklerin sertleştirilmesinde amaç malzemenin dayanımını arttırmaktır. Bu nedenle çelikler 700°C sıcaklığın üzerinde ısıtılır. Isıtma sırasında çelikteki bağlar kopar. Isıtılan çelik ani soğutma ortamında (suda ya da yağda) soğutulduğunda kopan bağlar ilk hallerine dönüşemediklerinden yeni bir doku elde edilir. Çeliğin ani soğutulması ile gerginlik kazandırılmış dolayısıyla malzeme sertleştirilmiş olur (Anonim 4). Sertleştirme işlemi, ön ısıtma, östenite dönüştürme, bekletme (ısı emdirme) ve sertleştirme martenzite dönüştürme aşamalarından oluşur. Martenzit yapıya dönüştürme hızla soğutma ile gerçekleştirilir. Soğutma işlemlerine su verme adı verilir. Su verme işleminde genellikle su, tuzlu su, özel eriyikler, ergimiş tuz ve kurşun banyoları kullanılır. Makine elemanlarının tümüyle sertleştirilmesinin yanında sadece gerekli kısımlarının sertleştirilmesi istenir. Genellikle makine elemanlarında yüzeyin sertleştirilmesi istenir. Bu işleme yüzey sertleştirme işlemi denir.

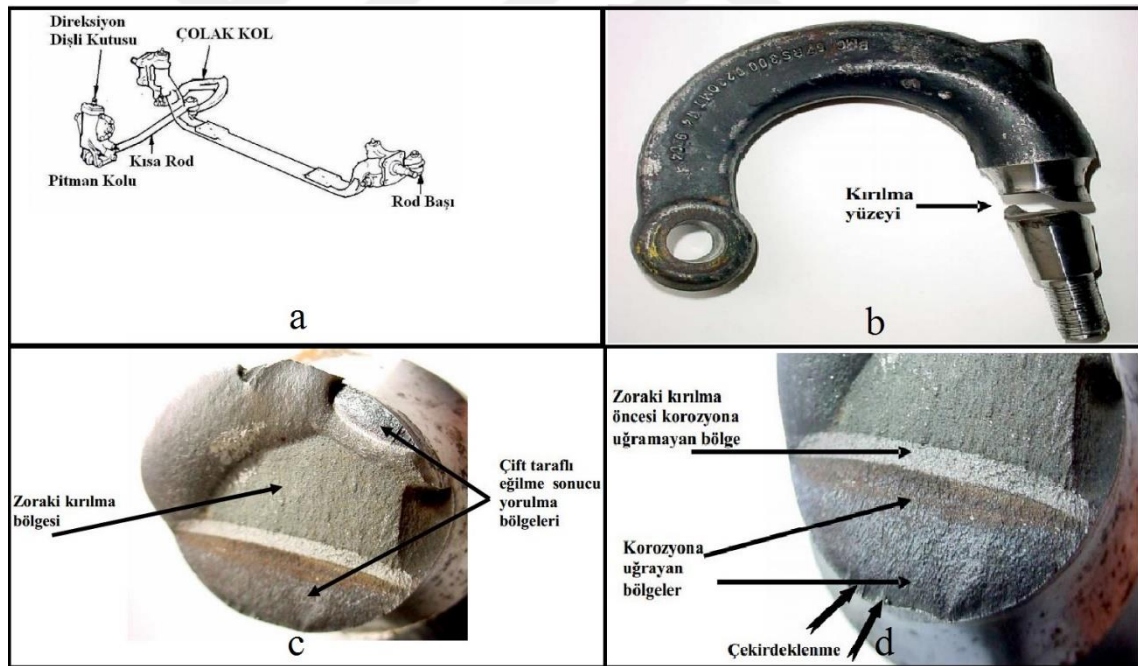
1.5.3. Temperleme

Sertleştirme işleminden sonra çelikler oldukça gevrek ve kırılgan halde bulunurlar. Çelikler istenilen amaca uygun olarak kullanılabilmesi için sünekliğe ihtiyaç duyarlar. Malzemenin tokluğunun iyileştirilmesi için tekrar ısıtılıp aynı sıcaklıkta belirli bir süre tutulup tekrar soğutulmasına temperleme (menevişleme) denir.

2. KAYNAK TARAMASI

Yılmaz D. vd. (2004), “Yem kırma makinası hareket iletim mili hasarı ve hasar analizi” adlı çalışmada, bir yem kırma makinasının hasarlı hareket iletim milinin hasarını incelemişlerdir. Yapılan incelemelerde hareket iletim mili üzerinde herhangi bir korozyon, çatlak vb. mekanizmaya rastlanmadığı ve laboratuvar incelemelerinde malzemenin iç yapısında herhangi bir değişikliğin oluşmadığı belirtilmiştir. Hareket iletim mili malzemesi SAE 1020 alaşımsız imalat çeliğidir. Çalışmada yapılan kuvvet analizi sonucunda malzemenin dayanımının düşük ve iletilen moment ve güç değeri için yeterli olmadığı saptanmıştır. Yem kırma makinesinde kullanılan bu elemanın, vantilatörün bulunduğu yem haznesinin aşırı dolması ve makinanın ani yüklemesi sonucu, elemanda ters yönlü bir burulma momenti ve aşırı zorlanma meydana getirmiştir. Bu durumun da plastik deformasyona sebep olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmada hasarın önlenmesi için daha dayanımlı bir malzemenin seçilmesi ve traktör ile yem kırma makinası arasındaki mafsallı milin emniyet düzenli olması gerektiği belirtilmiştir.

Gökşenli ve Eryürek (2007), Bir ambulans direksiyon çolak kolunda meydana gelen hasarı incelemişlerdir. Çolak kolunun görevi, direksiyonu çevrilmesi ile harekete geçen Şekil 2.1.a’da gösterildiği gibi kısa ve uzun rodların hareketini direksiyon mafsalıyla ön tekerleklere iletmesi olarak belirtmişlerdir.

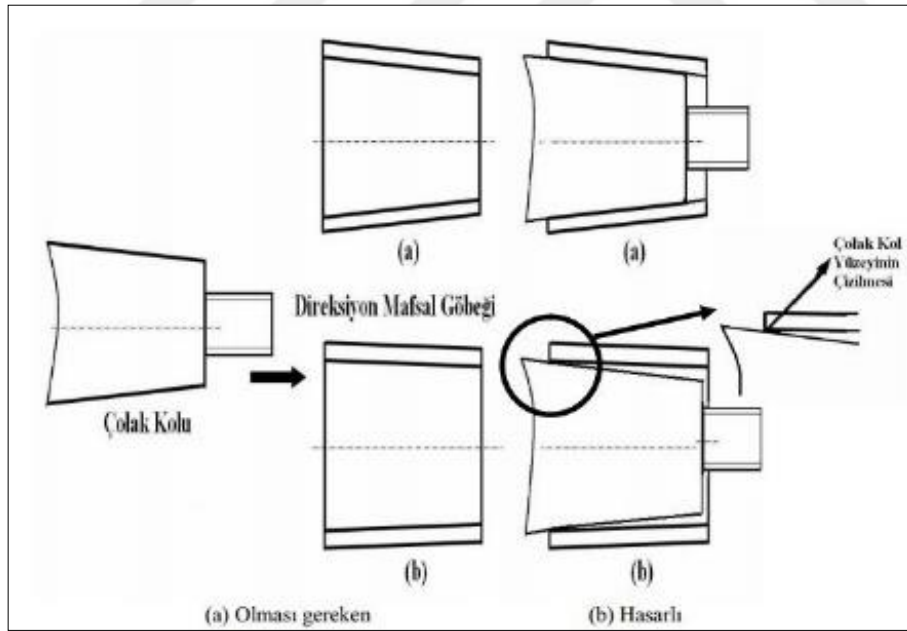


Şekil 2.1. a) Direksiyon çolak kolunun ön direksiyon sistemindeki konumu, **b)** Hasarlı çolak kolu, **c)** Zıt yönlü eğilme ve burulma sonucu oluşan kırık yüzeyi, **d)** Kırık yüzeyin görünümü

Hasarlı çolak kolu üzerinde gerçekleştirilen ilk incelemelerde Şekil 2.1.b’de gösterildiği gibi hasarın çolak kolunun direksiyon mafsalına bağlandığı göbek bölgesinden kırılması ile gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Yapılan kırık yüzeylerin

makroskobik etüdü sonucu kırık yüzeyin zoraki kırılma bölgesi ve yorulma çatlak ilerleme bölgesi olmak üzere iki farklı bölgeden oluştuğu ve her iki bölgenin birbirinden belirgin olarak ayrıldığını tespit etmişlerdir (Şekil 2.1.c). Ayrıca çatlak ilerleme bölgesinin yüzeyinde belirgin olarak yorulma izlerine rastlandığını belirtmişlerdir. Yorulma çatlak ilerleme bölgesindeki yoğun paslanma ambulansın hizmet dışı devrelerde çatlak yüzeylerinin korozyona uğradığının göstergesi olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.1.d.)

Yorulma analizleri yapılmış ve malzemenin yorulma genliğinin yorulma dayanımının altında olduğu belirtilmiştir. Yapılan kimyasal analiz sonucu malzemenin AISI 4320 H olduğunu tahmin etmişlerdir. Yapılan sertlik ölçümü sonucu sertlik değerinin 334 HB olduğunu bulmuşlardır. Yapılan hesaplamalarla sertlik değerinden malzemenin çekme dayanımı hesaplanmıştır. Çekme dayanımının literatüre uygun olduğu belirtilmiştir. Tüm bu incelemeler sonunda bu hasarın tasarım, kullanım ve malzemeden kaynaklanmadığı belirlenmiş ve çolak kolunun montaj edildiği kısım detaylı incelenmiştir. Hasarlı diğer numuneler ile kıyaslandığı zaman incelenen parça geometrisinin diğerlerinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi hasarlı çolak kolu dış yüzeyinin eğimi direksiyon mafsal göbeğinden farklı olması, bu farklı eğim sebebiyle direksiyon mafsal göbeğinin çolak kolu yüzeyine temas yüzeyini çizmekte olduğu ve çatlak başlangıcının bu yüzeyde oluştuğu tespit edilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda direksiyon mafsal göbek geometrisinin hatalı olmasından dolayı bir üretim hatası sonucu oluştuğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.2. Direksiyon mafsal göbeği çolak kol muylu bağlantıları

Bircan, (2010) yaptığı çalışmada bir çimento fabrikasında hasara uğramış üç farklı elemanın hasarlarını ele almıştır. Hasarlı elemanlardan kimyasal analiz ile rulmanın malzemesinin 100Cr6, silindirik başı civatanın malzemesinin 19MnB4 alaşım çeliği ve çekiç başlı civatanın malzemesinin 20MnB4 alaşım çeliği olduğunu tespit etmiştir.

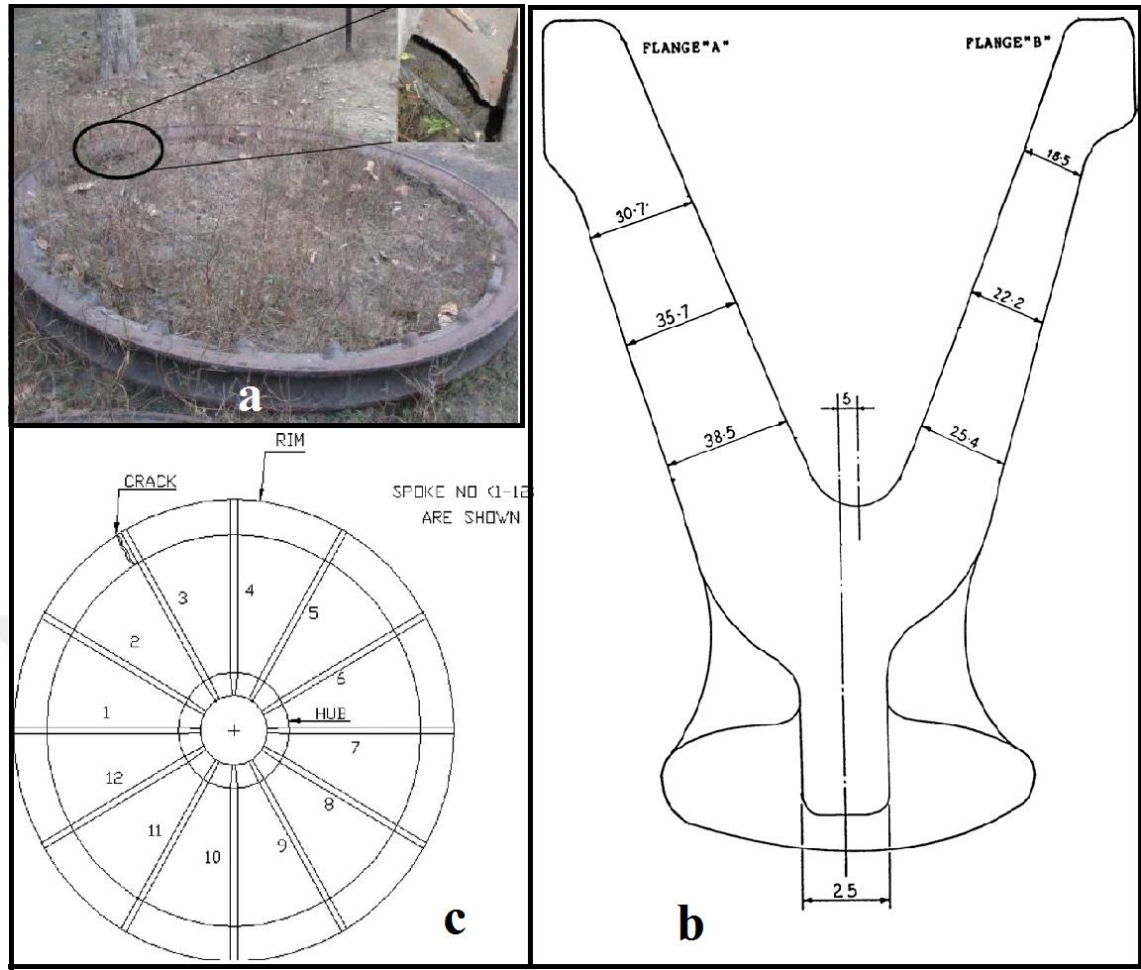
Çizelge 2.1. Hasarlı makine parçalarının kimyasal kompozisyonu

Malzeme	Element% Ağırlık	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%
100Cr6		1,00	0,35	0,40	0,025	0,015	1,60	0,25	0,08
19MnB4		0,20	0,03	0,90	0,020	0,020	0,15	Si+2,5P max 0,09	
20MnB4		0,22	0,08	0,90	0,015	0,015	0,20	0,05	0,05

Hasarlı elemanların hasar sonrası sertlik değerleri ile hasara uğramadan önceki sertlik değerleri kıyaslanmıştır. Bu deneysel çalışma sonrası elde edilen sonuçlarda malzemelerin kullanım şekillerinin, kullanım ortamlarının, maruz kaldıkları yüklerin etkisi altında malzeme sertliği üzerinde etkisi olduğu anlaşılmıştır. Yapılan bir diğer deneysel çalışma malzemelerin kırık yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesidir. Bu incelemeyi kırık tipinin sünek mi gevrek mi ya da hangi oranda sünek kırılma ortaya çıktığını belirlemek yapıldığını belirtmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda rulman malzemesinin kullanıldığı fırın ortamında aşınma, yüksek sıcaklığa maruz kalması ve dış bilezikte meydana gelen korozyon etkisi ile kısa sürede hasar ortaya çıkardığı, 20MnB4 malzemesinin kırık yüzey incelemesinde gevrek kırılmanın tespit edildiği, 19MnB4 malzemesinde ise sünek- gevrek karışık kırılmanın tespit edildiği, bu kırılmaların sebebinin cıvataların maruz kaldığı beklenmedik yükler ve aşırı korozif ortamın etkisi olduğu belirtilmiştir. Çalışmada sonuç olarak, elemanlarda meydana gelen bu hasarların önlenmesi için, belirtilen çalışma koşullarının ne tür malzeme gerektirdiğine dikkat edilerek malzeme seçiminin yapılması gerektirdiği belirtilmiştir.

Shukla, A. K., vd. (2013), yaptıkları çalışmada kömür madenlerinde kullanılan ana dişli kasnağında meydana gelen hasarı incelemişlerdir (Şekil 2.6.a). Çalışmada kasnak, kasnak göbeği ve kasnak kolları olmak üzere üç farklı bölgenin kimyasal analizi yapılmıştır (Çizelge 2.2).



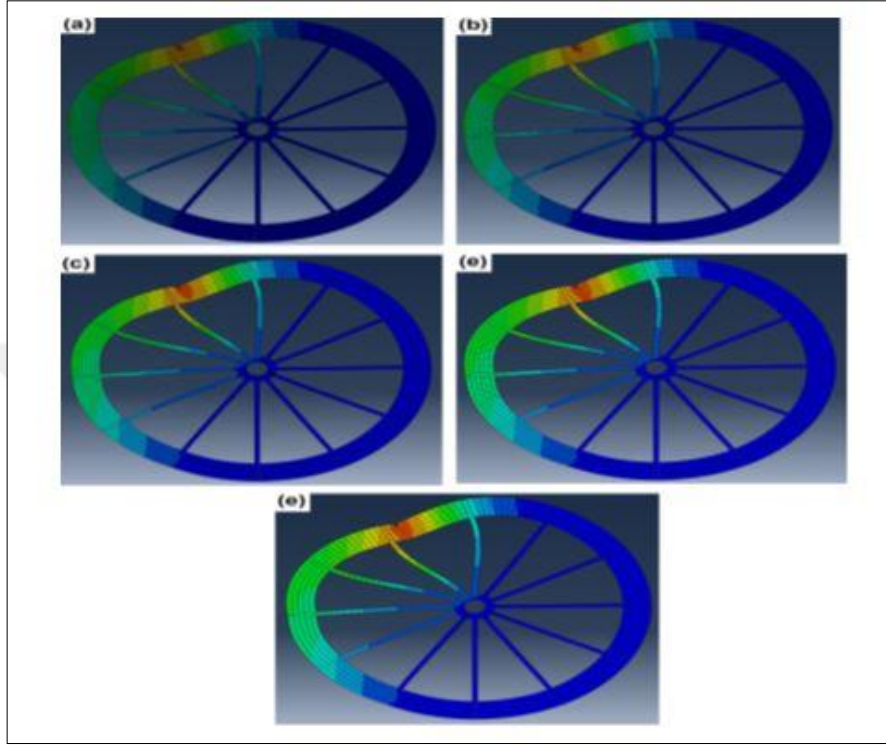
Şekil 2.3. a) Ana kasnağın kırık bölgesinin yeri, **b)** Kasnak ağzının enine kesitinin görünüşü, **c)** Kırık bölgesinin geometrik şekil üstündeki yeri

Yapılan görsel ve boyutsal inceleme sonucunda kırık yüzeyin gri ve tanecikli olduğu ve Şekil 2.3.b'de gösterildiği gibi kasnak merkezi ile kenar flanşlarının simetrik olmadığını tespit etmişlerdir. İncelenen kasnakta kırık bölgesi kasnak ile 3 numaralı kasnak kolunun birleşim yerinde meydana geldiği belirtilmiştir (Şekil 3.6.c).

Çizelge 2.2. Hasarlı kasnağın kimyasal kompozisyonu

Örnek	C	Si	Mn	S	P	Cr
Kasnak	3,40	0,82	0,60	0,043	0,14	0,28
Kasnak Göbeği	3,27	0,98	0,51	0,043	0,14	0,07
Kasnak Kolu	0,21	0,09	1,50	0,035	0,03	-

Kırık bölgelerin mikro yapıları incelenmiş ve perlit olduğunu belirtmişlerdir. Standart çekme dayanımı 140 MPa iken, malzeme şartnamesinde belirtilen değerden (216-275 MPa) düşük olduğu belirtilmiştir. Beş farklı mesh yapısı kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır.



Şekil 2.4. Beş farklı mesh yapısı kullanılarak yapılmış sonlu elemanlar analizi (a.10, b.15, c.20, d.25, e.30)

Sonuç olarak kasnak ilk etapta hasarlı görülse de asıl hasarın kasnak kolunda meydana geldiği, bu hasarın düşük kalitede malzeme kullanılmasından, enine kesit geometrisinde hata olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Hasarın önlenmesi için tasarımının daha dikkatli yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Kanbir Ö. (2014), yaptığı çalışmada bir greyderin kritik parçasının (daire dişli rotu) hasarını incelemiştir.



Şekil 2.5. Hasarlı daire dişli rotu ve bulunduğu konumu

Yapılan kimyasal analiz sonucu elemanın malzemesinin St52 (S335) çeliği belirlenmiştir. Fakat C, Si ve Mn elementlerinin normale göre biraz daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Bunun da parçanın kullanım yerindeki dayanımını arttırmak ve çalışma esnasında oluşabilecek darbeler sönmekle amacıyla olabileceği düşünüldüğünü belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada hem hasarlı eleman hem de yeni elemandan alınan numunelerle mekanik deneyler yapılmıştır. Bu deneyler çekme deneyi, çentik darbe deneyi, üç nokta eğme deneyi ve sertlik ölçme deneyleridir. Elemanın gerçek yükleme şartlarında ortaya çıkan gerilmeleri ve şekil değiştirme miktarlarını tespit etmek için ANSYS programı kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Ayrıca yapılan bu mekanik deneyler sonucunda elde edilen değerlerin doğruluk payını belirlemek amacıyla kırık yüzey incelemeleri yapılmıştır.

Çekme deneyi sonucunda ikame malzemeden alınan numunenin akma dayanımının standardın çok altında çıktığı, çekme dayanımının ise standart aralıkta çıktığı belirlenmiştir. Diğer mekanik test sonuçları çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Mekanik test sonuçları

	Hasarlı malzeme			Yeni alınan (ikame) malzeme		
Numune No	1	2	3	1	2	3
Çentik darbe	126J	126,2J	144,4J	8,1J	14,8J	12,4J
Üç nokta eğme	1850N	1854N	2347N	598N	582N	-
Sertlik deneyi	78HRB	73HRB	80HRB	50HRB	46HRB	46HRB

Kırık yüzey incelemelerinde SEM cihazı kullanılmıştır. Yapılan SEM incelemesinde hasarlı parçanın kırık yüzeyinde sünek kırılma tespit edilmiştir. Kırık yüzeylerde sünek kırılmanın belirtisi olan gamze şeklindeki görüntülere rastlanmıştır.

Hasarsız parça kırık yüzeylerinde ise gevrek kırılmaların olduğu tespit edilmiştir. Yapılan sonlu elemanlar analizi sonucu değerlendirilmiş ve parçanın gerçek çalışma şartlarında hasara uğradığı bölge ile sonlu eleman analizinde gerilmenin maksimum değerinin elde edildiği bölgenin aynı olduğu görülmüş ve çalışma bu şekilde nümerik olarak da desteklenmiştir.

Deneyler sonucunda hasarlı parça ile ikame malzemenin mekanik özelliklerinin birbirini karşılamadığı ve bu durumda kıyas yapmanın doğru olmadığı belirtilmiştir. Kırık yüzeylerde yapılan incelemelerde hasar mekanizmasının kırılma olduğu tespit edilmiştir. Kırılma sebebinin ise greyderin kullanımı sırasında oluşan ani darbeden kaynaklandığının tahmin edildiği belirtilmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, toprak işleme makinelerinden biri olan toprak frezesi hareket iletim elemanlarından 3 farklı elemanın hasar analizi yapılmıştır. Materyal olarak kullanılan elemanlar rotovator tipi toprak frezesinin elemanlarıdır. İncelenen toprak frezesi hareketini traktör kuyruk milinden almaktadır. Hasarlı hareket iletim elemanları frezeli mil, yan dişli takımındaki birinci dişli ve yan dişli takımının son dişlisini ana mile bağlayan frezeli akstır.

Çalışmada hasarlı elemanların hasarlı yüzeylerinde makro incelemeler yapıp hasar mekanizması belirlenmeye çalışılmıştır. Hasarlı elemanların malzeme kimyasal içerikleri kimyasal analizleri yapılarak belirlenmiştir ve elemanların iç yapısı değerlendirilmiştir. Hasarlı elemanlar ve imalat malzemeleri üzerinde tahribatlı deneylerden olan sertlik deneyi ve çekme deneyi yapılmış ayrıca bilgisayar ortamında hasarlı elemanların sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır.

3.1. Hasarlı Toprak Frezesi Hareket İletim Elemanları

İncelenen hasarlı elemanların her biri farklı hareket iletim sistemi elemanlarıdır. Toprak frezelerinde dönü hareketinin güç kaynağından (traktör) işleyici uç demirlerine iletilmesi için bazı hareket iletim sistemleri bulunmaktadır (Şekil 3.1). Bu hareket iletim sistemleri aşağıdaki gibidir (Akıncı 2005).

- Mafsallı şaft,
- Dişli kutusu (şanzıman),
- Yan dişli takımı,
- Ana mil (rotor) şeklinde gruplandırılmaktadır.



Şekil 3.1. Toprak frezesinin hareket iletim sistemleri

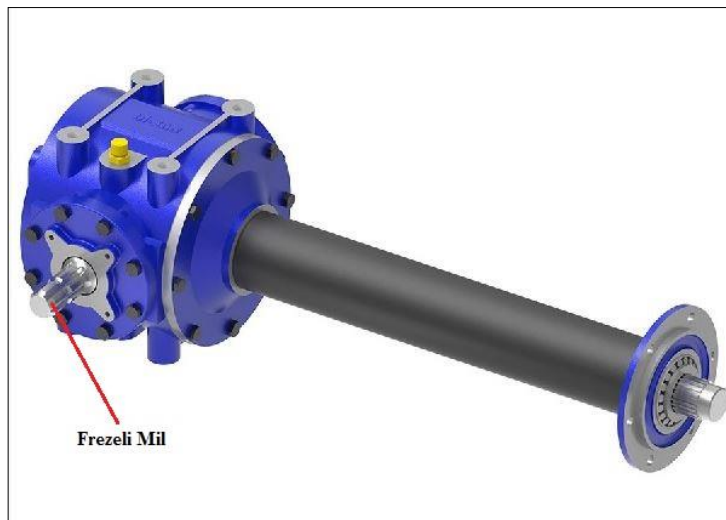
Hasar analizi yapılan elemanlar mafsallı şaftı dişli kutusuna bağlayan frezeli mil, yan dişli takımındaki birinci dişli (Z17 dişlisi) ve yan dişli takımının son dişlisini ana mile bağlayan frezeli aks olarak adlandırılmaktadır. Frezeli mil hidrolik kaydırmalı toprak frezesi dişli kutusu hareket iletim sisteminde, Z17 yan dişlisi mekanik kaydırmalı toprak frezesi yan dişli takımı hareket iletim sisteminde, frezeli aks ise hem hidrolik hem de mekanik kaydırmalı toprak frezesi ana mil hareket iletim sisteminde kullanılan elemanlardır. Yapılan incelemelerde bu üç hasarlı elemanın, iş genişliği 1850 mm olan ve boyutuna göre sınıflandırmada 1850 tip toprak frezesi grubuna ait oldukları belirlenmiştir. 1850 tip olan toprak frezelerinin imalatçısı tarafından tavsiye edilen gerekli traktör güç aralığı 50-55 HP'dir. İncelenen hasarlı toprak frezesi elemanlarının bulunduğu toprak frezelerinin özellikleri Çizelge 3.1' de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Hasarlı elemanların bulunduğu toprak frezelerinin özellikleri

Hasarlı Eleman	Toprak Frezesi Tipi	Kaydırılma Tipi	İş Genişliği (mm)	Gerekli Traktör Gücü (HP)
Frezeli Mil	Rotovator	Hidrolik kaydırmalı	1850	50-55
Z17 Yan Dişlisi	Rotovator	Mekanik kaydırmalı	1850	50-55
Frezeli Aks	Rotovator	Hidrolik kaydırmalı	1850	50-55

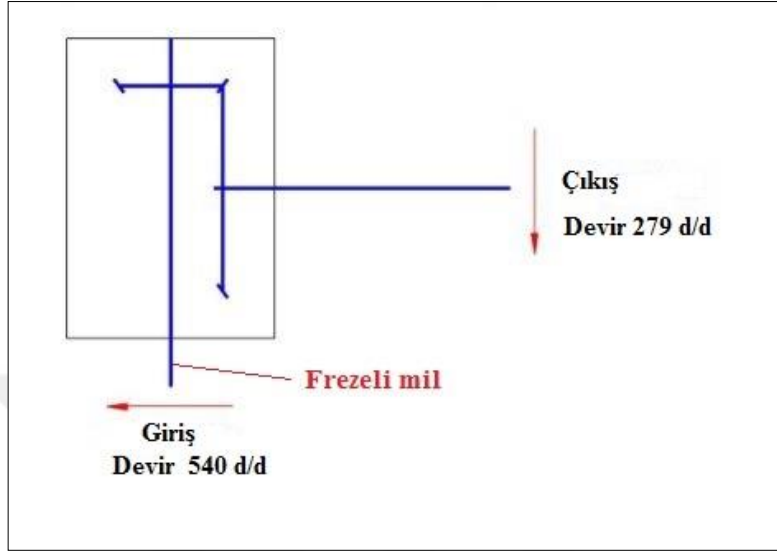
3.1.1. Frezeli mil

Frezeli mil, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi mafsallı şaftı dişli kutusuna bağlayan bir hareket iletim elemanıdır (Anonim 7). Frezeli millerin geometrik şekilleri tüm toprak frezesi tiplerinde yaklaşık olarak aynıdır.



Şekil 3.2. Hidrolik kaydırmalı toprak frezesi dişli kutusu ve frezeli mil

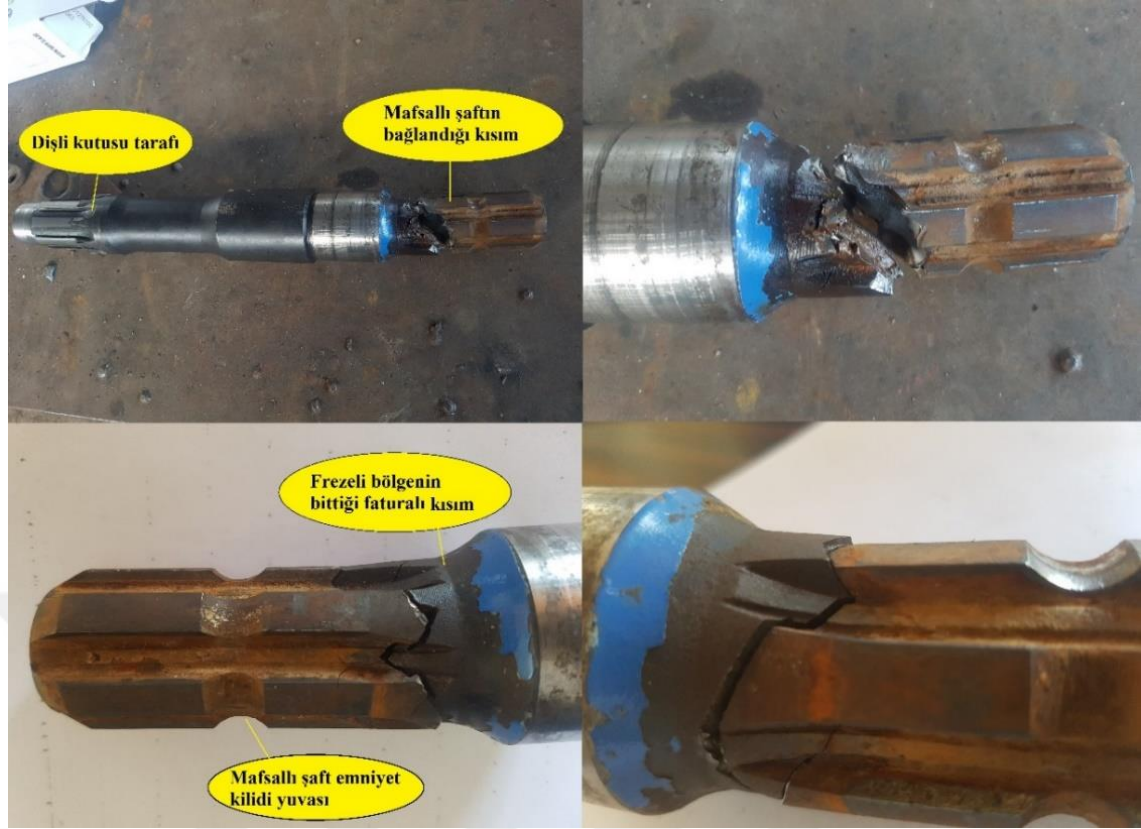
Hasarlı frezeli milin bulunduğu dişli kutusunun giriş devri 540 min^{-1} çıkış devri ise 279 min^{-1} 'dir. Dişli kutusunun hareket iletim şeması Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Hidrolik kaydırmalı dişli kutusunun hareket iletim şeması (Anonim 7).

Frezeli milde oluşan hasar, mafsallı şafta bağlanan frezeli kısmın kopması ile gerçekleşmiştir (Şekil 3.4). Kopma hasarının frezeli milin sonunda bulunan fatura ile frezeli mile takılan mafsallı şaft kilit kısmının arasında kalan bölgede gerçekleştiği tespit edilmiştir. Hasarlı frezeli milin kırık yüzeyi makroskobik olarak incelenmiş ve hasarın nedeni araştırılmıştır.

Hasarlı frezeli milin imalat sürecinin; ölçülere uygun parçanın testere ile kesilmesi, CNC torna makinesiyle talaş kaldırma, azdırma tezgahında freze açma, ısıtma işlemi, 0,6-0,8 mm yüzey sertleştirme, $940-960 \text{ C}^\circ$ de, 6 saat süreli sementasyon işlemi ve temperleme ve son olarak silindirik taşlama ile gerçekleştiği bilgisi edinilmiştir.



Şekil 3.4. Hasarlı frezeli milin görünümü ve kopma bölgesi

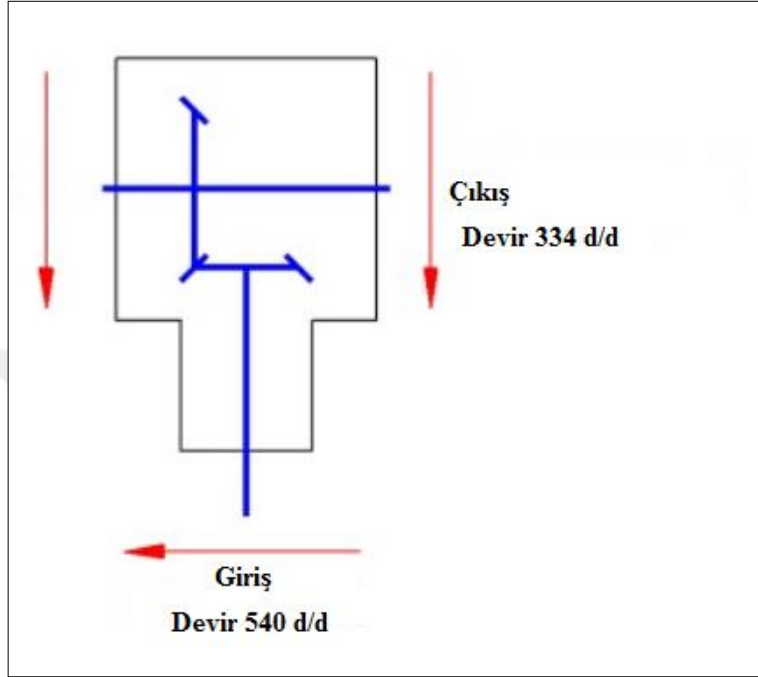
3.1.2. Z17 dişlisi

Hasarlı Z17 dişlisi, mekanik kaydırmalı toprak frezelerinde kullanılmaktadır. Yan dişli takımındaki ilk dişlidir (Şekil 3.5). Dişli kutusundan gelen hareketi, belirli bir oranla diğer dişliye iletmektedir.



Şekil 3.5. Z17 dişlisinin makine üzerindeki görünüşü

Mekanik kaydırmalı toprak frezesi dişli kutusunun hareket iletim şeması ile hidrolik kaydırmalı toprak frezesi dişli kutusu hareket iletim şeması Şekil 3.6'da gösterildiği gibi yaklaşık olarak aynıdır, fakat mekanik tipte dişli kutusunun çıkış devri 334 min^{-1} 'dir (Anonim 7).



Şekil 3.6. Mekanik kaydırmalı toprak frezesi dişli kutusunun hareket iletim şeması

Hasarlı Z17 dişlisinin bulunduğu toprak frezesinin yan dişli takımı dişlilerinin diş sayısı sırasıyla 17, 37, 26 olduğu belirlenmiştir. Z17 yan dişlisinin diş üstü çapı 196 mm olarak ölçülmüştür. Dişli modülünün bulunabilmesi için aşağıdaki formüller kullanılmıştır (MEB 2013).

$$d_a = d + 2m \quad (14)$$

$$d = m \cdot z \quad (15)$$

d_a : diş üstü çapı (mm),

d : bölüm dairesi çapı (mm),

m : modül,

z : diş sayısı (adet)

15 numaralı formüldeki bölüm dairesi çapı, 14 numaralı formüldeki bölüm dairesi çapı yerine yazılarak, Z17 dişlisinin bölüm dairesi çapı 119 mm olarak hesaplanmıştır.

Bu işlem diğer dişliler için de gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonunda Z37 dişlisinin bölüm dairesi çapı 259 mm, Z26 dişlisinin bölüm dairesi çapı 182 mm ve dişli modüllerinin 7 olduğu bulunmuştur. Dişli eksenleri arası mesafenin bulunması için aşağıdaki formül kullanılmıştır (MEB 2013).

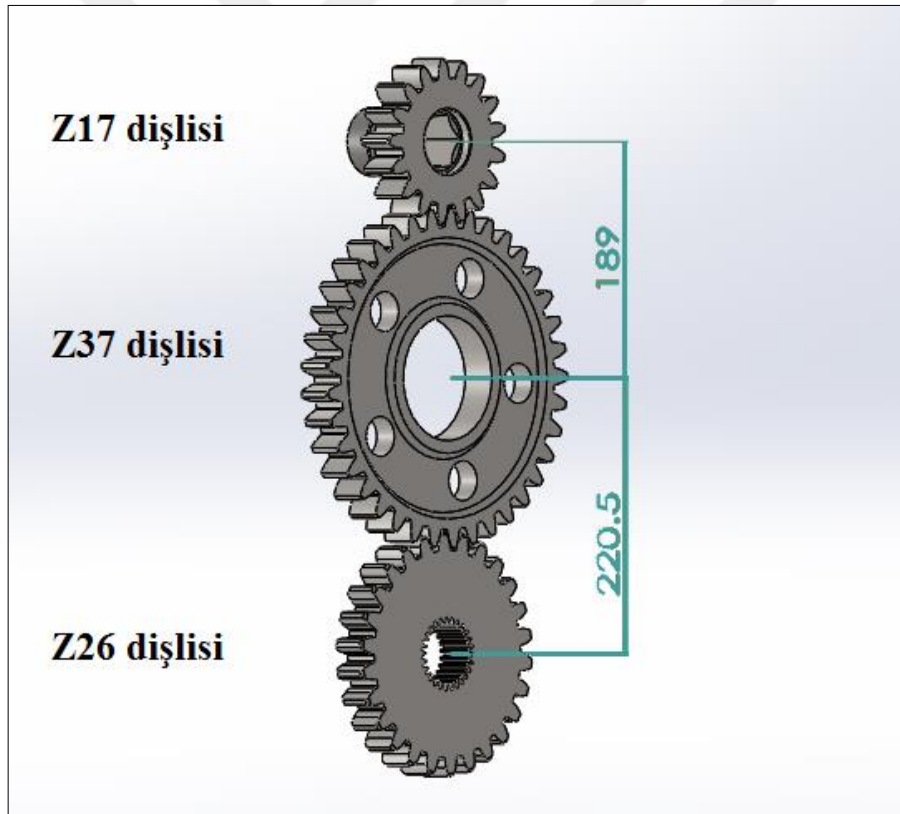
$$E = (d_1 + d_2) / 2 \quad (16)$$

E: Eksenler arası mesafe (mm),

d_1 : Birinci dişlinin bölüm dairesi çapı (mm),

d_2 : İkinci dişlinin bölüm dairesi çapı (mm).

Şekil 3.7' de gösterildiği gibi Z17 ve Z37 dişlilerinin eksenleri arasındaki mesafe 189 mm, Z37 ve Z26 dişlilerinin eksenleri arasındaki mesafe 220.5 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.7. Z17 dişlisinin bulunduğu yan dişli takımı

Z17 dişlisinde hasar, Şekil 3.8'da gösterildiği gibi diş geometrilerinde meydana gelen şekil bozuklukları olarak tespit edilmiştir.

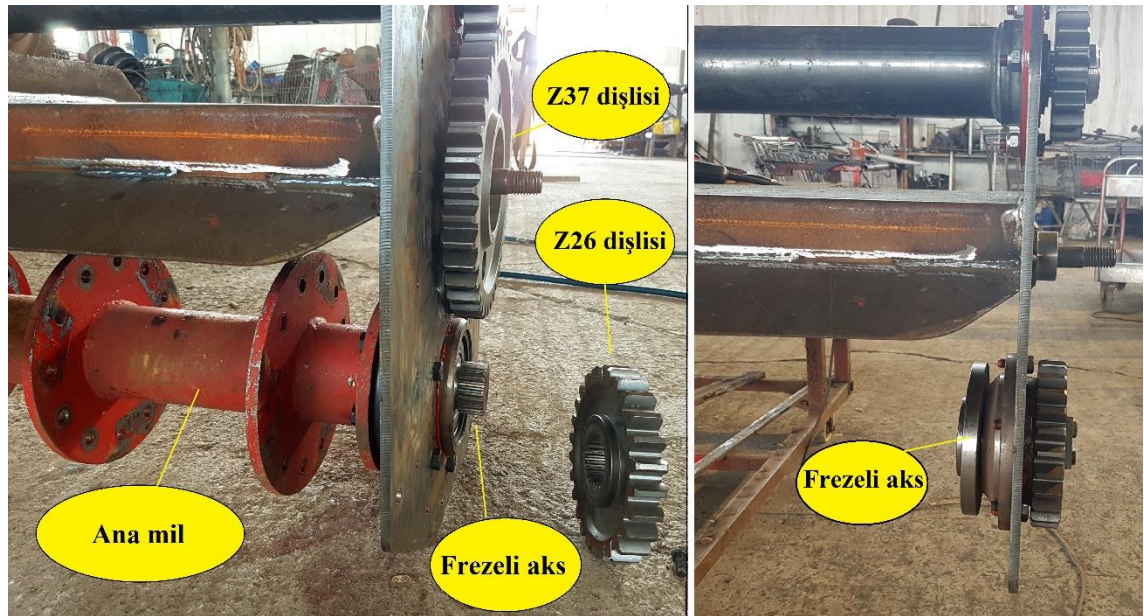


Şekil 3.8. Hasarlı Z17 dişlisinin görünümü

Hasarlı Z17 imalat sürecinin; ölçülere uygun parçanın testere ile kesilmesi, CNC torna makinesiyle talaş kaldırma, azdırma tezgahında diş açma, broslama işlemi ile göbek deliğinin açılması, ısıtma işlemi, 1-1,2 mm yüzey sertleştirme 12 saat sementasyon işlemi ve temperleme işlemi ile gerçekleştiği bilgisi edinilmiştir.

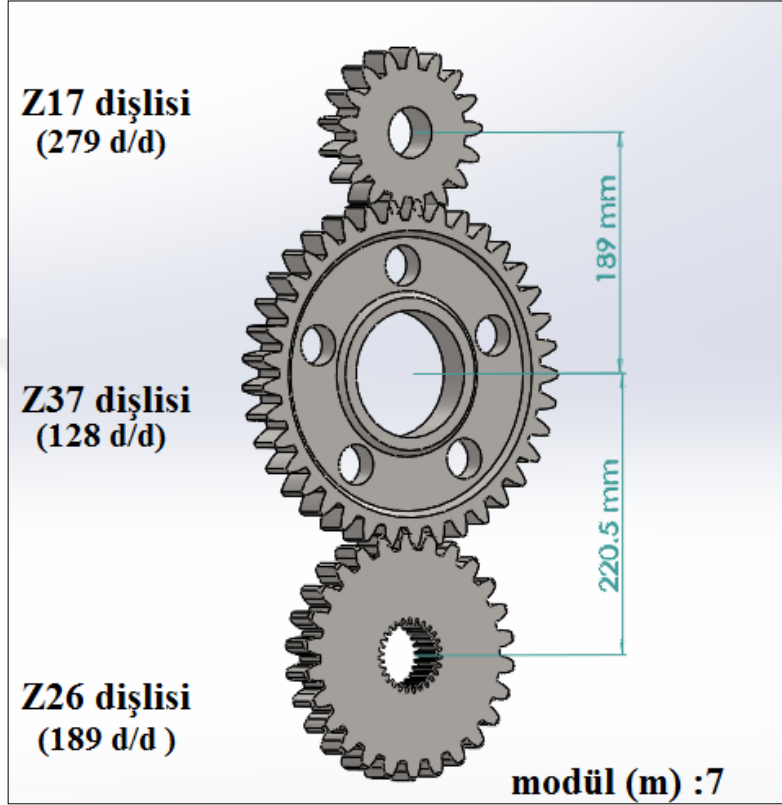
3.1.3. Frezeli aks

Frezeli aks, yan dişli takımından aldığı dönü hareketini, işleyici uç demirlerinin bağlı olduğu ana mile ileten elemandır. Frezeli aks hem hidrolik kaydırmalı hem de mekanik kaydırmalı toprak frezelerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada incelenen hasarlı frezeli aks, hidrolik kaydırmalı toprak frezesinin elemanıdır.



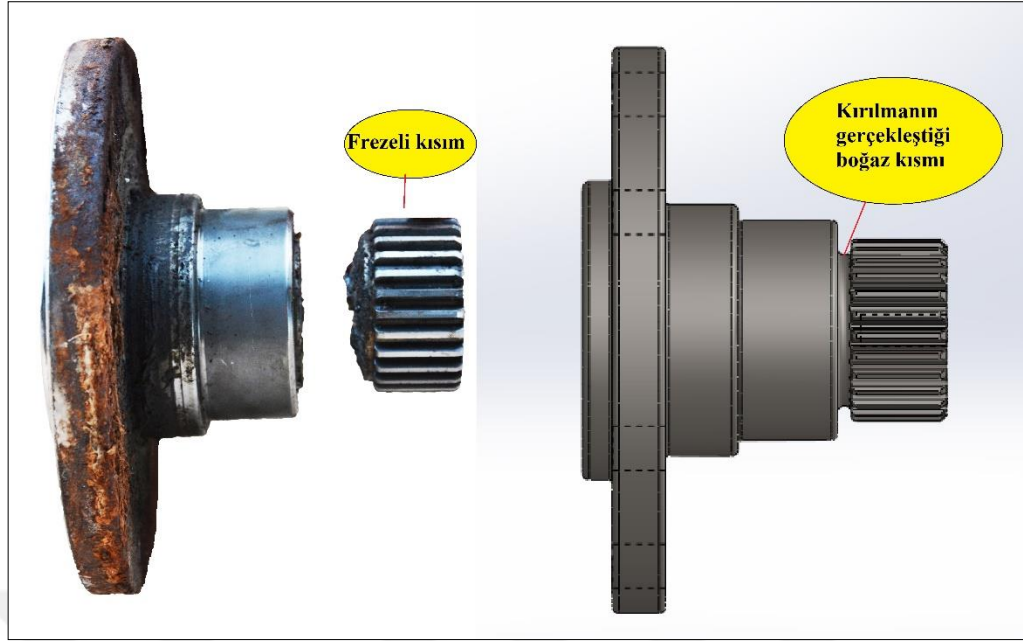
Şekil 3.9. Frezeli aksın makinedeki konumu

Frezeli aksın işlevi, yan dişli takımından alınan dönü hareketini uç demirlerin bağlı olduğu ana mile iletmektir. Gövdesinde bulunan flanşlı kısımdan ana mile, frezeli kısmı ile de yan dişli takımına bağlıdır. Yan dişli takımı elemanı olan Z26 dişlisinin göbek kısmında bulunan iç frezeli kısma, frezeli aksın frezeli kısmının geçmesi ile bu bağlantı sağlanmaktadır. Frezeli aksa gelen dönü hareketinin devri aynı ekseninde bulundukları için Z26 dişlisi ile aynıdır. Bu devir sayısı şekil 3.10'te gösterildiği gibi 182 min^{-1} 'dir.



Şekil 3.10. Frezeli aksın bağlandığı dişli takımının devir sayıları

Frezeli aksta hasar, aksın frezeli kısmının bittiği yerde bulunan boğaz kısmından kopması şeklinde gerçekleşmiştir.



Şekil 3.11. Hasarlı frezeli aksın görünümü

Hasarlı frezeli aksın imalat sürecinin; ölçülere uygun parçanın testere ile kesilmesi, sıcak dövme, gerginlik giderme işlemi, CNC torna makinesiyle talaş kaldırma, fellow diş açma ve kılavuz diş çekme şeklinde gerçekleştiği belirlenmiştir.

3.2. Hasarlı Elemanların Fotoğraf Kayıtları ve Temizlenmesi

Hasarlı elemanların öncelikle kırık yüzeyleri ve genel görünüşlerinin fotoğrafları çekilip kaydedilmiştir. Daha sonra malzemelerin kimyasal analizi ve diğer işlemleri için yağ ve kir sökücü kimyasallarla temizlenmiştir.

3.3. Hasarlı Elemanların Malzemelerinin Tespiti

Hasarlı elemanların kimyasal kompozisyonlarının tayini için, elemanlar üzerinden alınan numunelerin spektral analizi yapılmıştır. Spektral analiz işlemi, KOSGEB Konya Müdürlüğü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analiz için laboratuvarın belirlediği standart ölçülerde numuneler hazırlanmış ve kompozisyonu belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Kimyasal analiz için hazırlanan numuneler

Freze mil ve Z17 dişlisinin imalatında sırasıyla 16MnCr5 ve 20MnCr5 malzemeleri kullanılmaktadır. 16MnCr5 ve 20MnCr5 malzemeleri sementasyon çelikleri olarak adlandırılmaktadır. Freze aks imalatında ise Ck45 malzemesi kullanılmaktadır. Ck45 malzemesi ıslah çeliklerindendir. Freze mil elemanından alınan numunenin kimyasal kompozisyonu ile 16MnCr5 malzemesinin standart kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.2’de gösterilmektedir. Z17 dişlisi elemanından alınan numunenin kimyasal kompozisyonu ile 20MnCr5 malzemesinin standart kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.3’te gösterilmektedir. Freze aks elemanından alınan numunenin kimyasal kompozisyonu ile Ck45 malzemesinin standart kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.4’te gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. 16MnCr5 malzemesinin ve freze milin kimyasal kompozisyonları

Malzeme	Elementler (% Ağırlık)					
	C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr
16MnCr5 (DIN)	0,14- 0,19	≤ 0,40	1,00- 1,30	0,035	0,035	0,80- 1,10
Freze Mil	0,157	0,235	1,10	0,013	0.006	0.885

Çizelge 3.3. 20MnCr5 malzemesi ve Z17 dişlisinin kimyasal kompozisyonları

Malzeme	Elementler (% Ağırlık)					
	C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr
20MnCr5 (DIN)	0,10- 0,22	≤ 0,41	1,10-1,40	0,03	0,035	1,00- 1,30
Z17 dişlisi	0,40	0,247	0,85	0,013	0,006	0,929

Çizelge 3.4. CK45 malzemesinin ve frezeli aksın kimyasal kompozisyonları

Malzeme	Elementler (% Ağırlık)					
	C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr
CK45 (DIN)	0,42- 0,50	≤ 0,40	0,50- 0,80	0,035	0,035	-
Frezeli Aks	0,40	0,187	0,722	0,011	0,005	

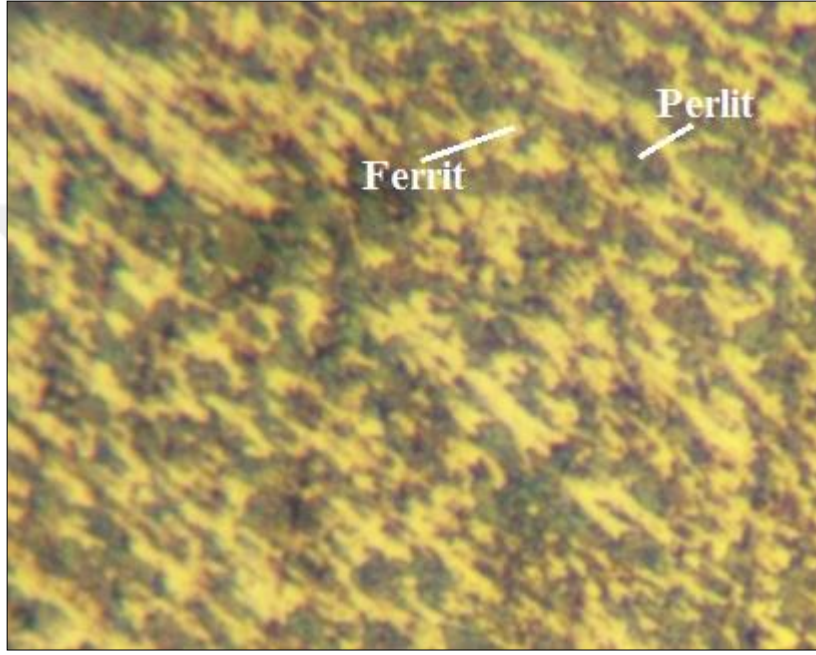
Yapılan analiz sonucu kimyasal kompozisyonların; frezeli mil malzemesinin 16MnCr5 malzemesi ile, frezeli aks malzemesinin de Ck45 malzemesi ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak Z17 dişli malzemesinin C elementi yüzdesinin (0,40), 20MnCr5 malzemesi C elementi sınır değerinden (0,10-0,22) yüksek olduğu, Mn elementi yüzdesinin (0,85), 20MnCr5 Mn elementi sınır değerinden (1,10-1,40) düşük olduğu ve Cr elementi yüzdesinin (0,929), 20MnCr5 Cr elementi sınır değerinden (1,00-1,30) çok küçük miktarda düşük olduğu saptanmıştır.

16MnCr5 malzemesi, dişli çark, aktarma organı, mil, pim, kardan yuvası malzemesi olarak kullanılmaktadır. 20MnCr5 malzemesi, aktarma organı, dişli çark, tabak ve konik dişli, pim, burç, kalın kesitli mil malzemesi olarak, CK45 ise kalıp setlerinde, otomobil, motor, makine ve aparat yapımındaki orta zorlanmalı parçalarda, mil, dişli, cıvata ve pim malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Sementasyon çelikleri karbon yüzdeleri düşük ($C < 0,3\%$) çeliklerdir (İpekçi 2015). Bu çelikler sünek fakat karbon miktarlarının düşük olması sebebiyle sertleştirilemeyen çeliklerdir. Sementasyon işlemi düşük karbonlu çeliklerin yüzeylerine karbon emdirilmesi işlemidir. Difüzyon yoluyla karbon emdirilir ve yüzey karbon miktarları $0,8\%$ civarlarına çıkarılabilirler. Sementasyon tabakası 0,2-1,5 mm arasında olabilir. Yüzey sertleştirme işleminde sementasyon tabakasının derinliği arttıkça yorulma ömrü de artar. Yüzeyine karbon emdirilen bu çelikler sementasyon işleminden sonra menevişleme işlemi ile serleştirilebilirler (Baykara 1998). Sementasyon çeliklerinin mekanik özellikleri; sıcak şekillendirme sıcaklığı 1150-850 C°, sementasyon sıcaklığı

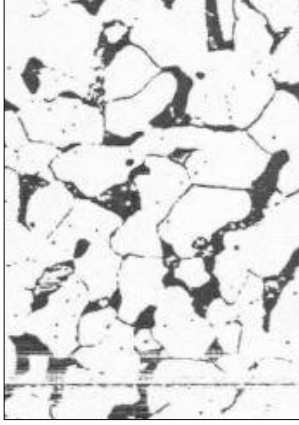
900-950 C°, meneviş sıcaklığı ise 170-210 C°de yapılmaktadır. İmalat sanayinde sementasyon işlemi aşınma, temas ve eğilme yorulmasına karşı yüzey direncinin gerekli olduğu parçalarda kullanılır. Hasarlı Z17 dişlisinin malzemesi dişli imalatında yaygın kullanılan 20MnCr5 çeliği değildir.

Optik mikroskop altında elemanlardan alınan numunelerin mikro yapıları incelenmiştir. İnceleme ile ortaya çıkan frezeli milin mikroskobik görüntüsü Şekil 3.13'te Z17 dişlisi görüntüsü şekil 3.15'te ve frezeli aksın mikroskobik görüntüsü ise şekil 3.16'da gösterilmektedir.



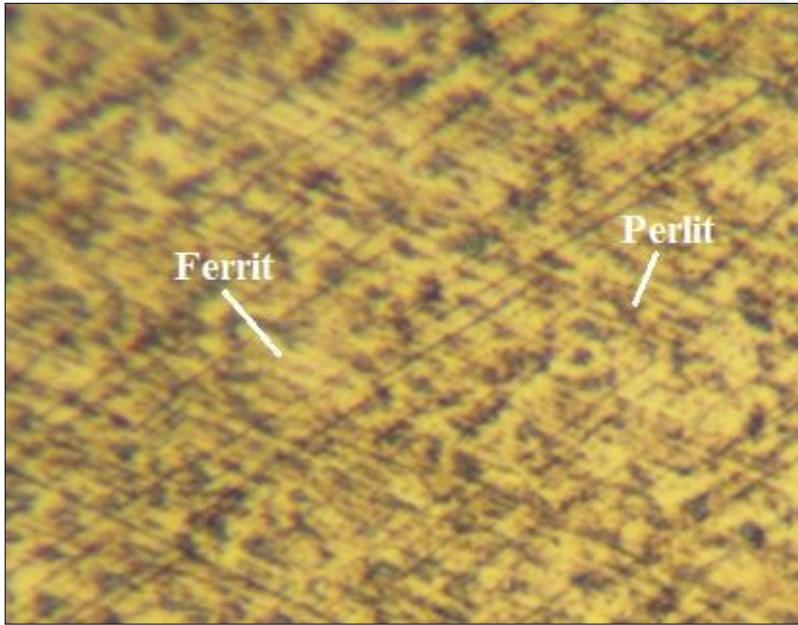
Şekil 3.13. Frezeli mile ait mikroskobik görüntü (400x)

Frezeli milin iç yapısının ferrit + perlit fazda, ferrit ve perlit yüzdelerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Yapının homojen olduğu düşünülmektedir. Yapılan kimyasal analiz sonucu frezeli milin malzemesinin % C ağırlığının 0,157 olduğu tespit edilmiştir. Karbon elementi miktarı %0,1-%0,2 olan çelikler düşük karbonlu çelikler olarak adlandırılmaktadır (Eker 2008). Malzemenin iç yapı görüntüsü incelendiği zaman iç yapı görüntüsünün düşük karbonlu çeliklerin iç yapı görüntüsünden (şekil 3.14) farklı olduğu görülmektedir (Anonim 8).



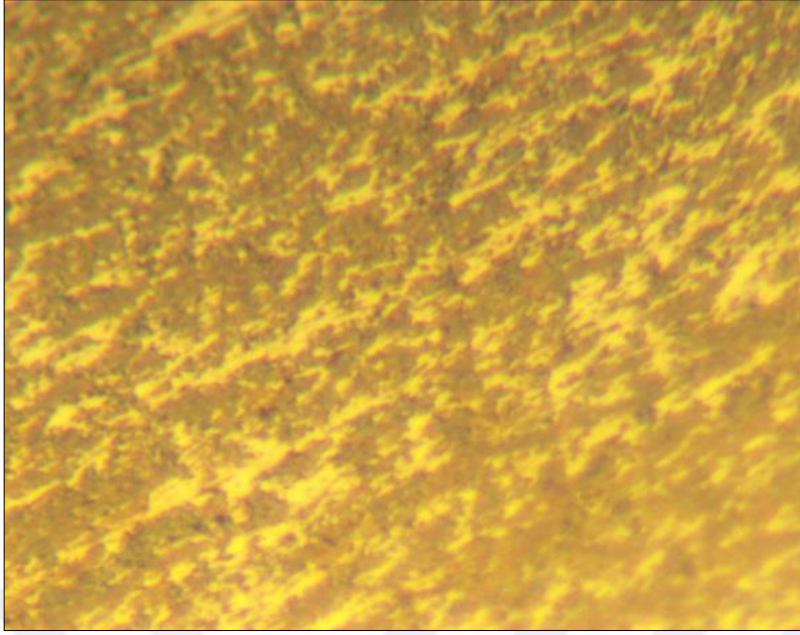
Şekil 3.14. C elementi % ağırlığı 0,16 olan çeliklerin ferrit ve perlit fazı yapısının görünümü

İç yapıda bulunan perlit fazının bu şekilde görünümü malzemedeki bulunan C elementi miktarının sınır değerinden fazla olduğunu göstermektedir. Bu da frezeli milin malzemesine sementasyon işlemi sırasında yapılan C elementi ilavesinin yapıldığını kanıtlamaktadır.



Şekil 3.15. Z17 dişlisinin mikroskopik görüntüsü (400x)

Z17 dişlisinin iç yapısının ferrit + perlit fazda olduğu görülmektedir. Yapının homojen olduğu saptanmıştır. Z17 dişli malzemesinin iç yapı görüntüsü karbon miktarı %0,4 olan çeliklerin iç yapı görüntüsü ile uyumludur.



Şekil 3.16. Frezeli aksa ait mikroskopik görüntü (400x)

Freze aksın iç yapısının ferrit + perlit fazda olduğu görülmektedir. Yapının homojen olduğu görülmektedir.

3.4. Tahribatlı Deneyler

3.4.1. Sertlik deneyi uygulaması

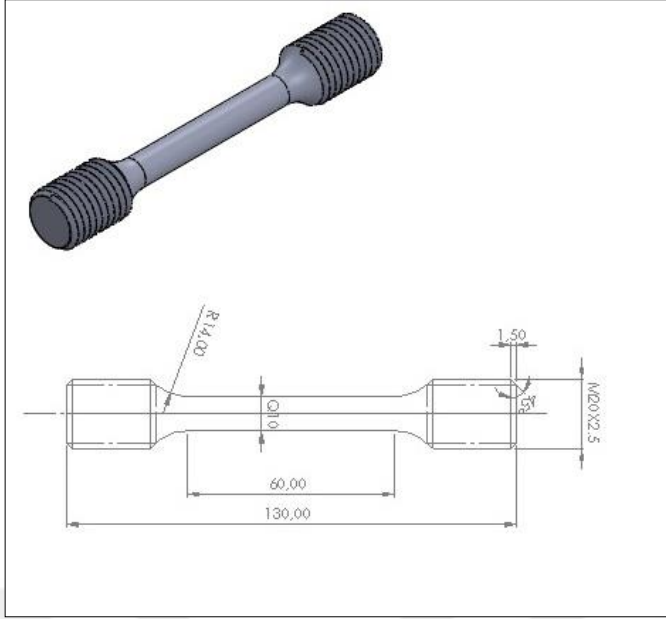
Sertlik deneyleri Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Rockwell sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Hasarlı elemanların her birinin 4 ayrı noktasından sertlik ölçüm değerleri alınarak deneyler yapılmıştır. Kıyaslama yapılabilmesi için hasarsız (yeni) elemanlar temin edilip, aynı sertlik ölçümleri bu yeni elemanlara da uygulanmıştır. Deneylerde kullanılan cihaz Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Sertlik ölçüm deneyinde kullanılan Rockwell sertlik ölçüm cihazı

3.4.2. Çekme deneyi uygulaması

Çekme deneyleri KOSGEB Konya Müdürlüğü Laboratuvarlarında bulunan çekme cihazı ile yapılmıştır. Testler, laboratuvar ortam sıcaklığında Dartec Marka M9000 Model 600 kN üniversal test cihazında TS ISO 6892-1 standardına göre yapılmıştır. Elemanların geometrik şekilleri çekme deneyi numunesi hazırlamaya uygun olmadığı için, elemanların malzemeleri temin edilip numuneler bu malzemelerden hazırlanmıştır. Numuneler laboratuvarının standartlara göre (TS EN ISO 6892-1 standardı) ve Şekil 3.18’de gösterildiği ölçülerde torna ve CNC torna tezgahlarında Şekil 3.19’da gösterildiği gibi talaş kaldırılarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.18. Çekme testi numunesinin ölçüleri



Şekil 3.19. Hazırlanan çekme numuneleri

3.5. Sonlu Elemanlar Analizi

Çalışmada toprak frezesi hareket iletim elemanlarından dişli kutusu frezeli mili, Z17 yan takım dişlisi ve frezeli aks elemanlarının gerçek yükleme şartlarında ortaya çıkacak gerilme ve şekil değiştirmelerinin tespit edilebilmesi için Solidworks SIMULATION yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi özellikle karmaşık olan problemlerin çözümünü kolaylaştıran bir yöntemdir. Bu yöntem karmaşık problemleri kendi içerisinde alt bölümlere ayırarak çözümü bu bölümler içerisinde gerçekleştirir (Kanbir 2014). Sonlu elemanlar yönteminde yapılan çözümler kesin çözümler değil yaklaşık çözümlerdir. Bu yöntemde daha doğru çözümler elde edilmesi, düğüm noktaları ve eleman sayılarına bağlıdır. Yapılacak analiz türüne ve yapının geometrik şekline göre en uygun yaklaşımla yapılmalıdır. Bu iki faktör artırılarak çözümün doğruluğu da artırılabilir ancak eleman sayısı ve düğüm nokta sayısı arttıkça çözüm süresi de artmaktadır (Çelik 2013).

Tüm hasarlı elemanlara sonlu elemanlar analizi uygulama adımları olan aşağıdaki işlemler gerçekleştirilerek analiz tamamlanmıştır.

- Modelleme,
- Malzeme özelliklerinin tanımlaması,
- Yüklerin ve sınır koşullarının tanımlanması,
- Eleman seçimi ve sonlu eleman modeli ağ örgüsünün oluşturulması,
- Çözüm,
- Sonuçların görselleştirilmesi ve değerlendirilmesi

3.5.1. Frezeli milin sonlu elemanlar analizi

Hasara uğrayan elemanlarından frezeli milin üç boyutlu katı modeli Solidworks yazılımı ile oluşturulmuştur. Frezeli milin katı modeli Şekil 3.20’de gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Dişli kutusu frezeli milinin katı modelinin görünümü

Hasarlı elemanların kimyasal analizleri ile tespit edilen malzeme bilgileri tanımlanmıştır. Frezeli milin malzemesi olan 16MnCr5, Solidworks kütüphanesinde DIN standardı alaşımlı çelikler kısmından seçilmiştir.

Traktör kuyruk milinden alınan dönü hareketi mafsallı bir şaft ile frezeli mile aktarılmaktadır. Uygulanan kuvvet dönme hareketi sağladığı için kuvvetin tipi tork kuvvetidir. Traktör kuyruk mili ile makine dişli kutusu aynı eksen üzerinde olduğu için devir sayıları dolayısıyla dönme kuvvetleri aynı olmaktadır. Frezeli mile mafsalin bağlandığı yerden tork kuvveti uygulanmış ve dişli kutusunun iç kısmına giren ve ayna dişli bağlanan frezeli kısmı da sabitlenmiştir. Traktör kuyruk mili torku aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Çelik 2018).

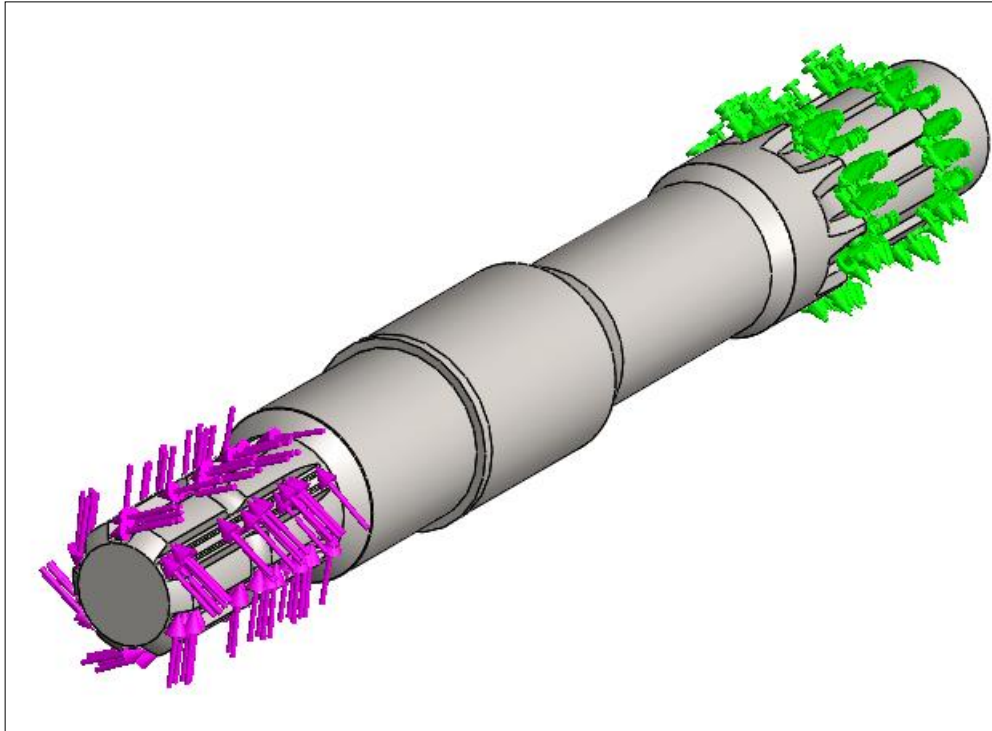
$$P_m * 0,90 = \frac{T_{km} * n_k}{9549} \quad (17)$$

P_m : Traktör motor gücü, (kW)

T_{km} : Kuyruk mili torku, (N.m)

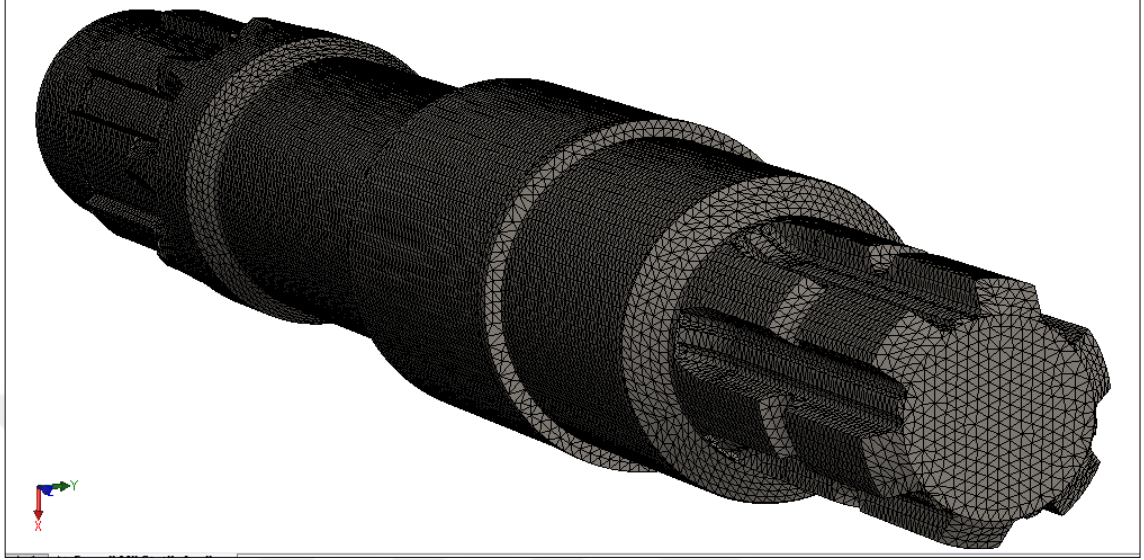
n_k : Kuyruk mili devri, (d/d)

Yapılan hesaplamalar sonunda maksimum tork değeri 652.1 Nm olarak bulunmuştur.



Şekil 3.21. Yükün ve sınır koşullarının uygulandığı kısımlar

Sonlu elemanlar yönteminin bir diğer adımı olan eleman seçimi ve sonlu eleman ağ örgüsünün (mesh) seçimidir. Şekil 3.22’de gösterildiği gibi elemanın mesh yapısı tanımlanmıştır.

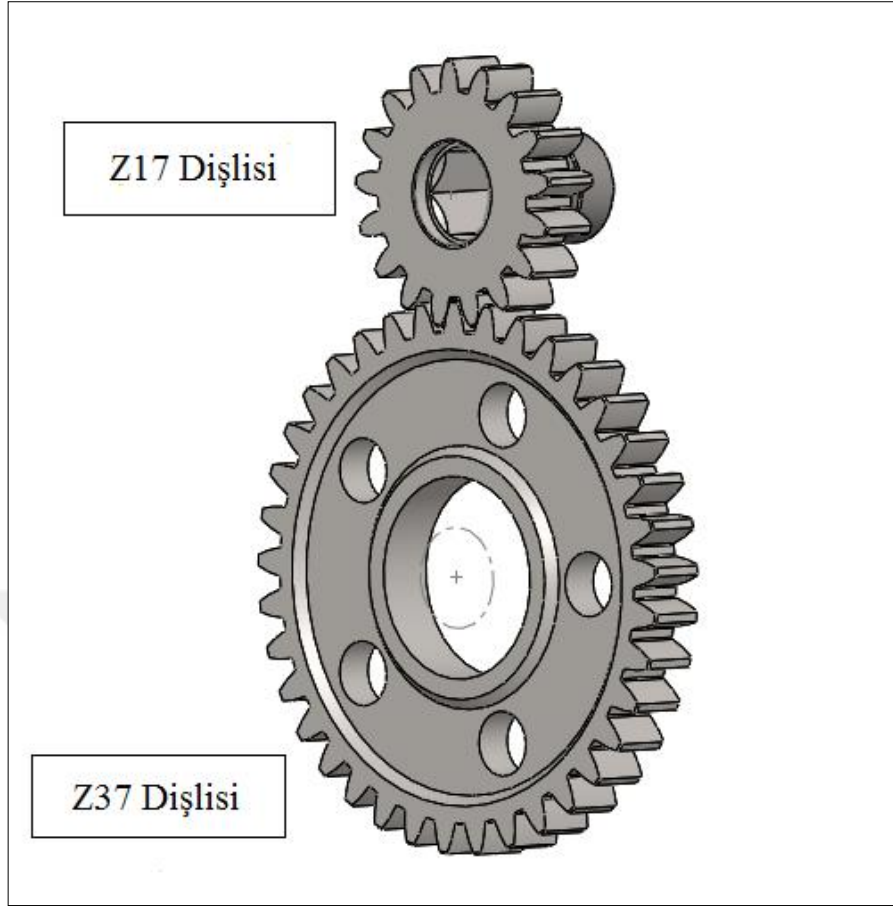


Şekil 3.22. Hasarlı frezeli milin katı modelinin mesh yapısı

Mesh yapısı da belirlendikten sonra simülasyon çalıştırılmış ve çözüm yapılmıştır.

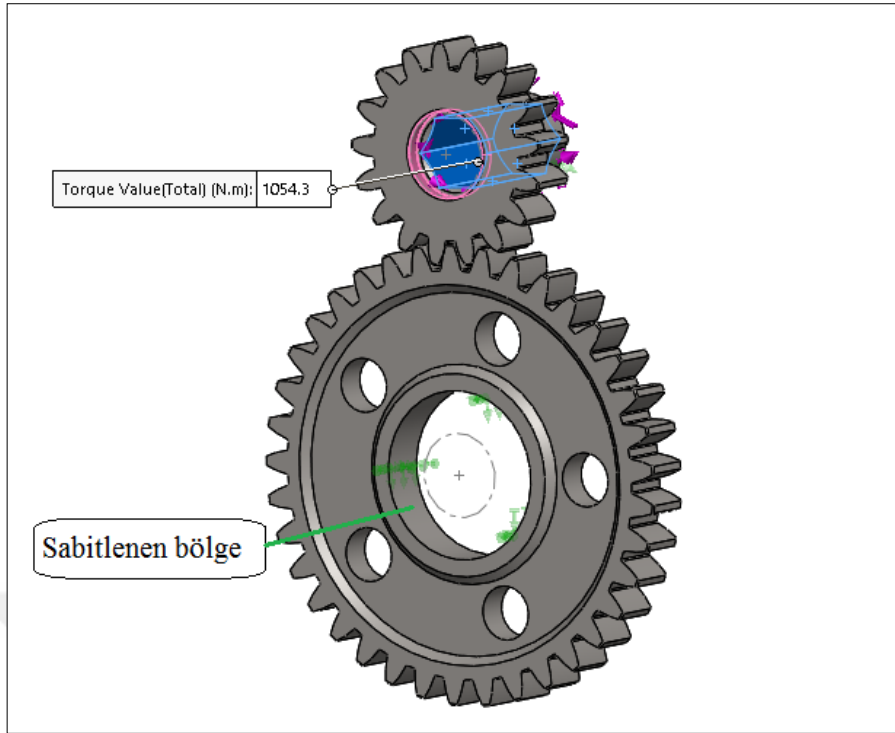
3.5.2. Z17 dişlisinin sonlu elemanlar analizi

Z17 dişlisinin sonlu elemanlar analizinde diş yüzeyleri temas halinde bulunan Z37 dişlisi ile montajın analizi yapılması uygun görülüp her iki elemanın katı modeli ve montaj resmi Solidworks yazılımı ile yapılmıştır (Şekil 3.23).

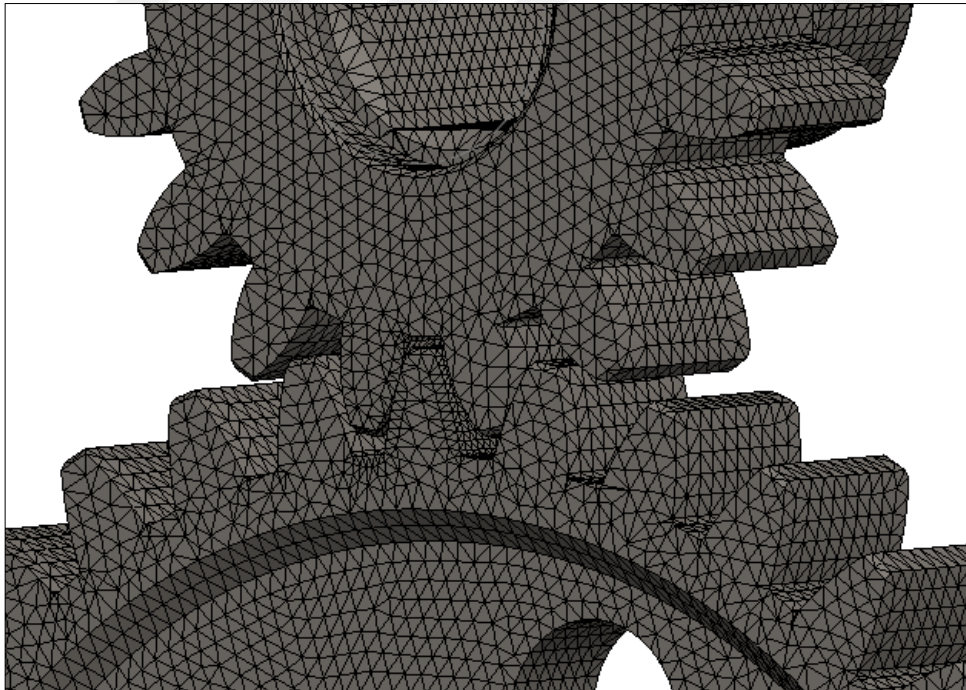


Şekil 3.23. Z17 dişlisi ve Z37 dişlisinin montaj resmi

Elemanın malzemesi olan 20MnCr5, Solidworks kütüphanesinde DIN standardı alaşımlı çelikler kısmından seçilmiştir. Z17 dişlisi ile toprak frezesinin dişli kutusunun çıkış kısmı ile eksenleri aynı olduğu için devir sayıları dolayısıyla tork değerleri aynı olmaktadır. Elemana uygulanacak olan tork değeri 1054,3 Nm olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.24'te gösterildiği gibi döndürme kuvveti Z17dişlisinin iç kısmında bulunan 6 köşeli yüzeyden uygulanmıştır ve Z37 dişlisinin göbek kısmından sabitlenmiştir.



Şekil 3.24. Z17 dişlisine uygulanan yükün ve sınır koşulunun görünümü

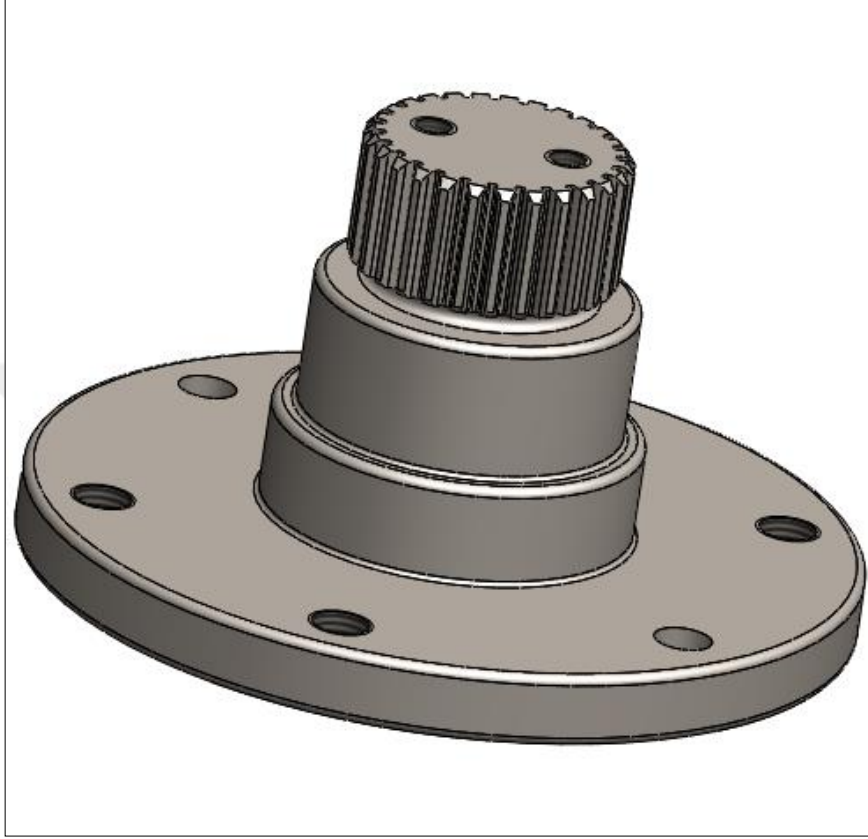


Şekil 3.25. Mesh yapısının görünümü

Simülasyon çalıştırılıp çözüm işlemi yapılmış ve sonuçlar alınmıştır.

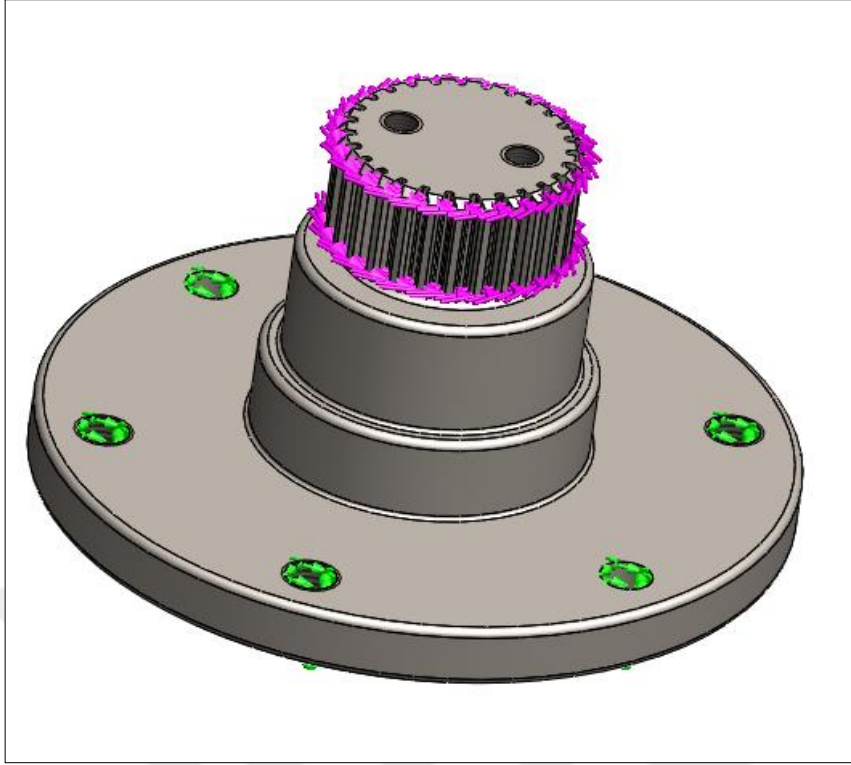
3.5.3. Frezeli aksın sonlu elemanlar analizi

Hasara uğrayan frezeli aksın üç boyutlu katı modeli Solidworks yazılımı ile oluşturulmuştur.

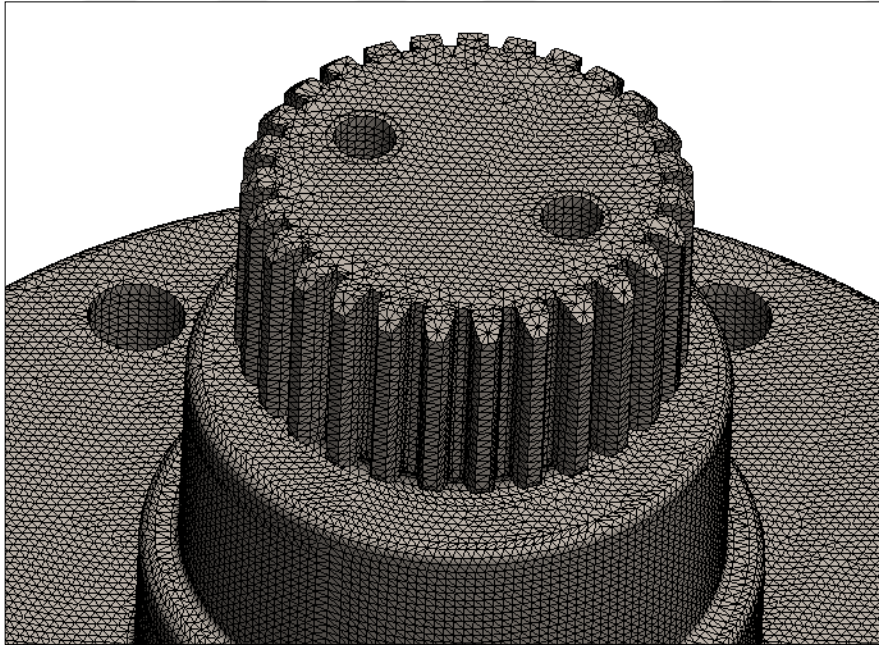


Şekil 3.26. Hasarlı frezeli aksın üç boyutlu katı modeli

Elemanın malzemesi daha önce tespit edilen DIN standardına göre CK45, AISI standardına göre AISI 1045 Solidworks kütüphanesinden seçilmiştir. Frezeli aks bir ucu ana mile diğer bir ucu da dişli takımının Z26 dişlisine bağlı olduğu için devir değeri Z26 ile aynıdır. Z26 dişlisinin devri 182 min^{-1} olarak hesaplanmıştır. Yapılan tork hesabıyla bulunan değer 1935 Nm 'dir.



Şekil 3.27. Hasarlı frezeli aksa uygulanan yükün ve sınır koşullarının görünümü



Şekil 3.28. Hasarlı frezeli aksın mesh yapısı

Mesh yapısı da belirlendikten sonra simülasyon çalıştırılmış ve çözüm yapılmıştır.

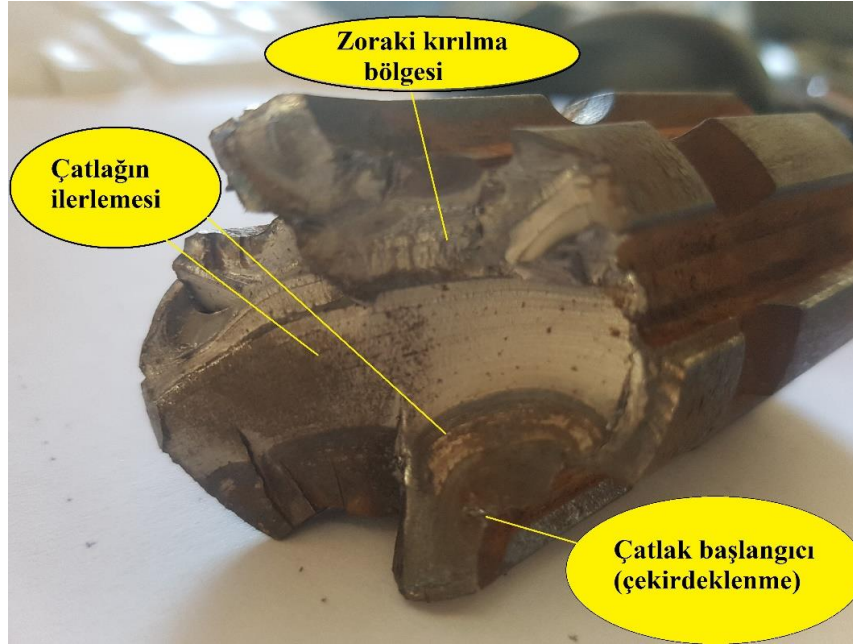
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, toprak frezesi hasarlı hareket iletim elemanlarında hasar analizi yapılmıştır. İncelenen elemanlardan birincisi toprak frezesinin traktörden aldığı dönü hareketini yan dişli takımına ileten dişli kutusunun frezeli milidir. Frezeli milde oluşan hasar, mafsallı şafta bağlanan frezeli kısmın kopması ile gerçekleşmiştir. Hasarlı elemanların ikicisi dişli kutusundan aldığı dönü hareketini ana mile ileten yan dişli takımının birinci dişlisidir (Z17 dişlisi). Z17 dişlisinde hasar, diş geometrilerinde meydana gelmiş şekil bozuklukları olarak tespit edilmiştir. Üçüncü hasarlı eleman ise, yan dişli takımından aldığı dönü hareketini, işleyici uç demirlerinin bağlı olduğu ana mile ileten frezeli akstır. Frezeli aksta hasar, aksın frezeli kısmının bittiği yerde bulunan boğaz kısmından kopması şeklinde gerçekleşmiştir. Bu elemanlarda meydana gelen hasarların sebeplerinin tespiti için bazı deneysel incelemeler yapılmıştır. Yapılan bu incelemeler; hasarlı yüzeylerin makro incelemesi, tahribatlı deneyler (sertlik ölçümü ve çekme deneyi) ve sonlu elemanlar analizi yöntemleridir. İncelemeler sonunda elde edilen bulgular ve konuya ilişkin değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

4.1. Makro İnceleme Sonuçları

4.1.1. Frezeli milin makro inceleme sonuçları

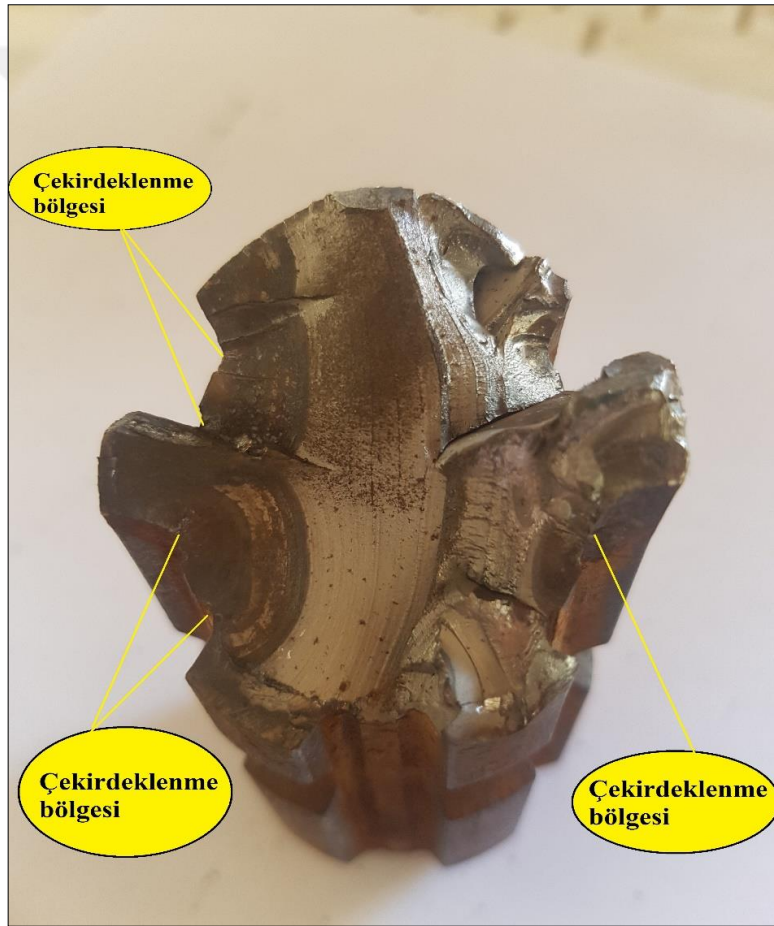
Hasarlı frezeli milin kırık yüzeyinin makro incelemelerde kırık yüzey üzerinde yorulma izlerine rastlanmıştır. Yorulma hasarında hasar yüzeyde bulunan bir süreksizlikte başlar, çatlak belirli bir periyotta ilerler ve uygulanan yükün taşınamamasıyla aniden kırılır. Yorulma hasarında üç farklı bölge oluşumu görülür (Eryürek 1993). Şekil 4.1’de hasarlı frezeli milde yorulma izleri gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Frezeli milin kırık yüzeyinde yorulma izleri görünümü

Çatlak ilerlemesi bölgesinde görülen kahverengi renkli bölgenin oluşmasının nedeninin elemanın kullanılmadığı süreçte korozyona uğramasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Millerde yorulma eğilme, burulma ve eksenel gerilmelerinin etkisi ile meydana gelmektedir. Frezeli milin burulma gerilmesi sonucu olduğu izleri görülmektedir. Ay ve Sakin (1998)'e göre burulma yorulmasında kırık yüzeyde yıldız şeklinde görüntüler ve kesme oyuğu üzerinde uzunlamasına ve çapraz şekilde çatlaklar mevcuttur.

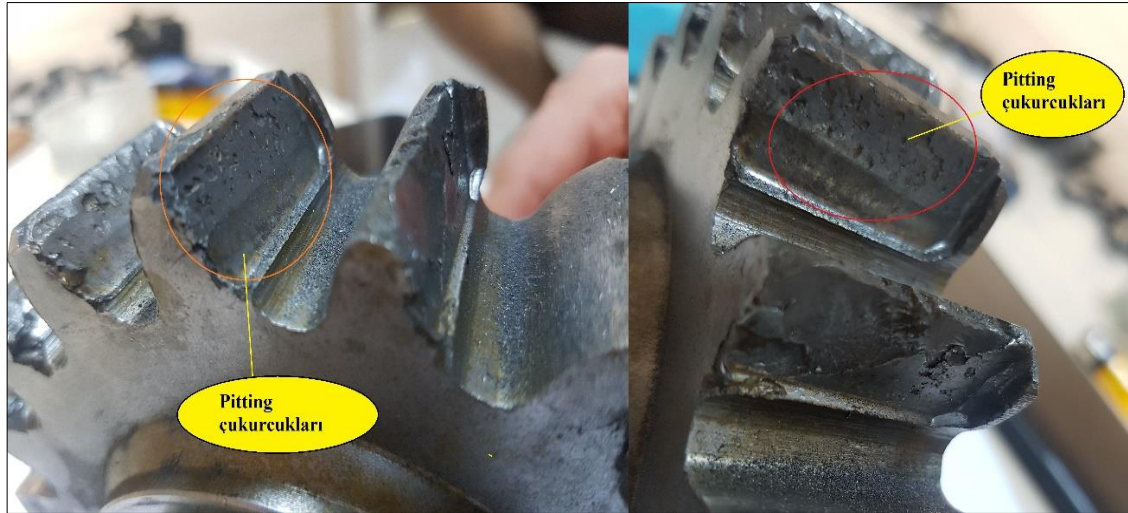
Kırık yüzey detaylı olarak incelendiğinde, kırık yüzeylerde yorulmanın çekirdeklenme bölgeleri freze diplerinde bulunan çentiklerde olduğu görülmektedir. Bu durum; “Eryürek (1993)'e göre eğilme ve burulmada çentiğin bulunduğu durumlarda yüzey maksimum gerilmeye maruz kalır” tanımlaması ile de uyusmaktadır.



Şekil 4.2. Çekirdeklenme (çatlak başlangıç) bölgelerinin bulunduğu frezeli kısımlar

4.1.2. Z17 dişlisinin makro inceleme sonuçları

Z17 dişlisinin hasarlı bölgesinin makro incelemesi yapılmıştır. Yapılan incelemede diş yüzeylerinde ilerleyen pitting hasarı (yüzey basınç hasarı) tespit edilmiştir (Şekil 4.3).

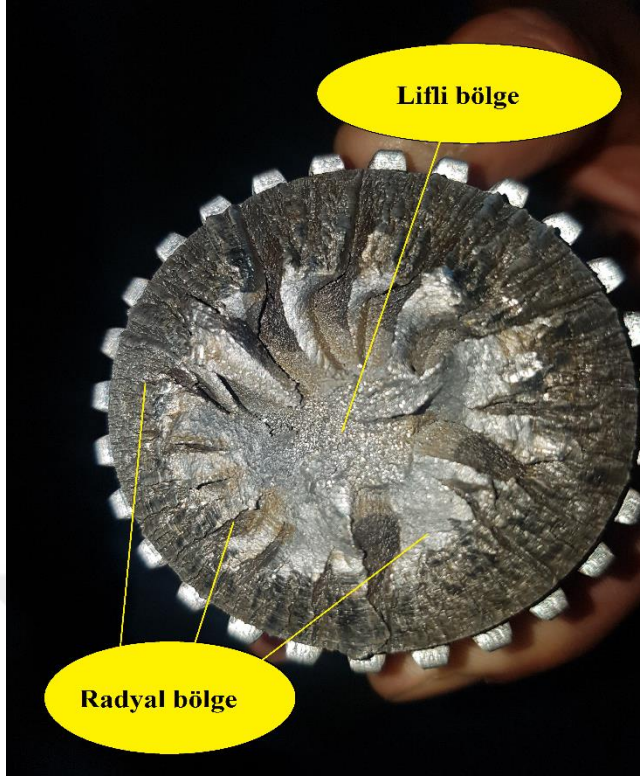


Şekil 4.3. Z17 dişlisi diş yüzeylerinde oluşan ilerleyen pitting hasarı

Kızılaslan (2010)'a göre bir yüzey yorulma hasarı olan pitting tekrarlı yüzey veya yüzey altı gerilmelerinin etkisi ile oluşmaktadır. Aşırı basınç altında yüklerin tekrarlanması ile yüzeyde veya yüzey altında meydana gelen çatlakların birleşmesiyle elemandan parça kopması şeklinde gerçekleşir. Dişli imalatında kullanılan sementasyon çeliklerinin C elementi oranı yaklaşık 0,2 dir. Sementasyon işlemi ile yüzey ve yüzeyden 0,2-1,5 mm derinliklerde C elementi oranı 0,8-1,0'a çıkarılır. Yorulma ömrü sementasyon tabakasının artmasıyla artar. Hasarlı Z17 dişlisinin malzemesinin sementasyon çeliği olmadığı anlaşılmıştır. Yüzeyinde bulunan sert tabakanın derinliğinin yeterince olmadığı düşünülmektedir. Derinliğin yeterince olmaması tekrarlı yüzey basınç etkisiyle yüzey veya yüzey altında çatlakların oluşup birleşmesiyle yüzeyin ezilmesine ve devamında pitting oluşumuna sebep olduğu düşünülmektedir. Aslantaş vd. (2001) 'ye göre pitting ve spalling türü hasarlar kayma ve yüzey altı gerilmelerin bir sonucu olarak ortaya çıkar, uygulanan kuvvet ve sürtünme katsayısı en aza indirilerek çalışma ömrü arttırılabilir.

4.1.3. Frezeli aksın makro inceleme sonuçları

Hasarlı frezeli aksın makro incelemesi yapılmıştır. Yapılan incelemelerde kırık yüzeyin merkezinde lifli bölge ve bu lifli bölgenin etrafında radyal bölge bulunmaktadır (Şekil 4.4)



Şekil 4.4. Frezeli aks kırık bölgesinde lifli ve radyal bölge görünümü

Lifli bölge sünek kırılmanın, etrafındaki radyal izler ise gevrek kırılmanın belirtisidir. Radyal izler birbirinde uzaklaşıyor ise çatlak o yöne ilerliyor demektir. Çizgilerin birleştiği yer ise çatlağın orijini (Ay 2005). Dolayısıyla kırılmanın merkezden dışa doğru gerçekleştiği görülmektedir. Eryürek (1993)'e göre maksimum kayma gerilmesi düzlemindeki plastik deformasyon sonucunda metalsel olmayan kalıntılar ile metaller arasındaki bağlar koparak mikro boşluklar oluşur. Bu boşluklar plastik deformasyonla birleşerek çatlağın ilerlemesini sağlar.

4.2. Sertlik Deneyi Sonuçları

Hem hasarlı hem de yeni elemanların her birinin 4 farklı yerlerinden yapılan ölçümlerle ortaya çıkan sertlik değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Hasarlı ve yeni elemanlardan ölçülen sertlik değerleri

	Frezeli Mil		Z17 Dişlisi		Frezeli Aks	
	Hasarlı	Yeni	Hasarlı	Yeni	Hasarlı	Yeni
Sertlik yöntemi	HRC		HRC		HRB	
Ortalama değer	35,75	63,25	57,50	57,63	82,75	86,83
Sınır değerler	57-64		58-64		83-87	

Yapılan sertlik test sonuçlarına göre, hasarlı frezeli milin ortalama sertlik değeri 35,75 HRC iken, yeni frezeli milin sertlik değeri 63,25 HRC ölçülmüştür. Yeni elemanın sertlik değeri sınır değerleri içerisinde yer almaktadır fakat hasarlı elemanın sertlik değeri sınır değerinin oldukça altında kaldığı görülmektedir. Malzeme sertlik değerinin gereken değerden düşük olması sebebiyle tekrarlı plastik deformasyonlara maruz kalan elemanda çentikli bölgelerde çatlağın başladığı düşünülmektedir.

Hasarlı Z17 yan dişlisinin ortalama sertlik değeri 57,5 HRC iken, yeni Z17 yan dişlisinin ortalama sertlik değeri 57,63 HRC olarak tespit edilmiştir. Her iki elemanın sertlik değeri istenilen sınır değerinden önemsenmeyecek miktarda düşük olduğu tespit edilmiştir.

Hasarlı frezeli aksın ortalama sertlik değeri 82,75 HRB; yeni frezeli aksın ortalama sertlik değeri 86,83 HRB olarak bulunmuştur.

4.3. Çekme Deneyi Sonuçları

İncelenen toprak frezesi hareket iletim elemanlarından çekme numunesi temin edilemediği için çekme deneyi numuneleri bu elemanların malzemelerinden hazırlanan numunelerle yapılmıştır. Çekme deney sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Çekme deneyi sonuçları

Malzeme	Numunenin Çapı (mm)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Kopma Uzaması (%)
16MnCr5	10,0	379,74	634,69	24,15
20MnCr5	10,0	419,6	637,13	24,40
CK45	10,0	775,87	917,29	17,35

Çekme deneyi sonucu 16MnCr5 malzemesinin akma dayanımının $379,74 \text{ N/mm}^2$ ve çekme dayanımının $634,69 \text{ N/mm}^2$ olduğu belirlenmiştir. Çıkan bu sonuçlar 16MnCr5 malzemesinin katalog değerleri olan akma dayanımı 635 N/mm^2 ve çekme dayanımı 800 N/mm^2 ile kıyas yapıldığı zaman her iki sonuç değerinin katalog sınır değerlerinden düşük olduğu anlaşılmıştır. Numune alınan malzeme frezeli mil imalatında kullanılan/kullanılacak olan malzemelerden elde edilmiştir. İmalatçının frezeli mil imalatında kullandığı 16MnCr5 malzemesi, malzemenin olması gereken katalog sınır değerlerini karşılamaması sebebiyle kullanılan malzemenin hatalı olduğu düşünülmektedir.

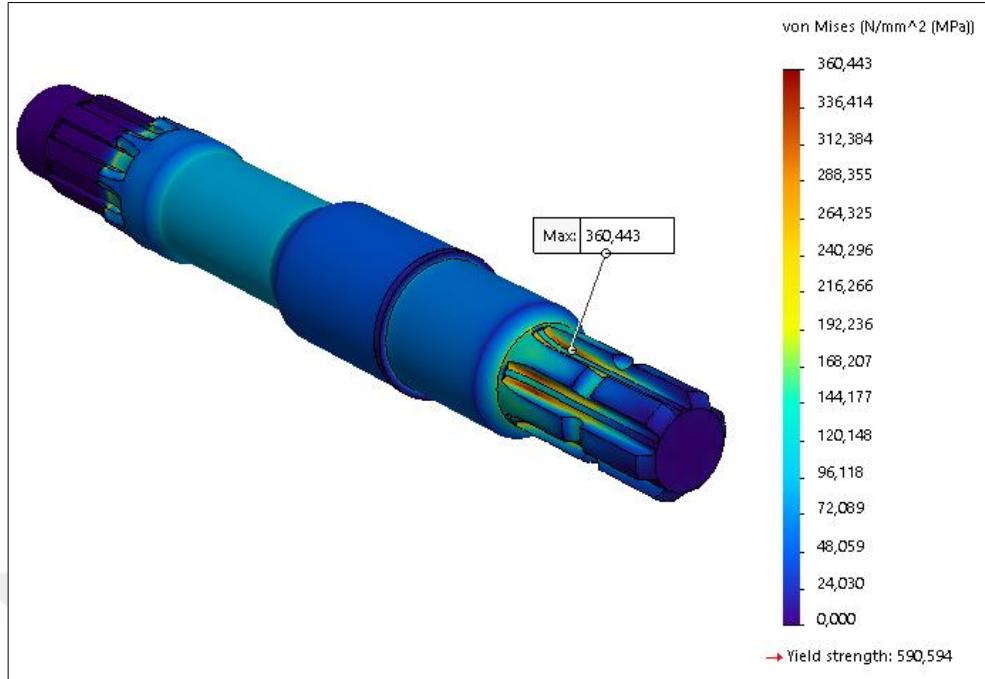
Dişli imalatında kullanılan 20MnCr5 malzemesinin çekme deney sonuçları ile olması gereken katalog sınır değerleri kıyaslaması yapılmıştır. Deney sonucu $419,06 \text{ N/mm}^2$ bulunan akma dayanımı ve $637,13 \text{ N/mm}^2$ bulunan çekme dayanımının, katalog sınır değeri olan 635 N/mm^2 akma dayanımı ve 800 N/mm^2 çekme dayanımından düşük olduğu tespit edilmiştir. İmalatta kullanılan 20MnCr5 malzemesinin katalog değerlerini karşılamaması sebebiyle çekme deneyi yapılan malzemenin hatalı olduğu düşünülmektedir.

Ck45 malzemesinin çekme deney sonuçları ile olması gereken katalog sınır değerleri kıyaslaması yapılmıştır. Deney sonucu $775,865 \text{ N/mm}^2$ bulunan akma dayanımı ve $917,29 \text{ N/mm}^2$ bulunan çekme dayanımının, katalog sınır değeri olan 500 N/mm^2 akma dayanımı ve 700 N/mm^2 çekme dayanımından yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çekme deneyi sonucu Ck45 malzemesinin katalog sınır değerlerini karşıladığı tespit edilmiştir.

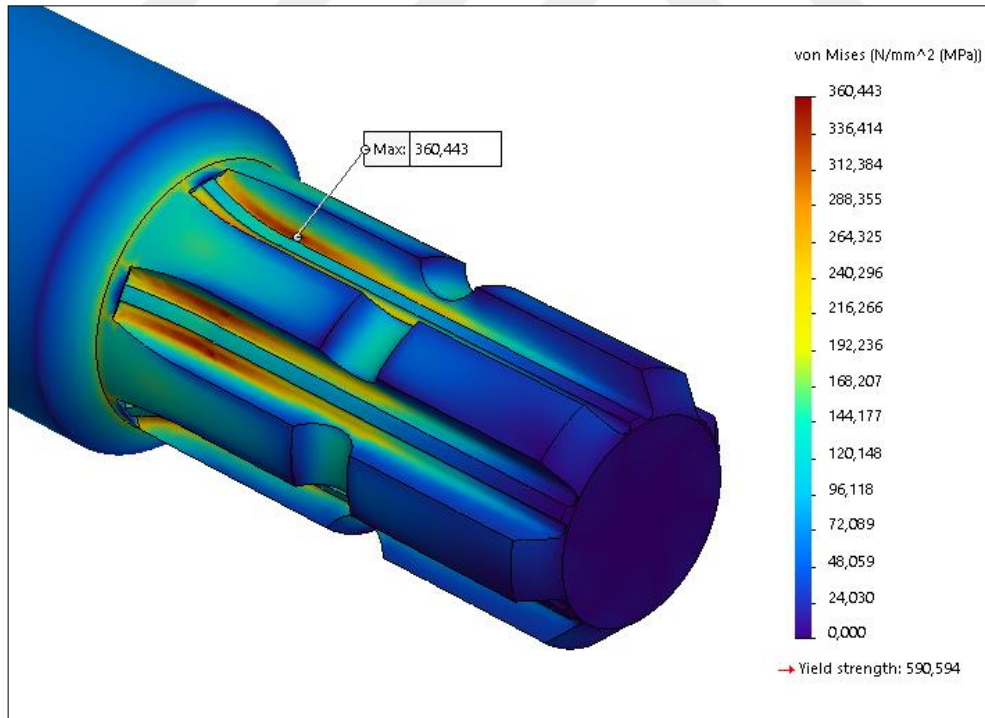
4.4. Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları

4.4.1. Frezeli milin sonlu elemanlar analizi sonuçları

Hasara uğrayan frezeli milin gerçek çalışma koşullarına uygun olarak mafsallı şaftın bağlandığı frezeli kısma yük uygulanmıştır. Uygulanan döndürme kuvveti yapılan hesaplamalar sonucunda $652,10 \text{ Nm}$ 'dir. Analiz sonucunda eleman üzerinde oluşan gerilmeler ve deformasyon miktarları izlenmiştir. Bulunan maksimum gerilme $360,443 \text{ MPa}$ ve maksimum gerilmenin olduğu yer Şekil 4.5'te görüldüğü gibi elemanın kırılma ile sonuçlanan hasarlı bölgesinde görülmüştür.

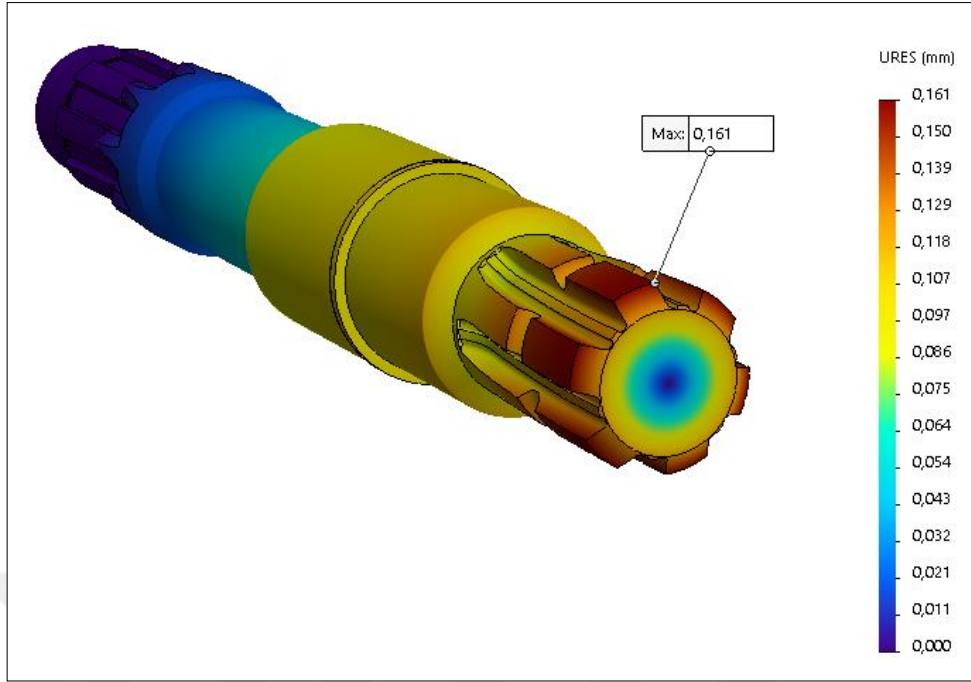


Şekil 4.5. Hasarlı parçanın yükleme sonucundaki eş değer gerilmesi



Şekil 4.6. Frezeli milde oluşan maksimum gerilmenin yeri

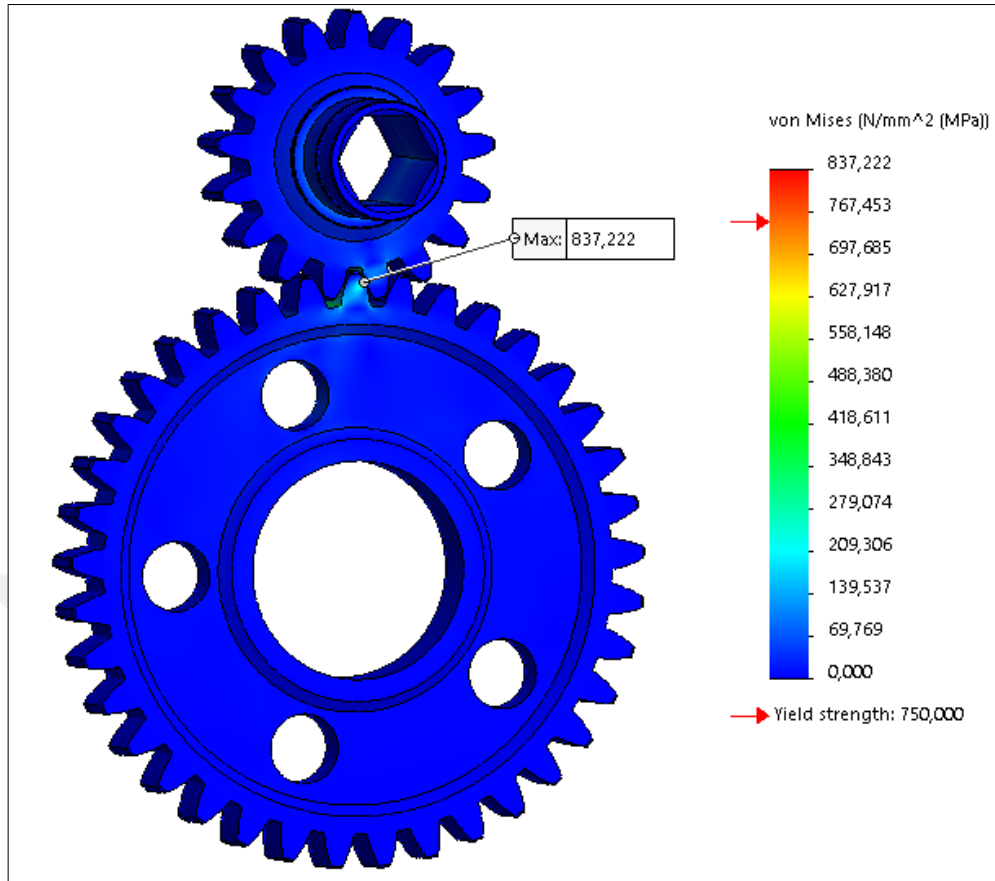
Analiz sonucunda elemanda meydana gelen deformasyon Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Maksimum deformasyon 0,161 mm ile frezeli kısmın en uç kısmında kaydedilmiştir.



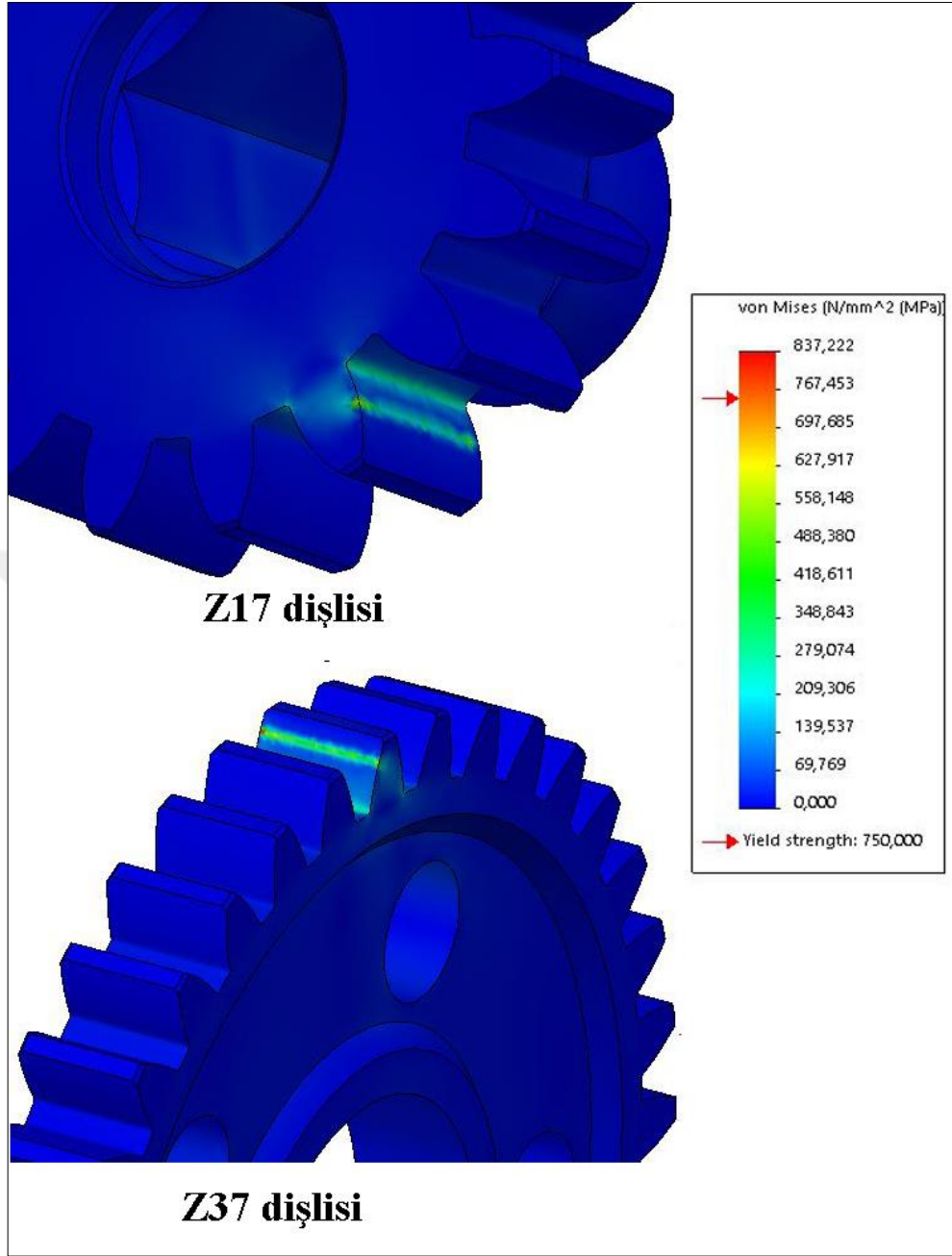
Şekil 4.7. Analiz sonucunda elemanda meydana gelen maksimum deformasyon

4.4.2. Z17 dişlisinin sonlu elemanlar analizi sonuçları

Hasara uğrayan Z17 dişlisinin gerçek çalışma koşullarına uygun olarak dişlinin dişli kutusundan aldığı milin bağlandığı 6 köşeli kısmından yük uygulanmıştır. Uygulanan tork değeri hesaplamalar sonucunda 1054,3 Nm'dir. Analiz sonucunda eleman üzerinde oluşan gerilmeler ve deformasyon miktarları izlenmiştir. Bulunan maksimum gerilme 837,222 MPa ve maksimum gerilmenin olduğu yer Şekil 4.8'de görüldüğü gibi elemanın dış yüzeyinde gerçekleşen ve pitting hasarı oluşan bölgede ortaya çıkmıştır.

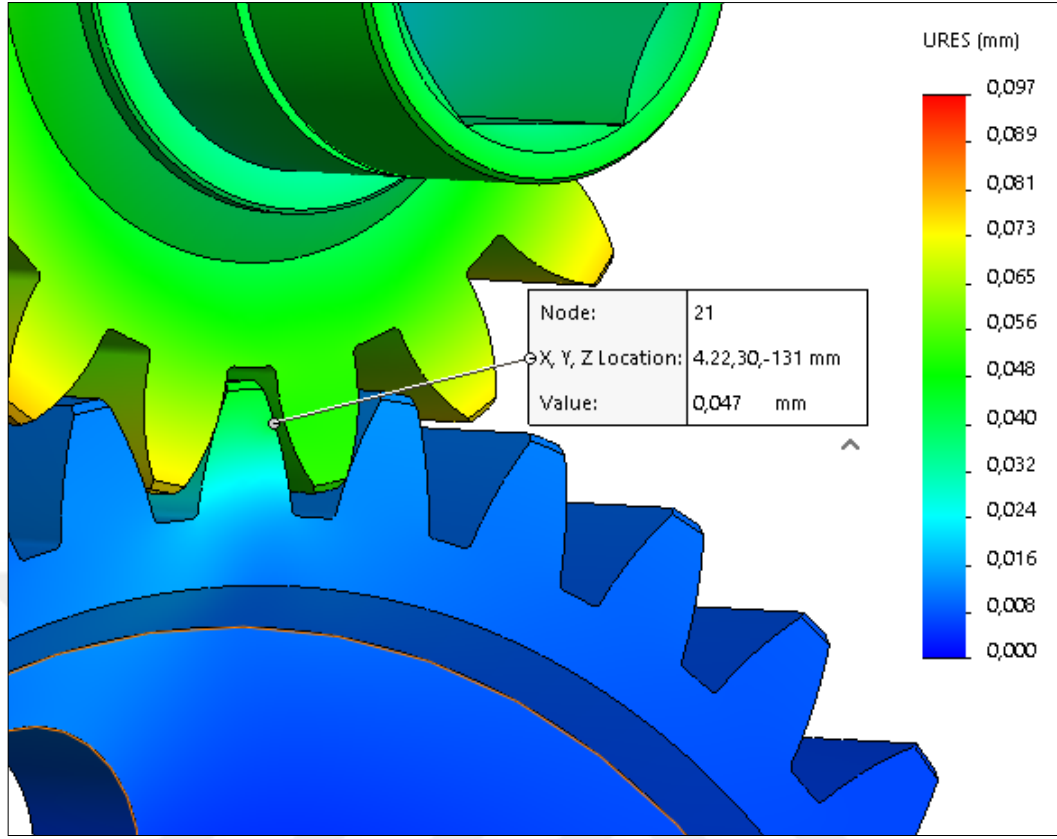


Şekil 4.8. Z17 dişlisinde oluşan maksimum gerilme ve yeri



Şekil 4.9. Z17 dişlisinde oluşan maksimum gerilme miktarı ve oluştuğu bölgeler

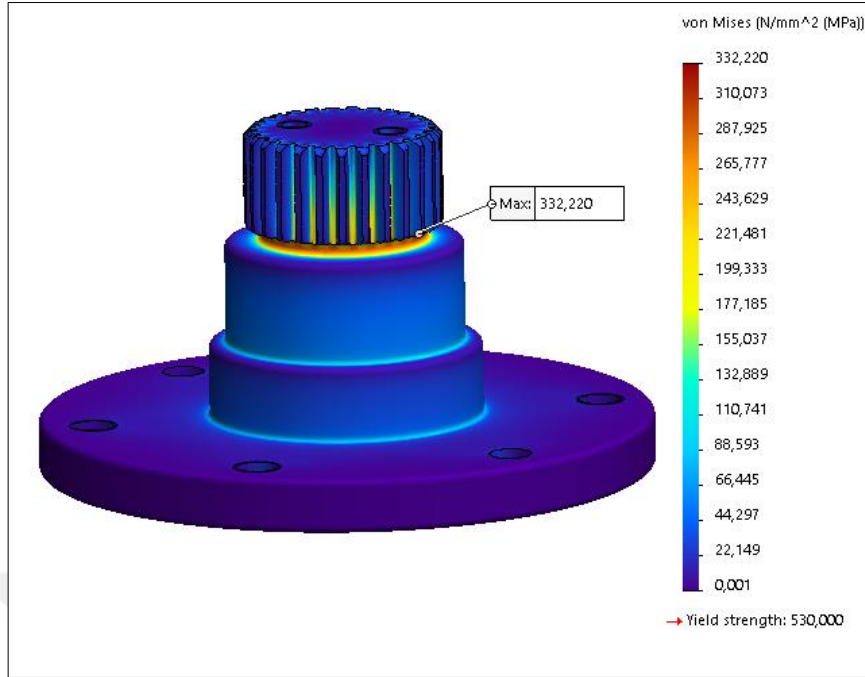
Yapılan analiz sonucunda elemanın hasara uğrayan kısmında oluşan deformasyon miktarı 0.047 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.10).



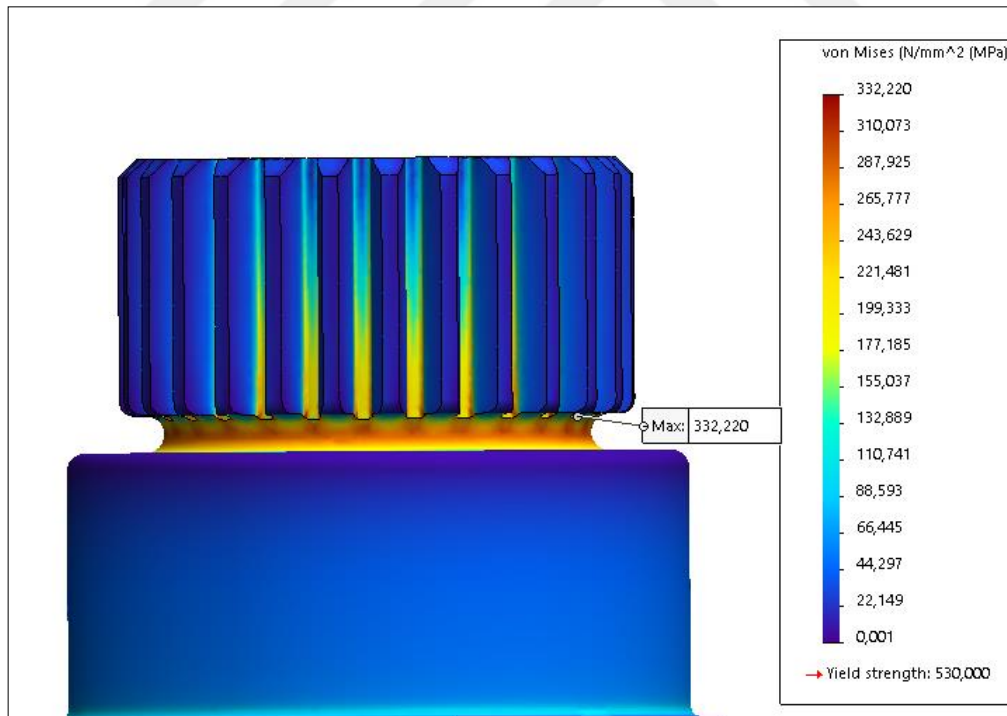
Şekil 4.10. Z17 dişlisinde meydana gelen deformasyon miktarı ve yeri

4.4.3. Frezeli aksın sonlu elemanlar analizi sonuçları

Frezeli aksın gerçek çalışma koşullarında yüklenme bölgesi olan Z26 dişlisine bağlandığı kısma 1935 Nm tork kuvveti uygulanmıştır. Analiz sonucunda oluşan maksimum gerilme kırılma ile sonuçlanan hasar bölgesinde çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de maksimum gerilmenin bulunduğu bölge gösterilmektedir.

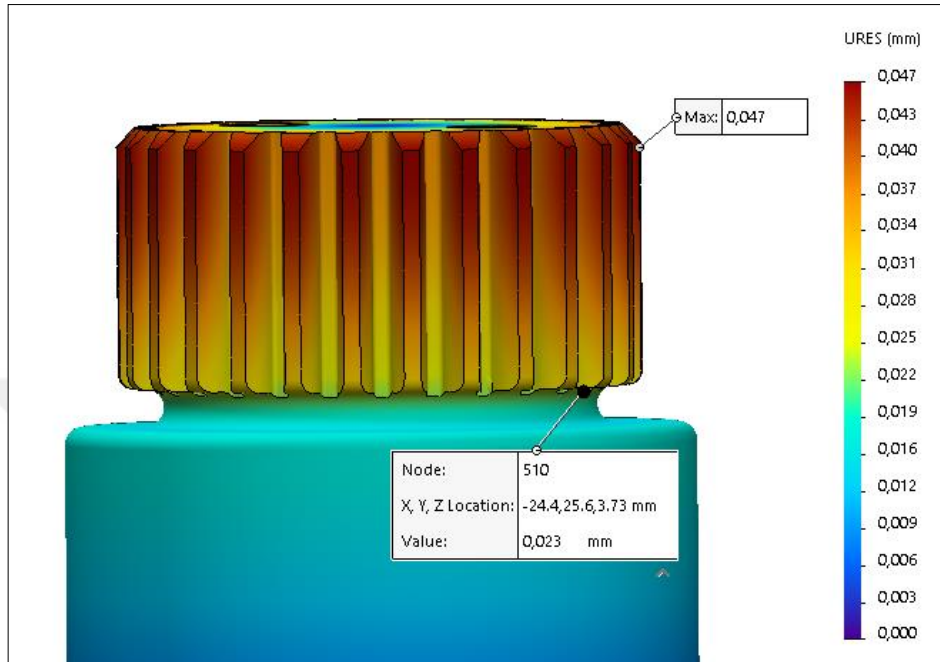


Şekil 4.11. Hasarlı frezeli aksta meydana gelen maksimum gerilme



Şekil 4.12. Frezeli aksta meydana gelen maksimum gerilme bölgesi

Yapılan analiz sonucunda oluşan maksimum deformasyon miktarı 0.047 mm olarak tespit edilmiş ve maksimum deformasyonun olduğu bölge frezeli kısmın uç bölgesinde ortaya çıkmıştır. Elemanın hasarlı bölgesinde oluşan deformasyon miktarı 0,023 mm'dir.



Şekil 4.13. Frezeli aksta meydana gelen maksimum deformasyon ve yeri

4.5. Delillerin Analizi

4.5.1. Frezeli mil delillerinin analizi

Hasarlı frezeli milinin kırık yüzeyinin incelemesinde, kırık yüzeylerde yorulma izlerine rastlanmıştır. Yorulma mekanizması ile başlayan hasar kırılma ile sonuçlanmıştır. Yorulma mekanizmalarında hasar üç aşamada ortaya çıkmaktadır. Bunlar çatlağın başlaması, çatlağın ilerlemesi ve zoraki kırılmanın gerçekleşmesidir. Yorulma çatlak başlangıç noktalarının frezeli milin frezeli kısımlarının kama dip kısımlarında bulunan çentikli bölgede başladıkları tespit edilmiştir. Yapılan sertlik ölçümlerinde hasarlı frezeli milin ortalama sertlik değerinin 35,75 HRC, yeni temin edilen frezeli milin ortalama sertlik değeri 63,25 HRC olarak ölçülmüştür. Frezeli millerde olması gereken sertlik değeri 57-64 HRC 'dir.

Elemanın imalatçısından temin edilen malzemesinden (16MnCr5) alınan numuneler ile yapılan çekme deneyi sonunda akma dayanımı $379,74 \text{ N/mm}^2$, çekme dayanımı değeri ise $635,685 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Çıkan bu sonuçlar 16MnCr5 malzemesinin katalog değeri olan akma dayanımı 635 N/mm^2 ve çekme dayanımı 800 N/mm^2 ile kıyas yapıldığı zaman her iki sonuç değerinin katalog sınır değerlerinden düşük olduğu anlaşılmıştır. Numuneler frezeli mil imalatında kullanılan/kullanılacak olan

malzemelerden elde edilmiştir. İmalatçının frezeli mil imalatında kullandığı 16MnCr5 malzemesi, olması gereken katalog sınır değerlerini karşılamaması sebebiyle kullanılan malzemenin hatalı olduğu düşünülmektedir.

Sonlu elemanlar analizi sonuçları değerlendirildiğinde elemana etki eden maksimum gerilme değeri $360,443 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir. Maksimum gerilmenin olduğu bölge ile hasarlı bölge uyuşmaktadır. Buna göre frezeli milde oluşan hasarın nedeni, hasarlı frezeli milin sertliğinin istenilen düzeyde olmaması, dolayısıyla tekrarlı yüklere karşı mukavemetinin düşük olmasıdır. Bu hasarın tekrarlanmaması için elemanın bu kullanım amacına uygun dayanım sağlayacak sertlikte imal edilmesi gerekmektedir.

4.5.2. Z17 dişlisinin delillerinin analizi

Z17 dişlisinin hasarlı yüzeyinin makro incelemesinde diş temas yüzeylerinde pitting çukurcukları hasarı tespit edilmiştir. Sertlik değerlerinin kıyaslanabilmesi için hem hasarlı hem de yeni temin edilen elemanda sertlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonunda hasarlı elemanın ortalama sertlik değeri 57,50 HRC, yeni elemanın ortalama sertlik değeri 57,63 HRC tespit edilmiştir. Dişli çarklar için ideal sertlik değeri ise 58-64 HRC'dir. Ölçülen değerler istenilen değerlerden önemsenmeyecek miktarda düşük çıkmıştır. Bu bilgi göz önüne alınırsa hasarlı Z17 dişlisinin hasar sebebi sertlikle ilgili olmadığı düşünülmektedir.

Z17 dişlisinde meydana gelen hasar diş yüzeylerinde meydana gelen pitting hasarıdır. Kızılaslan (2010)'ya göre bir yüzey yorulma hasarı olan pitting tekrarlı yüzey veya yüzey altı gerilmelerinin etkisi ile oluşur. Aşırı basınç altında yüklerin tekrarlanması ile yüzeyde veya yüzey altında meydana gelen çatlakların birleşmesiyle elemandan parça kopması şeklinde gerçekleşir. Hasarlı Z17 dişlisinin tavsiye edilen malzemeden yapılmadığı tespit edilmiştir. Kullanılan malzemenin yüzey sertlik derinliğinin düşük olduğu düşünülmektedir. Aşırı yüklenme durumunda yüzey basıncının artmasıyla yüzeyde ve yüzey altında çatlaklar oluşturduğu düşünülmektedir. Oluşan çatlakların birleşmesiyle ezilme ve yüzeyden parça kopması şeklinde çukurcukların olduğu düşünülmektedir.

Z17 dişlisinin sonlu elemanlar analiz sonuçları irdelendiğinde oluşan maksimum gerilme $767,605 \text{ N/mm}^2$ ve maksimum gerilmenin meydana geldiği yer pitting hasarının bulunduğu diş yüzeyidir.

Elemanın imalatçısından temin edilen Z17 dişlisinin imalatında kullanılan 20MnCr5 malzemesinden alınan çekme deney sonuçları ile olması gereken katalog sınır değerleri kıyaslandığında deney sonucu $419,06 \text{ N/mm}^2$ bulanan akma dayanımı ve $637,13 \text{ N/mm}^2$ bulunan çekme dayanımının, katalog sınır değeri olan 635 N/mm^2 akma dayanımı ve 800 N/mm^2 çekme dayanımından düşük olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak dişlide meydana gelen hasarın aşırı yükleme ve dişli imalatında tavsiye edilen sementasyon çeliğinin kullanılmamasından kaynaklandığı kanaati edinilmiştir. Bu hasarın tekrarlanmaması için dişli imalatına uygun malzemenin seçilmesi, dişli yüzey pürüzlülüğünün daha düşük olacak şekilde imal edilmesi ve aşırı yüklenme durumlarının ortadan kaldırılması önerilebilir.

4.5.3. Frezeli aksın delillerinin analizi

Frezeli aksın kırık yüzeyinin makro incelemesinde kırık yüzeyin merkezinde lifli bölge ve bu lifli bölgenin etrafında radyal bölge bulunmaktadır. Sertlik değerlerinin kıyaslanabilmesi için hem hasarlı hem de yeni temin edilen elemanda sertlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonunda hasarlı elemanın ortalama sertlik değeri 82,75 HRB (~ 156 HB), yeni temin edilen elemanın ortalama sertlik değeri 86,825 HRB (~171 HB) tespit edilmiştir.

Ck45 malzemesinin çekme deney sonuçları ile olması gereken katalog sınır değerleri kıyaslaması yapılmıştır. Deney sonucu $775,865 \text{ N/mm}^2$ bulanan akma dayanımı ve $917,29 \text{ N/mm}^2$ bulunan çekme dayanımının, katalog sınır değeri olan 500 N/mm^2 akma dayanımı ve 700 N/mm^2 çekme dayanımından yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çekme deneyi sonucu Ck45 malzemesinin katalog sınır değerlerini karşıladığı tespit edilmiştir.

Frezeli aksın sonlu elemanlar analiz sonucunda ortaya çıkan maksimum gerilme değeri $332,220 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Maksimum gerilme bölgesi freze dişlerinin başladığı bölgedir. Hasarlı frezeli aksın hasarı da olan lifli bölge ve etrafındaki radyal çatlaklar hasarları, Eryürek (1993)' göre yapılan lifli bölgede mikro boşluktan kaynaklanan çatlaklar, birleşir ve büyüme sonucu ilerler" değerlendirmesine uymaktadır. Frezeli aksta meydana gelen bu hasarın malzeme içi hatadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bitkisel üretimin ilk aşaması olan toprak işleme aşamasında kullanılan toprak frezesinin, hareket iletim elemanlarında oluşan hasarların analizi yapılmıştır. Hasarlı hareket iletim elemanları; dişli kutusuna ait frezeli mil, yan dişli takımına ait Z17 dişlisi ve ana mile bağlı frezeli aks elemanıdır. Çalışma kapsamında, toprak frezesi hareket iletim elemanlarında meydana gelen hasarlara neden olan teknolojik hataların tespit edilmesi amaçlanmış ve bu hasarların tekrarlanmaması için çözüm önerileri sunulmaya çalışılmıştır.

Toprak frezesi hareket iletim elemanlarında yapılan hasar analizlerinde hasarlı dişli kutusu frezeli milinde yorulma hasarı tespit edilmiştir. Yorulma çatlaklarının, frezeli kısımda yer alan freze kama diplerinde bulunan çentiklerde başladığı belirlenmiştir. Frezeli milin malzemesinin tavsiye edilen malzeme olup olmadığını anlamak için kimyasal analiz yapılmıştır. Analiz sonucu malzemenin 16MnCr5 olduğu tespit edilmiştir. Sertlik deneyi sonucunda hasarlı frezeli milin sertlik değerinin olması gereken değerden oldukça düşük çıktığı tespit edilmiştir. Malzeme sertlik değerinin gereken değerden düşük olması sebebiyle tekrarlı plastik deformasyonlara maruz kalan elemenda çentikli bölgelerde çatlağın başladığı düşünülmektedir. Bilgisayar yazılımı ile yapılan sonlu elemanlar analizinde eş değer gerilmesi maksimum olduğu nokta frezeli milde meydana gelen hasarın olduğu bölgede belirlenmiştir.

Yan takım dişlilerinden hasarlı Z17 dişlisinde, diş yüzeyinde meydana gelen ilerleyen pitting hasarı tespit edilmiştir. Kimyasal analiz sonucu dişli malzemesinin tavsiye edilen malzeme olan 20MnCr5 olmadığı anlaşılmıştır. Yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda eş değer gerilmenin maksimum olduğu bölge hasarın olduğu bölgede belirlenmiştir. Sertlik deneyi sonucunda sertlik değerinin yeni temin edilen Z17 dişlisi sertlik değeriyle aynı ve dişli çarklarda önerilen sertlik değer referans aralığında olduğu görülmüştür. Dişli yüzeyinde meydana gelen bu hasarın sebebinin dişli imalatı için tavsiye edilen malzeme olmaması, yüksek basınç oluşturan yüklemeler ve pürüzlülükten kaynaklandığı belirlenmiştir.

Frezeli aks hasar incelemelerinde, merkezde lifli bölge ve bu lifli bölge etrafında dışa doğru birbirinden uzaklaşan radyal çatlaklar olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal analiz sonucunda elemanın malzemesinin CK45 olduğu tespit edilmiştir. Yapılan sonlu elemanlar yöntemi analizi sonucunda çıkan eş değer gerilmenin maksimum değeri frezeli kısım ile boyun bölgesinde freze diş dibinde meydana gelmiştir. Yapılan araştırma sonucu bu kırılma şeklinin mikro boşluk kaynaklı çatlak başlangıcı olduğu ve ilerlediği anlaşılmıştır.

Sonuç olarak, frezeli milde meydana gelen hasarın imalat yanlışlığı veya eksik ısıtım işlem uygulamasından, Z17 dişlisinde meydana gelen hasarın aşırı yüklenme ve malzeme seçiminin hatalı olmasından ve frezeli aksta meydana gelen hasarın malzeme içindeki hatalardan kaynaklandığı kanaati edinilmiştir.

Elemanlarda meydana gelen bu hasarların tekrarlanmaması için tasarım, imalat yöntem ve usullerinin daha dikkatli ve teknolojik yapılması ve elemanın nihai tüketiciye teslim edilmeden önce kalite kontrolden geçirilmesi gerektiği önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akıncı, I., Yılmaz, D., Çanakçı, M. 2005. Failure of a Rotary Tiller Spur Gear. *Engineering Failure Analysis*, 12(3): 400-404.
- Aksoy, A. 2015. Çelik malzemelerde hasar analizi. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 110 s.
- Alsaran, A. Hasar Analizi. <https://docplayer.biz.tr/1841294-Hasar-analizi-prof-dr-akgun-alsaran.html>, [Son Erişim Tarihi 16.05.2019].
- Alsaran, A. Kırılma Hasarı. <https://docplayer.biz.tr/27264390-Kirilma-hasar-analizi-prof-dr-akgun-alsaran.html>, [Son Erişim Tarihi 18.05.2019].
- Alsaran, A. Yorulma Hasarı. <http://www.metaluzmani.com/wp-content/uploads/2015/07/hasar-analizi-03-yorulma-9421.pdf>, [Son Erişim Tarihi 19.05.2019].
- Anonim 1: http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/makina_faf72.pdf [Son Erişim Tarihi 16.05.2019].
- Anonim 2: <https://docplayer.biz.tr/736891-Tahribatsiz-muayene-yontemleri.html> [Son Erişim Tarihi 16.05.2019].
- Anonim 3: http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/39932_1703231357926.pdf, [Son Erişim Tarihi 19.05.2019].
- Anonim 4: http://www.baskent.edu.tr/~ekoc/courses/MAK402/MAK_402_DENEY_1.pdf [Son Erişim Tarihi 19.05.2019].
- Anonim 5: <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=70> [Son Erişim Tarihi 19.05.2019].
- Anonim 6: www.malzemebilimi.net [Son Erişim Tarihi 19.05.2019].
- Anonim 7: <http://www.di-san.co.tr/sanziman-grubu/toprak-isleme-grubu/ds004-rotovator/>
- Anonim 8: www.metalurjik.net/celikte-bulunan-fazlar.
- Anonymous 1: Eddy Current testing. <http://www.appliedinspection.co.uk/ndt/eddy-current-testing/> [Son Erişim Tarihi 16.05.2019].
- Aslanlar, S. 2016. Çekme deneyi. http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/53867/43988/2.hafta_%C3%A7ekme_deneyi.pdf
- Aslantaş, K., Taşgetiren, S., DüNDAR, K., 2001. Düz dişlilerde sürtünme kuvvetinin hasar oluşumu üzerindeki etkisinin araştırılması. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(8): 33-40.
- Ay, İ. 2004-2005. Hasar Analizi. Balıkesir Üniv. Makine Müh. Böl. Yüksek Lisans/Doktora Ders Notları, 29s. Balıkesir. <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ha/lecture1.pdf> [Son Erişim Tarihi 14.05.2019].

- Ay, İ. Kırılmanın Temel Esasları. Kırılma Mekanikliği. <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/km/lecture1.pdf>, [Son Erişim Tarihi 19.05.2019].
- Bircan, A. 2010. Makine parçalarının hasar analizi. Yüksek lisans tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 103 s.
- Can, A. Ç. 2006. Malzeme Bilgisi (Ders Notları), Birsan Yayınevi, İstanbul, 239 s.
- Çakır, A.F. 2016. Korozyon: İnsanlık için stratejik öneme sahip tabii bir olay. Teknik yazı. Metalürji. Nisan Sayı :179, TMMOB Metalürji ve Malzeme Mühendisleri Odası.
- Çanakçı, M. 2008. Toprak Frezeleri. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Antalya.
- Çelik, H. K. 2013. Tarım makineleri tasarımında yapısal optimizasyon tekniklerinin uygulanması üzerine bir araştırma: tamburlu çayır biçme makinesi örneği. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 234 s.
- Çelik, H.K., Cınar, R., Kunt, G., Rennie, A.E.W., Ucar, M., Akıncı, İ., 2018. Finite Element Analysis of a PTO Shaft Used in an Agricultural Tractor. *Ergonomics International Journal*, 2(3): 000147.
- Çelik, İ., Taşdemir, M. 2017. Sertlik deney föyü. Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, 6 s.
- Demir, F. Ultrasonik muayene yöntemleri. <https://slideplayer.biz.tr/slide/10296675/> [Son Erişim Tarihi 16.05.2019].
- Eker, A.A. 2008. Çeliğin ısıtma işlemleri http://yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme1/Celigin_isil_islemleri.pdf, [Son Erişim Tarihi 19.05.2019].
- Eker, A.A. 2008. Demir karbon denge diyagramı. [http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Demir_Esasli_Malzemeler .pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Demir_Esasli_Malzemeler.pdf) [Son Erişim Tarihi 14.06.2019].
- Eker, A.A. 2009. Korozyon. http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/korozyonvekoruma/Korozyon_Koroz_yon_Mekanizmalari.pdf, [Son Erişim Tarihi 19.05.2019].
- Ergün, M. 2007. Tarım alet ve makinaları imalat sanayinin yapısı 2. Tarım kütüphanesi. [http://www.tarimkutuphanesi.com/Tarim_alet_ve_makinalari_imalat_sanayinin_yapisi_\(2\)_Murat_ERGUN_Uzman_01269.html](http://www.tarimkutuphanesi.com/Tarim_alet_ve_makinalari_imalat_sanayinin_yapisi_(2)_Murat_ERGUN_Uzman_01269.html) [Son Erişim Tarihi 14.05.2019].
- Eryürek, B. 1993. Hasar Analizi. Birsan Yayınevi, İstanbul, 171 s.
- Fetvacı, C. 2001. “Düz Dişli Çarkların Sonlu Elemanlar Metodu ile Modellenmesi ve Gerilmelerin İncelenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 90 s.
- Gökşenli, A., Eryürek, B. İ. 2007. Bir ambulansa ait direksiyon çolak kolunun hasar analizi. 8.Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı. 7-8 Kasım.
- Güleç, Ş., Aran, A., 1983, “Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı”, TUBITAK, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enst., MBEDE Matbaası, Gebze.

- İpekçi, A. 2015. Dişli çarklarda yüzey hasarının ve etkili parametrelerinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 92 s.
- Kanbir, Ö. 2014. Greyderin kritik bir parçasının hasar analizi. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 93 s.
- Kızılaslan, K., İşel, B., Yavuz, İ., 2010. Dişli çarklarda meydana gelen hasar türleri. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (7) 119-129.
- MEB, 2011. Tahribatlı Muayene. Metal teknolojisi ders notları. Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- MEB, 2011. Tahribatsız muayene yöntemi. Metal teknolojisi ders notları. Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara, 54 s.
- Miralbés R., Castejón L. 2009. "Design and Optimisation of Crane Jibs for Forklift Trucks", Proceedings of the World Congress on Engineering 2009 Vol II WCE 2009, July 1 - 3, London, U.K.
- Özmen, D. 2007. Yarı otomatik av tüfeği mekanizmasının yorulma dayanımının analizi. Yüksek lisans tezi. Marmara Üniversitesi, İstanbul. 117 s.
- Özmerzi, A. 1996. Bahçe Bitkilerinin Mekanizasyonu. Akdeniz Üniversitesi Basımevi, Antalya, 148 s.
- Sarıbıyık, M.
http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/66618/46059/5._kirilma.pdf,
[Son Erişim Tarihi 19.05.2019].
- Savaşkan, T. 1999. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Derya Kitapevi, Trabzon, 284 s.
- Shuckla, A.K., Das, P., Dutta, S., Ray, S., Roy, H., 2013. Failure analysis of a head gear pulley used in coal mines. *Engineering Failure Analysis*, 31(2013): 48-58.
- Yılmaz, D., Akıncı, İ., Çanakçı M., 2004. Yem kırma makinası hareket iletim mili hasarı ve hasar analizi. Tarımsal Mekanizasyon 22. Ulusal Kongresi, 8-10 Eylül, Aydın, 218-222 s.
- Yılmaz, D., Akıncı, İ., Çanakçı, M. 2001. Makine elemanlarında hasar analizi. Tarımsal mekanizasyon 20. Ulusal kongresi, 13-15 Eylül, Şanlıurfa, 568-572 s.
- Zeytin, S., Akıncı, A., İpek, M. Metalografik inceleme-1 Deney No: 2, <https://docplayer.biz.tr/31424566-2-prof-dr-sakin-zeytin-prof-dr-akin-akinci-yrd-doc-dr-mediha-ipek.html> [Son Erişim Tarihi 18.05.2019].

ÖZGEÇMİŞ

EMRAH ARICAN
emraharican@yandex.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2016- 2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği ABD, Antalya
Lisans 2007-2011	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ziraat Mühendisliği, Tarım Makineleri Bölümü, Samsun

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Üretim Sorumlusu 2011-Devam Ediyor	Kardeş Karadayılar Zirai Aletler İmalatı Ltd. Şti Serik / Antalya
---------------------------------------	--