

170798



**TAŞITLARDA GÜÇ AKTARMA ORGANLARINDA
HASAR ANALİZİ: ŞAFT MAFSALI VE AKS ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim YAVUZ

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN**

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Eylül 2005

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAŞITLARDA GÜÇ AKTARMA ORGANLARINDA
MEYDANA GELEN HASARLARIN ANALİZİ

İbrahim YAVUZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman
Yrd.Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

AFYON
2005

ONAY SAYFASI

İbrahim YAVUZ'un yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "Taşıtlarda Güç Aktarma Organlarında Meydana Gelen Hasarların Analizi" başlıklı bu çalışma, lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

... / ... /

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Süleyman TAŞGETİREN
(Başkan)

Jüri Üyesi: Yrd Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
(Danışman)

Jüri Üyesi: Yrd Doç. Dr. Şükrü TALAŞ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20.09.2005.....Gün
ve 2005/13-4 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Fatih NURAY
Enstitü Müdürü

ÖZET

Taşıtları hareket ettirebilmek için, motorda üretilen döndürme kuvvetinin gerekli miktarda artırılarak önden yada arkadan çekişli sistemlere bağlı olarak tekerleklere iletilmesi gerekir. Taşıtlarda hareket iletimini sağlayan bu sistemlerin tamamına Güç Aktarma Organları adı verilmektedir.

Güç aktarma organları taşıtın hareketine bağlı olarak ve sürekli çalıştığından dolayı zaman içinde bazı hasarlar meydana gelmektedir. Yapılmış hasar analizi çalışmalarında mil ve dişli hasarlarının ana nedeni olarak yorulma, bakımsızlık, aşırı zorlamalar gelmektedir ve sonuçta parçalarda kırılma, çatlama ve aşınma gibi hasarlar görülmektedir.

Bu çalışmada hasara uğramış güç aktarma organları genel olarak incelenmiş ve örnek olarak, kardan mili mafsalı ile aks milinin kırık yüzeyleri, metalografik numuneleri hazırlanarak analiz edilmiş, incelemeler sonucunda kırılmaların yorulmadan ve malzeme kusurlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Ayrıca kardan mili mafsalının sonlu elemanlar metodu ile gerilme analizleri yapılmış meydana gelen maksimum gerilme noktaları tespit edilmiş kırılan parça ile gerilme noktaları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güç aktarma organları, Taşıt Hasarları, Hasar analizi, Sonlu Elemanlar Metodu

ABSTRACT

The Failure Analysis of The Power Transmission System on Vehicles: Shaft And Axle Example

In order to move vehicles, power generated by an engine is transmitted from the gear box to the rear or front wheels. All vehicles have this system, which is called power transmission systems.

The transmission system transmits the power continuously when engine runs, leading to worn parts. In research work, we have found out that failure of transmission parts are caused by fatigue, non-maintenance and over-loading. These resulted in fracture, crack and fatigue.

In this work, surfaces of a sample universal joint and half-shaft were analyzed. The failures of these parts were caused by fatigue and material imperfections. By using the finite element method, stress analyses were carried out in order to identify maximum stress areas and compared to analysis result of the sample parts.

Keywords: Power Transmissions, Vehicle Failure, Failure Analysis, Finite Element Method

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	3
1.2 Kavrama Sistemi.....	4
1.2.1 Kavramanın Görevleri.....	4
1.2.2 Kavramaların Başlıca Görevleri ve Kavramadan Beklenen Özellikler.....	5
1.2.3 Kavrama Çeşitleri.....	5
1.2.4 Tek Diskli Kavramanın Yapısı ve Çalışması.....	6
1.3 Vites Kutuları (Transmisyon, Şanzıman).....	8
1.3.1 Vites Kutusundaki Gelişmeler.....	10
1.3.2 Vites Kutusunun Parçaları.....	11
1.3.3 Senkromeçli Bir Vites Kutusunun Çalışması.....	12
1.4 Kardan Mili (Şaft) ve Mafsallar.....	13
1.4.1 Mafsalların Gereksimi.....	13
1.4.2 ÜniVersal Mafsal (Kardan Mafsal).....	14
1.4.3 Kayıcı mafsallar.....	15
1.4.4 Sabit Hız Mafsalları.....	15
1.5 Diferansiyel ve Akslar.....	16
1.5.1 İstavroz ve Aks Dişlileri.....	19
1.5.2 Akslar.....	19
1.5.3 Diferansiyelin Yapısı ve Çalışması.....	19
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	22
3. HASAR ANALİZİ VE HASAR ÇEŞİTLERİ.....	29
3.1 Teknolojik Hatalar.....	30
3.1.1 Tasarım Sırasında Yapılan Hatalar.....	31
3.1.2 Malzeme İçindeki Hatalar.....	31
3.1.3 İmalat Sırasında Yapılan Hatalar.....	31
3.1.4 Montaj Hataları.....	32
3.1.5 Uygun Olmayan Çalışma Şartları.....	32
3.2 Hasar Analizi Basamakları.....	32
3.3 Hasar Analizi İçin Numunelerin Seçilmesi.....	33
3.4 Hasara Uğramış Parçanın İncelenmesi.....	34
3.4.1 Genel Muayene.....	34
3.4.2 Fotoğraf Çekme.....	34
3.4.3 Tahribatsız Deneyler.....	35
3.4.3.1 Manyetik Tozla Muayene.....	35
3.4.3.2 Penetran Sıvıyla Muayene.....	35
3.4.3.3 Girdap Akımıyla Muayene.....	36
3.4.3.4 Ultrasonik Muayene.....	36
3.4.3.5 Akustik Yayınımıyla Muayene.....	36

3.4.3.6 Mekanik Deneyler	37
3.4.10 Kimyasal Analiz	38
3.5 Taşıtlardaki Hasarlar ve Kaza Oranları	38
3.6 Kavrama Sistemde Meydana Gelen Hasarlar	41
3.6.1 Baskı Yaylarında Kırılma veya Çatlamlar	42
3.6.2 Debriyaj Balatasının Aşınması.....	42
3.6.3 Debriyaj Bağlantılarda Aşınma.....	43
3.6.4 Volan veya Baskı Diskinde Çatlamlar.....	43
3.6.5 Debriyaj Rulmanında Meydana Gelen Hasarlar.....	44
3.7 Vites Kutusunda Meydana Gelen Hasarlar	44
3.7.1 Dişlilerde Karşılaşılan Hasar Türleri.....	44
3.7.1.1 Yüzey yorulma hasarları	45
3.7.1.2 Karıncalanma “Pitting” oluşumu	45
3.7.1.3 Diş kırılması	46
3.7.1.4 Dişlilerdeki Aşınma	47
3.7.1.5 Senkromecin Aşınması ve Kırılması.....	47
3.7.1.6 Kurt Dişlilerinde Kırılmalar	48
3.7.1.7 Çubuk Bağlantılarında Tutukluk ve Yatakların Aşınması	48
3.8 Kardan Milinde Meydana Gelen Hasarlar	49
3.9 Diferansiyelde Meydana Gelen Arıza ve Hasarlar	51
3.9.1 Ayna Dişlisindeki Kırılmalar	51
3.9.2 Sıyrılmış veya Çapaklanmış Ayna ve Mahruti Dişli.....	52
3.9.3 Karıncalanmış Mahruti Dişli.....	52
3.9.5 Mahruti Dişlilerinde Kırılma.....	53
3.9.6 Aks ve İstavroz Dişlileri Ani Kırılmalar	54
3.9.7 İstavroz Dişlilerinde ve İstavroz Millerinde Sıyrılmış.....	55
3.9.8 Akslarda Meydana Gelen Kırılmalar	55
3.9.9 Aks Dişlisinde Meydana Gelen Çatlamlar ve Kırılmalar.....	57
4. NÜMERİK MODELLEME VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ	58
4.1 Sonlu Elemanlar Analizi	58
4.2 ANSYS Programı	59
4.3 Gerilme Analizinde Üç Boyutlu Problemler	60
4.4 Sonlu Eleman Formülasyonu	61
4.5 Eleman Rijitlik Matrisi ve Yük Vektörleri.....	65
4.6 Gerilme Hesabı	66
4.6 Kardan Mili Mafsalsının Modellenmesi.....	66
4.7 Nümerik Modelleme	67
4.8 Taşıtların Verileri ve Hesaplamaları	67
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	69
5.1 Metalografik İnceleme	69
5.2 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) İncelemeleri	69
5.3 Sertlik Deneyi.....	70
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	71
6.1 Aks Analizleri	71
6.1.1 Kimyasal Analiz.....	72
6.1.2 Sertlik Analizleri	73
6.1.3 Metalografik Analiz	73
6.1.4. SEM İncelemeleri.....	75

6.1.5 Sonuç.....	76
6.2 Kardan Mili Mafsalının Analizleri.....	77
6.2.1 Kimyasal Analiz.....	77
6.2.2 Sertlik Analizi (HRA)	78
6.2.3 Metalografik Analiz	78
6.2.4 SEM Analizi.....	79
6.2.5 Sonuç.....	80
6.3 Nümerik Analiz Sonuçları.....	80
6.3.1 Analiz Sonuçları ve Karşılaştırılması.....	82
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	83
TEŞEKKÜR.....	84
ÖZGEÇMİŞ	85
KAYNAKLAR	86



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Aktarma Organlarının Taşıt Üzerindeki Yeri	3
Şekil 1.2 Kavrama Mekanizmasının Yapısı.....	7
Şekil 1.3 Tek Diskli Kavrama Sisteminin Çalışması	8
Şekil 1.4 CVT Konstrüksiyonu	11
Şekil 1.6 Senkromeç Mekanizmasının Çalışması	12
Şekil 1.7 Kardan Milinde Meydana Gelen Açılar ve Boy Değişimi.....	14
Şekil 1.8 Sabit Hız Mafsalı	15
Şekil 1.9 Gleason-Dişli	18
Şekil 1.11 Diferansiyel Dişlilerinin Şematik Şekli	18
Şekil 1.13 Aks - Tekerlek Bağlantısı	19
Şekil 1.13 Diferansiyel Dişli Kutusu	20
Şekil 1.14 İstavroz İle Aks Dişlilerinin Şematik Görünüşü.....	20
Şekil 1.15 Diferansiyelin Parçaları	21
Şekil 3.1 Bir Parçanın Tasarım ve Üretiminin Hasar Analiziyle İlişkisi	30
Şekil 3.2 Yıllara Ait Motorlu Araç Sayıları	39
Şekil 3.3 Bir Taşıtta Meydana Gelen Hasara Uğrama Oran Grafiği.....	41
Şekil 3.4 Bir Taşıtta Meydana Gelen Hasarların Nedenleri.....	41
Şekil 3.5 Baskı Diski.....	42
Şekil 3.6 Fazla Aşınmış Debriyaj Balatası.....	43
Şekil 3.8 Helisel Bir Dişlide Başlangıç “pitting” Oluşumu	45
Şekil 3.9 Bir Düz Dişlide Bozucu “pitting” Oluşumu	46
Şekil 3.10 Aşırı Karıncalanma	46
Şekil 3.11 Kırılmış Kamalı Mil Vites Dişlisi.....	46
Şekil 3.12 Vites Kutusu Grup Mili Dişlileri	47
Şekil 3.13 Farklı Taşıtlara Ait Kırılmış Senkromeç Mekanizmaları	48
Şekil 3.14 Vites Çubuk Bağlantılarının Şematik Görünüşü.....	49
Şekil 3.15 Burulma Sonucunda Şaftta Meydana Gelen Çatlama ve Kırılmalar	49
Şekil 3.16 Aşırı Aşınmış Şaft Kayıcı Mafsalı	50
Şekil 3.17 Yorulma Sonucunda Meydana Gelen Kırılma.....	51
Şekil 3.18 Kırılmış Ayna Dişlisi	52
Şekil 3.19 Karıncalanmış Mahruti Dişli	53
Şekil 3.20 Mahruti Dişlide Meydana Gelen Yorulma Kırılması	54
Şekil 3.21 Yorulmadan Meydana Gelen Mahruti Dişlilerinde Kırılma	54
Şekil 3.22 Ani Kırılmalar-Aks ve İstavroz Dişlileri	55
Şekil 3.23 İstavroz Dişlileri ve Milinde Sıyrılma.	55
Şekil 3.24 Akslarda Meydana Gelen Kırılmalar.	56
Şekil 3.25 Yorulma Nedeniyle Meydana Gelen Aks Kırılması	56
Şekil 3.26 Aks Dişlisinde Meydana Gelen Çatlamalar	57
Şekil 4.1 Üçgen Prizmatik (4 yüzlü) eleman	62
Şekil 4.2 Üçgen Prizmatik (4 yüzlü) temel eleman.....	63
Şekil 4.3 Kardan Mili Mafsalının Katı Model ve Şematik Olarak Çizimi.....	67
Şekil 4.4 Basınç Uygulanan Bölgeler	68
Şekil 5.1 İncelemesi Yapılan Kırık Yüzeyler	69

Şekil 6.1 Aksın Kırık Yüzeyleri.....	71
Şekil 6.2 Ölçülen Sertlik Değerleri	73
Şekil 6.3 Aksın İç Yapısı	74
Şekil 6.4 Aksın SEM Analizi Yapılan Bölgeler.....	75
Şekil 6.5 Yorulma Çizgileri	76
Şekil 6.6 a. Bölgesinden Çekilen SEM Fotoğrafları	76
Şekil 6.7 b-c. Bölgelerden Çekilen SEM Fotoğrafları	76
Şekil 6.8 Kırılan Kardan Mili Mafsalı	77
Şekil 6.9 Sertlik Ölçümü Yapılan Mafsalın Şekli ve Bulunan Değerler.....	78
Şekil 6.10 Kardan Mili Mafsalına Ait Mikro Yapılar	79
Şekil 6.11 SEM Fotoğrafları İçin Kesilen Bölüm	79
Şekil 6.12 SEM İncelemeleri	80
Şekil 6.13 Von-Misses Gerilmeleri.....	81
Şekil 6.14 Şekil Değiştirmeler	81
Şekil 6.15 Gerilme Değerleri	82
Şekil 6.16 Analiz Sonucu İle Kırılan Parçanın Karşılaştırılması.....	82



TABLULAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 Bazı Ülkelerde Araç Sayıları	39
Tablo 3.3 Türkiye’deki Son Beş Yılın Trafik Kazaları	40
Tablo 3.4 Türkiye’deki Araç Kusurlarından Kaynaklanan Kaza Oranları	40
Tablo 6.1 Aksın Kimyasal Analizi.....	72
Tablo 6.2 94B30H Çeliğinin Kimyasal Özellikleri.....	72
Tablo 6.3 Malzemenin Mekanik Özellikleri	73
Tablo 6.4 Kardan Mili Mafsahı Spektro Analiz Sonuçları	78
Tablo 6.5 AISI 5046H Çeliğinin Kimyasal Özellikleri	78
Tablo 6.6 Malzemenin Mekanik Özellikleri	80



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>	
X	Yer değiştirme,	mm
α, β	Ragleigh sönümlleme parametreleri,	
T	Kinetik enerji,	J
V	Potansiyel enerji,	J
Q	Elastisite matrisi,	
v	Hız,	m/sn
ζ	Sönümlleme oranı,	
σ	Gerilme,	MPa
ε	şekil değiştirme,	MPa
F_T	Teğetsel kuvvet,	N
F_N	Normal kuvvet,	N
F_c	Kesme kuvvet,	N
τ	Kayma gerilmesi,	MPa
Λ	Rijitlik matrisi,	
γ	Kayma şekil değiştirmesi,	MPa
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>	
CVT	Sürekli Değişken Hareket İletimi	
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü	
MKE	Makine Kimya Endüstrisi	
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu	

1.GİRİŞ

Sanayileşmenin gelişmesine bağlı olarak otomotiv sektörü günümüzde büyük önem kazanmıştır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de otomotiv sanayi çok hızlı bir gelişim içerisinde. Son yıllarda araçların tasarım ve üretimdeki gelişmeler donanımdan yazılıma kaymıştır. Elektronik alandaki gelişmelerden yararlanılarak, sürüş esnasında insan etkisi ve hatalarını azaltmaya çalışılmaktadır. Motor sistemlerinin geliştirilmesindeki ana nokta emisyonların düşürülmesi ve yakıt tüketiminin azaltılması yönündedir. Bu tür çalışmalar sayesinde taşıtların ekonomiklik, konfor vb. özellikleri sürekli iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Güç aktarma organlarında malzemenin dayanımı artırma ve titreşim alanında çalışmalar yapılmaktadır.

Motorlu araç üretiminde ilk uygulanan üretim modeli atölyelerde siparişe bağlı olarak yapılmaktayken günümüzde seri üretimin gerçekleştirildiği montaj tesislerinde üretim yapılmaktadır. Bu sayede otomotiv sektörü çok hızlı gelişerek ekonomide de önemli bir yere sahip olmuştur.

Malzeme teknolojisindeki gelişmelere rağmen taşıtların aktarma organlarında yorulma, bakımsızlık gibi nedenlerden dolayı parçalarda çatlama, kırılma, aşınmalar görülmekte ve bu tür hasarların önüne geçilememektedir.

Bir taşıtı hareket ettirebilmek için motorda üretilen momentin gerekli miktarda artırılarak (önden ya da arkadan çekişli sistemlere bağlı olarak) tekerleklere kadar iletilmesi ve araca, yapısının imkân verdiği oranda çekiş kazandırmak için aktarma organlarına ihtiyaç vardır. Taşıtlarda bu görevi üstlenen parçaların tümüne aktarma organları adı verilir.

Aktarma organlarının görevleri şunlardır (Göktan 1990):

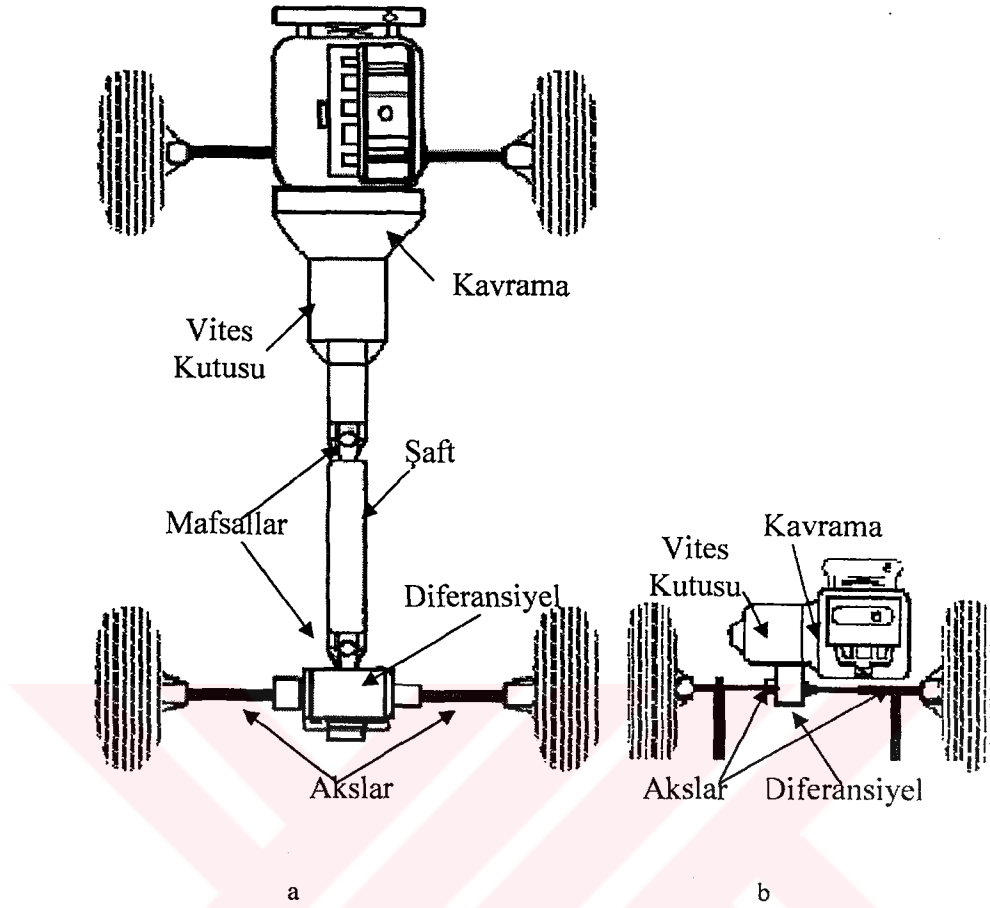
1. Motorlar belirli bir devir sayısının üzerinde moment ve güç üretebilmektedirler. Ancak taşıtı durgun halden harekete geçirebilmek için daha büyük bir momente ihtiyaç vardır. Bu moment aktarma organları tarafından karşılanmaktadır.

2. Motorun moment ve güç karakterleri taşıt için gerekli olan ideal karakterden farklıdır. Bu farklılığın dönüştürücüler kullanılarak giderilmesi gerekir.

Aracın güç aktarma organları olmadan hareket edebilmesi için, duran araca etki eden atalet kuvvetlerini yenecek bir momente ihtiyacı vardır. Güç aktarma organları olmaksızın direkt bir hareketle motor momenti tekerleklere iletilirse taşıt hareket edemez, çünkü motorun momenti duran bir araca etki eden atalet kuvvetlerini yenemez. Taşıtın ivmelenmesi için ilk anda motor momentinin fazla olması ve buna bağlı olarak da hızının az olması gerekmektedir. Fakat taşıt hareket ettikten sonra yolun eğim durumuna göre veya hız durumuna göre momentinin artırılması veya azaltılması gerekmektedir. Bunun için taşıtlarda genellikle yarıçapları farklı dişlilerin birbirine hareket iletmesi ile sağlanmaktadır. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi aktarma organlarını oluşturan sistem ve parçalar sırasıyla şunlardır.

- Kavrama (debriyaj) mekanizması
- Vites kutusu (şanzıman, transmisyon)
- Kardan mili (şaft)
- Diferansiyel ve Akslar

Taşıtlar her türlü yol ve yük durumunda çalışmak için dizayn edilmişlerdir. Taşıtların marka ve modeline göre aktarma organlarının da çalışma koşulları ve yapıları değişmektedir.



Şekil 1.1 Aktarma Organlarının Taşıt Üzerindeki Yeri
a: Arkadan Çekişli Taşıt b: Önden Çekişli Taşıt

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada güç aktarma organları ve hasar analizi incelenerek, hasara uğramış güç aktarma organlarının analizi yapılmıştır. Güç aktarma organlarında parça sayısı oldukça fazla olmakla birlikte taşıtların yapı ve özelliklerinde de değişiklikler bulunmaktadır. Farklı tipte hasara maruz kalmış ve en fazla hasara uğrayan parçalardan, kardan mili mafsalı ile aks milinin kırık yüzeyleri, metalografik numuneleri hazırlanarak analizleri yapılmıştır.

Ayrıca kardan mili mafsalının katı modeli çizilerek, sonlu elemanlar metodu ile gerilme analizleri yapılmıştır. Analizler sonunda meydana gelen maksimum gerilme noktaları tespit edilmiş kırılan kardan mili mafsalı parçası ile maksimum gerilme noktaları karşılaştırılmıştır.

1.2 Kavrama Sistemi

Döner haldeki bir parçanın hareketini aynı eksen üzerinde bulunan diğer bir parçaya iletmek veya iletilmekte olan bu hareketi istendiği zaman durdurmak amacıyla kullanılan tertibata kavrama adı verilir. Motorlu taşıtlarda kullanılan mekanik taşıt kavramaları krank mili ekseninde olmak üzere motorla vites kutusu arasına bağlanmış olup, motordan vites kutusuna hareket iletimini sağlar ve istenildiği zaman, motor çalışmasına devam ettiği halde, bu hareket iletimini durdurur.

1.2.1 Kavramanın Görevleri

Motor çalışırken kavrama kavramış ise, hareket motordan vites kutusuna iletilir. Aynı anda vites kutusu vites durumunda ise motorun hareketi tekerleklere kadar iletilir ve taşıt harekete geçer. Kavrama ayrılmış durumda olduğu zaman motorun hareketi vites kutusuna geçemeyeceği için vites kutusu boş konumda olmasa da taşıt hareket edemez.

Hareket halindeki bir taşıtın yol ve trafik durumuna göre hızını değiştirmek veya gereken hıza uygun vites konumu sağlayabilmek için motor ile aktarma organlarını birbirinden ayırmak gerekir. Aksi halde motordan şanzıman dişlilerine geçen kuvvet etkisiyle vites değiştirme mümkün olmayacaktır.

Diğer taraftan güç aktarma organlarının bulunmaması halinde bir taşıtın durur halden, belirli bir hızdaki hareket haline geçişi imkansızdır veya büyük bir sarsıntıya sebep olur. Düşük bir hızdan daha yüksek bir hıza veya yüksek bir hızdan daha düşük bir hıza aniden geçişte büyük bir sarsıntı meydana gelir ve hareketi ileten parçalar aşırı derecede zorlanarak hasara uğrarlar. Kavrama ilk hareket esnasında motorun hareketini vites kutusuna, dolayısıyla tekerleklere kademeli olarak (bir miktar kayma hareketi sağlayarak) iletir ve taşıtın harekete geçişi sarsıntısız olur. Aynı şekilde vites durumunun her değiştirilmesinden sonra motorla vites kutusunun kademeli olarak bağlanmasını sağlayarak, taşıtın ani hızlanmasını veya ani yavaşlamasını, dolayısıyla sarsıntıları önleyerek hareket

iletken parçaları hasara uğratılmaktan korunmuş olur. Aynı zamanda ani hız değişimleri taşıtta bulunan kişileri oldukça rahatsız edeceğinden böyle bir durumu da ortadan kaldırmış olur.

1.2.2 Kavramaların Başlıca Görevleri ve Kavramadan Beklenen Özellikler

Birçok kavrama sistemi çeşidi olması ve karmaşık bir yapıya sahip olmasına rağmen görevleri ve beklenen özellikler olarak ortaklık göstermektedir. Kavramanın görevleri şunlardır.

1. Taşıt dururken motorun ilk harekete geçmesini sağlar.
2. Motor çalışırken hareketin ilk anda tekerleklerle kademeli olarak geçmesini sağlar.
3. İlk hareket ve yavaşlama esnasında oluşabilecek ani yük darbelerinde kayma yaparak güç aktarma organlarını korur.
4. Vites kademelerinin değişimi esnasında hareket geçişini ani olarak keserek vites değişimine imkân sağlar.

Bu görevlerin dışında kavrama ayırma ve kavratma görevlerini yerine getirirken aşağıda belirtilen özelliklere sahip olması istenir:

- a. Sarsıntısız tatlı bir kavrama sağlamalıdır.
- b. Kavranmış durumda kaymamalıdır.
- c. Kısmi kavramalardaki kaymalardan doğan ısıya dayanıklı olmalı
- d. Isıyı kolaylıkla dışarıya iletebilmelidir.
- e. Kolay ve sessiz vites değişimi için harekete geçişini çabuk kesmeli
- f. Ayırma durumuna geçebilmesi için dışarıdan uygulanan kuvvet az olmalıdır.
- g. Krank milindeki burulma titreşimlerini vites kutusuna iletmemelidir.
- h. Ekonomik ve bakımı kolay olmalıdır.

1.2.3 Kavrama Çeşitleri

Motorlu taşıtların başlangıcından itibaren çeşitli kavrama tipleri kullanılmıştır. Bunları gelişme sırasına göre;

1. Sürtünme diskli kavramalar
2. Konik kavramalar
3. Tamburlu kavramalar
4. Tek diskli kavramalar
5. Hidrolik kavramalar
6. Tork konvertörleri

Önceleri konik kavramalar kullanılmış fakat ağır olmaları nedeniyle meydana getirdikleri atalet kuvvetinin fazlalığı vites değiştirmeyi zorlaştırdığından gelişme imkanı bulamamıştır. Daha sonra yapılan çok diskli kavramalarda ortada bulunan disklerin çok fazla ısınmaları ve ağır oluşları terk edilmelerine sebep olmuştur. Diğer kavramaların ağırlık ve ısı gibi olumsuzluklarından dolayı günümüzde standart vites kutulu taşıtlarda en çok tek diskli kavramalar kullanılmaktadır (Anlaş 1990).

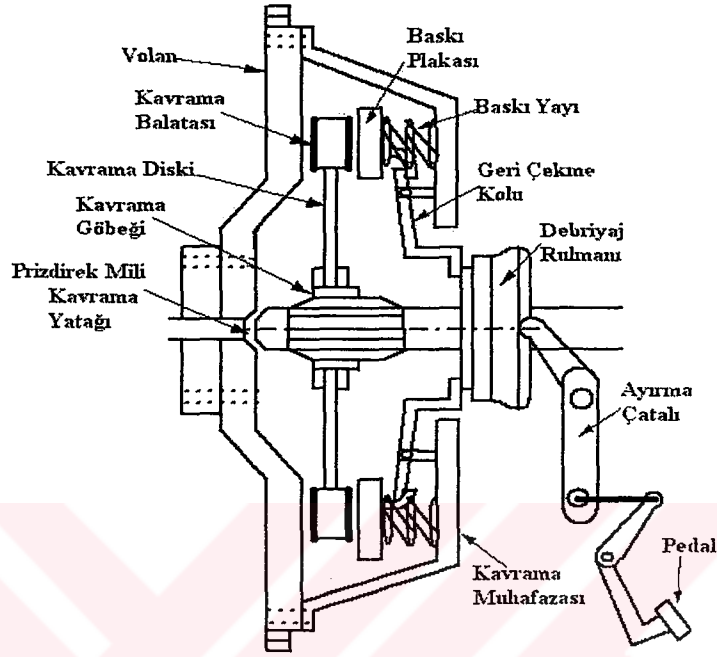
1.2.4 Tek Diskli Kavramanın Yapısı ve Çalışması

Tek diskli kavramalar helisel yaylı ve diyafram yaylı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tek diskli kavrama kavrama kapağı, kavrama diski ve baskı levhası olmak üzere üç ana parçadan meydana gelmiştir.

Kavrama kapağının üzerinde baskı levhası, geri çekme kolları, kavrama baskı plakası bulunur. Ayrıca kavramanın çeşidine bağlı olarak helisel yaylı kavramalarda bir merkezi kavrama baskı yayı veya kavrama baskı plakası üzerinde dağılmış olan 6 ile 12 adet yaylar bulunur.

Diyafram yaylı kavramalarda ise bir diyafram yayı bulunmaktadır. Kavrama diski üzerinde genellikle perçinlenmiş veya yapıştırılmış olan kavrama balataları

bulunur. (Demirsoy 1998). Şekil 1.2 de tek diskli bir kavramayı oluşturan parçalar görülmektedir.

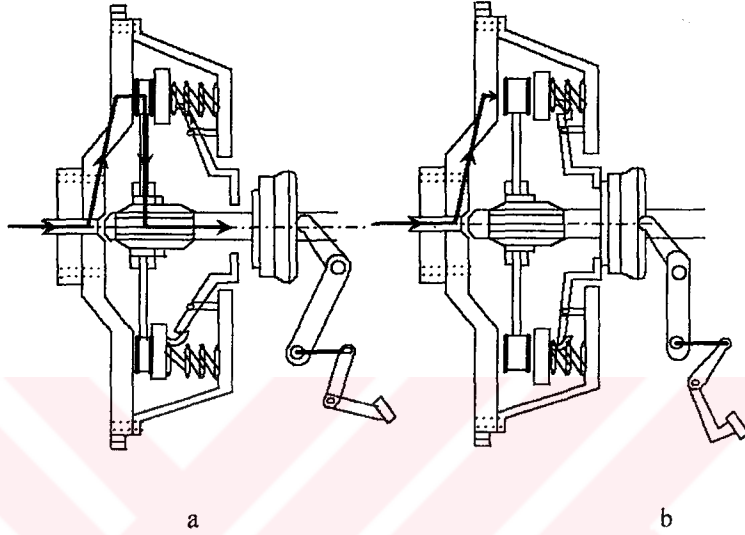


Şekil 1.2 Kavrama Mekanizmasının Yapısı

Baskı disk ve volan birbirine bağlı, dolayısıyla birlikte dönen iki parçadır. Kavrama disk ise vites kutusuna bağlıdır. Motor çalışır ve kavramada serbest durumda (pedala basılmadığı durum) iken baskı yayları baskı plakasını volana doğru büyük bir kuvvetle iterler. Bu kuvvet kavrama disk ile baskı plakası arasında bir sürtünme kuvveti meydana getirir. Bu sayede de kavrama diskinin volan ve baskı plakası ile birlikte tek parça halinde dönmesini sağlar. Kavrama balatasının göbeği prizdirek mili ile frezeli olarak birleştirildiği için mil ile birlikte döner. Prizdirek milinin bir tarafı vites kutusuyla ilgili olduğundan dönme hareketi vites kutusuna gelir ve böylece motor gücü kavrama aracılığı ile vites kutusuna iletilmiş olur (Gökten 1990). Şekil 1.3-a da kavramanın kavramış olduğu durum, Şekil 1.3-b de kavramanın ayrılmış olduğu durum görülmektedir.

Motor ile vites kutusuna arasındaki bağlantının kesilmesi istenildiğinde debriyaj pedalına basılır. Debriyaj pedalının bu hareketi çubuk, halat ve manivela aracılığıyla kavrama çatalına iletilir. Kavrama çatalı, debriyaj rulmanını volana

doğru iterek ayırma parmaklarının basılmasını sağlar. Bu sırada ayırma parmaklarının diğer uçları, yaylarının sağladığı baskı kuvvetini yenerek baskı plakasını geriye çeker ve volan ile baskı plakası arasındaki kavrama diskini serbest hale getirir. Bu durumda volan ve baskı sistemi dönmeye devam ettiği halde kavrama diski dönmeyi ve hareketin vites kutusuna iletimi kesilmiş olur.



Şekil 1.3 Tek Diskli Kavrama Sisteminin Çalışması

1.3 Vites Kutuları (Transmisyon, Şanzıman)

Motor tarafından araca aktarılan gücün, taşıt hızı açısından öngörülen çalışma bölgesi boyunca sabit olmaması gelmektedir. Yani motor gücü yalnızca belirli bir devir sayısı aralığında maksimum değere ulaşmakta, daha yüksek devir sayılarında ise giderek azalan bir karakteristik göstermektedir. Benzer durum, motordan alınabilecek maksimum döndürme momenti için de söz konusudur. Bu nedenle, yardımcı sistemler olmaksızın pistonlu motorların taşıt tekniği açısından kullanılabilirliği oldukça sınırlıdır.

Diğer yandan, ideal çalışma koşullarını sağlamak için motorlu bir aracın çalışma noktasının, elde edilen maksimum motor gücüne çakışan bir eğri üzerinde bulunması istenir. Bu da, tekerleğe aktarılan tahrik momentinin artırılabilmesi için araç hızının ve buna bağlı olarak tekerlek devir sayısının azaltılması gerektiği anlamına gelmektedir. Bu nedenle motor karakteristik eğrilerinin, daha geniş bir

hız aralığını kapsayacak hale getirilmesi gereksinimi ortaya çıkar. Pratikte bu dönüşüm, motorun dışında ve genellikle motoru takiben araca yerleştirilen çeşitli moment değiştirme donanımları, ya da daha yaygın adlarıyla vites kutuları yardımıyla gerçekleştirilir (Topaç ve Kuralay 2003).

Gelişen teknolojilerle birlikte otomobillerde hız ve yükü taşıyabilme gibi özellikler aranmaktadır. Yük taşıyabilme ve yük altında iken istenilen hızda gidebilme motorun momentine (çekiş kuvvetine) bağlıdır. Motorun sağlayabileceği moment, yapısı ile sınırlı olduğundan, sonsuz sayılarda çekiş kuvvetlerini almak mümkün değildir. Böyle bir motor aşırı derecede büyük olacağından pratikte yapımı çok zordur ve başka yollarla momenti arttırmak gerekir. Motorların dizayn ve tasarımından dolayı, araçların moment ihtiyaçlarını vites kutuları tarafından karşılamaktadır. Her motorun, parçalarında hasar meydana gelmeden çalışmaya devam edebileceği bir devir bölgesi vardır. Bu devir bölgesi geçildiği zaman parçalar atalet kuvveti nedeniyle parçalanarak motora hasar verebilirler. Vites kutuları aracılığıyla motor devri kontrol altında tutularak taşıta gerekli hız ve tork imkânı sağlanmış olur.

Vites kutuları aracın ihtiyaç duyduğu momenti (tork) sağlamak için gereklidir. Bir moment çoğaltıcısı ya da değiştiricisi olan vites kutusunun kullanılması ile motorun kendi gücü değişen yol ve yük şartlarına uyarlanır. Bir bakıma moment değiştirici gibi çalışarak tekerleklerin daha kuvvetli dönmelerini temin ederler.

Vites kutusunun görevleri;

1. Motorla tekerlek arasındaki irtibatını keserek taşıt hareket etmeden motorun çalışmasını sağlar.
2. Taşıtın ilk harekete geçebilmesi, yol ve yük durumuna göre taşıtın uygun bir şekilde hızlanabilmesi için gerekli moment ve hız artışı sağlamak.
3. Taşıta geri hareket temin etmek.

1.3.1 Vites Kutusundaki Gelişmeler

Güç aktarma organlarının bir parçası olan vites kutuları da teknolojinin ilerlemesiyle birtakım gelişmeler yaşamıştır. Artan motor güçleri, daha fazla çekiş kapasitesi ve hız ihtiyacını doğurmuştur.

İlk vites kutusu Fransız Ponhard Levassor tarafından geliştirilmiş olan kayıcı dişli tip vites kutusudur. Çeşitli vites durumlarının elde edilmesi için bir takım dişlilerin, milleri üzerinde kaydırılmasıyla gerçekleştirilen bu vites kutuları otomobil endüstrisinde geniş olarak kullanım yeri bulan ilk vites kutusu tipidir.

Bu vites kutularından sonra en büyük gelişme daimi iştirakli vites kutularının yapılmasıdır. Daimi iştirakli vites kutularında genellikle helisel dişliler kullanıldığından çalışması daha sessizdir. Vitesleri sağlayan dişliler düz yada helisel olsun birbirleriyle sürekli kavrama halindedir. Bunların hareketi iletecek şekilde kavratılması ise ana mil üzerinde kaydırılabilen kurt kavrama veya düz dişli yapısındaki kayıcı dişlilerle sağlanmıştır. Helisel dişlilerin kullanılmasıyla diş yükleri azaltılmış ve daha sessiz bir vites kutusu geliştirilmiştir.

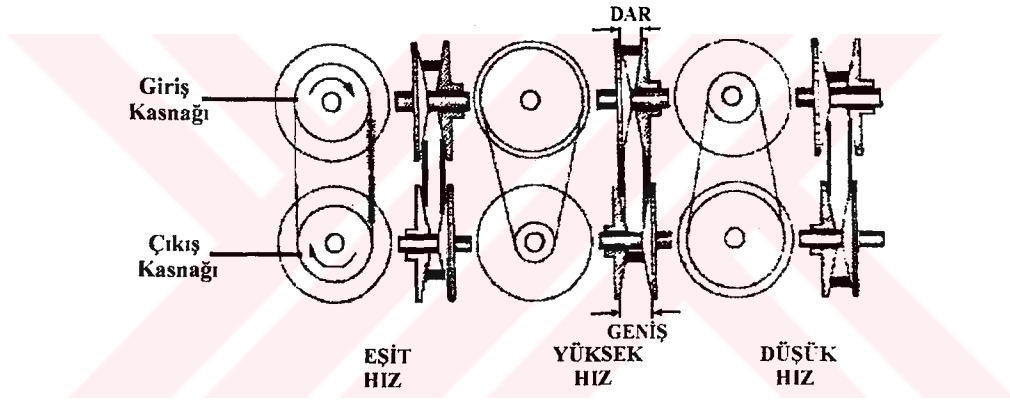
Daimi iştirakli vites kutularından sonra, bu vites kutularının geliştirilmiş şekli olan senkromeçli vites kutuları üretilmiştir. Böylece viteslerin daha seri ve sessiz değiştirilmesi sağlanmıştır.

Otomatik vites kutularında ise planet dişli sistemi (güneş dişli sistemi) denilen dişli sistemleri kullanılmaktadır. Bu vites kutularında kavrama sistemi de çok farklıdır. Hidrolik kavrama adı verilen kavrama sistemleri kullanılmaktadır.

Teknolojinin gelişmesi ile birçok yeni vites kutuları geliştirilmiştir. Son gelişmelerden biri tiptonik vites kutularıdır. Bu vites kutuları sürücünün isteğine bağlı olarak hem manuel hale hemde otomatik hale gelebilmektedir. Bu vites kutularının kullanımı lüks otomobillerde gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Sürekli değişken hareket iletimi yani CVT (Continuously Variable Transmission) vites kutuları son yıllarda oldukça yaygın kullanım alanı bulmuştur . Taşıt hızına bakılmaksızın motor devrinin kontrol edilebilmesi CVT' lerin mükemmel olarak üstesinden gelebildiği bir durumdur. Bu da CVT' yi oldukça çekici hale getirmektedir (Sezgin ve Kutlar 2000).

CVT vites kutularının yapısı diğer vites kutularından çok farklıdır. Diğer tüm vites kutularının hareket iletiminde dişli çarklar kullanılırken bu vites kutularında temas yüzeyleri fazla derin olmayan koni şeklinde ve genişlikleri değişken bir çift kasnak arasında çalışan, çok sayıda plakadan oluşmuş çelik bir kayıştan meydana gelir. Şekil 1.4 de basit bir CVT yapısı görölmektedir.

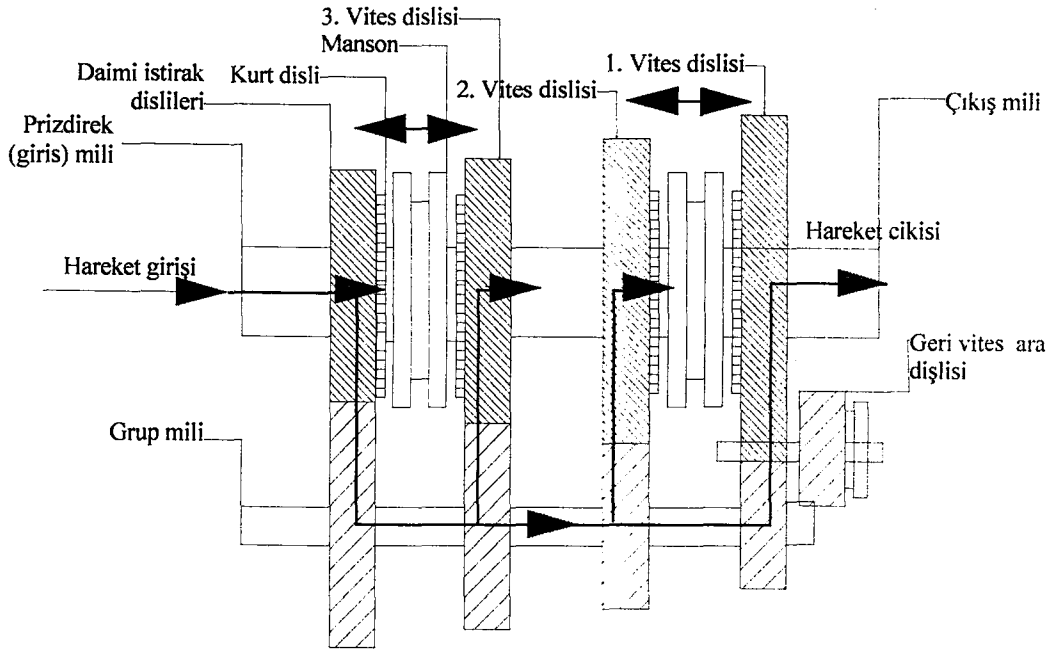


Şekil 1.4 CVT Konstrüksiyonu (Sezgin ve Kutlar 2000)

1.3.2 Vites Kutusunun Parçaları

Günümüzde orta sınıf taşıtlarda kullanılan manuel vites kutularının çoğu senkromeçli tip vites kutularıdır. Senkromeçli tip vites kutularının ana parçaları şunlardır:

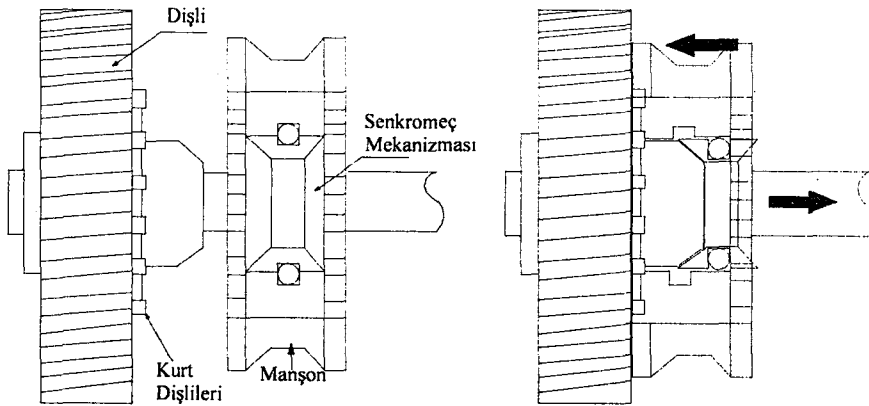
1. Prizdirek mili
2. Grup mili
3. Manşonlar
4. Kurt dişliler
5. Geri vites mekanizması
6. Çıkış mili vites dişlileri



Şekil 1.5 Vites Kutusunun Parçaları ve Çalışması (Boş Durum)

1.3.3 Senkromeçli Bir Vites Kutusunun Çalışması

Motordan gelen hareket prizdirek mili dişlilerine geçer. Manşonlar herhangi bir dişli ile kavramadığından hareket vites kutusunda kalır. Prizdirek mili dişlisinden hareket grup mili daimi iştirak dişlisine geçer. Vites durumu boş konumunda iken boşa döner. Araç vites takıldığı zaman manşonlar ileri veya geri itilir. Bu durumda manşon önünde bulunan dişlinin kurt dişlisi ile kavrayarak dişliyi mile sabitler ve mil ile birlikte hareket eder. Prizdirek milinden gelen hareket kilitlenmiş olan (kamalı mile) dişli üzerinden geçerek vites kutusundan çıkar.



Şekil 1.6 Senkromeç Mekanizmasının Çalışması

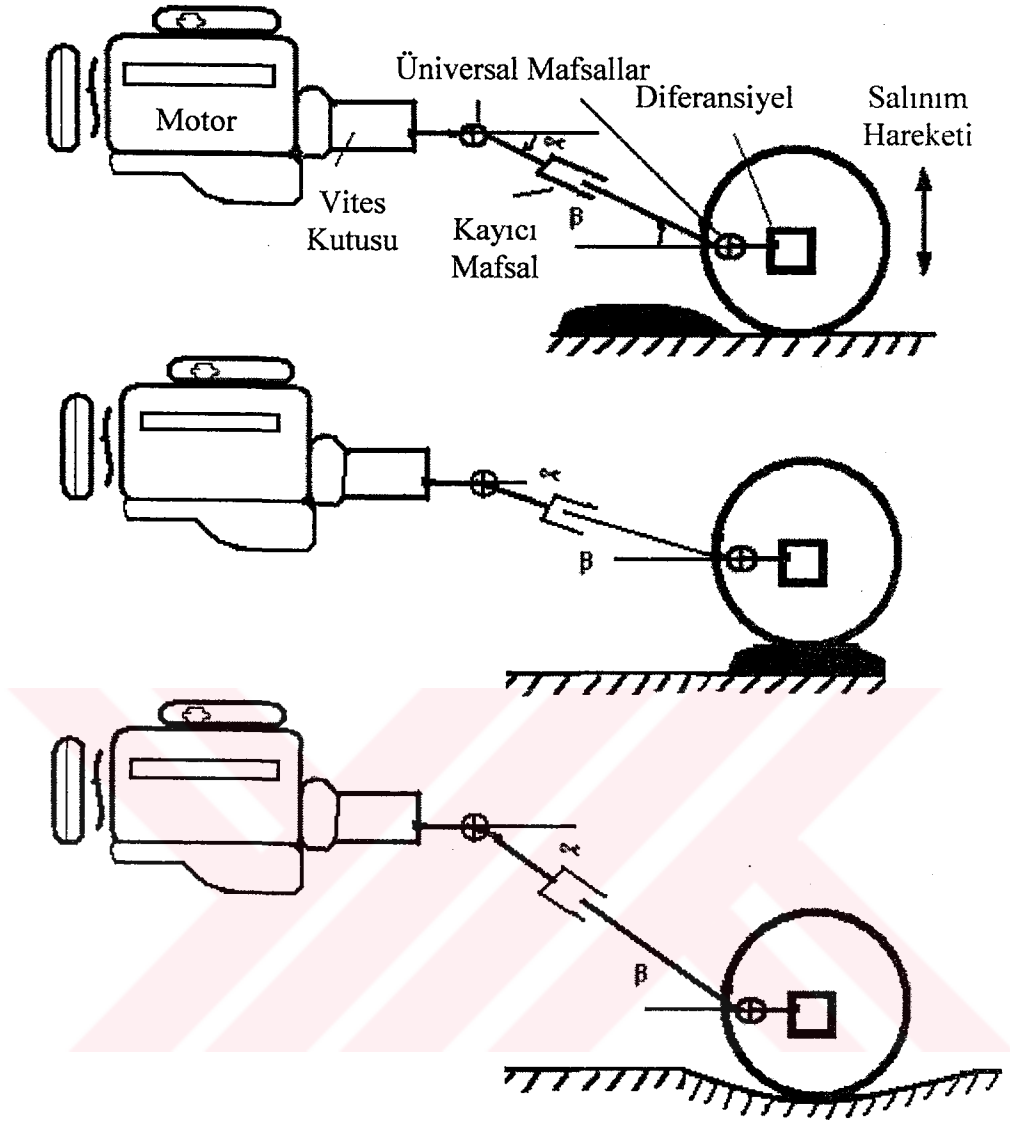
1.4 Kardan Mili (Şaft) ve Mafsallar

Vites kutusundan çıkan hareketin diferansiyele kadar iletilmesi gerekir (arkadan çekişli taşıtlar için). Kardan mili, motorun torkunu vites kutusu çıkışından diferansiyel girişine aktaran mafsallı millerdir (Çetinkaya 1999). Kardan millerinin üzerinde bir adet kayıcı tip bir adette üniversal mafsal olmak üzere iki tip mafsal bulunmaktadır.

1.4.1 Mafsalların Gereksimi

Yolların tamamı düşey ve yanal eğimler %0 olmadığından ve şanzımanında sabit olması gerektiğinden kardan mili yeterli esnemeyi sağlayacak kadar esnek olmalıdır. Sürüş açısı değiştiğinde üniversal mafsallar şaftın esnek olmasını sağlar. Önden çekişli araçlarda ise, kardan mili bulunmadığı için meydana gelen bu açı değişikliklerini karşılamak üzere akslar üzerine yerleştirilmiş sabit hız mafsalları bulunmaktadır.

Bazı durumlarda kardan mili mafsalında milin küçük bir sarkaç mafsalı ile bağlandığı ve bu sarkaç mafsalın boy değişimini dengelediği uygulamalar da mevcuttur. Bağımsız asılmış tekerlekle aks dişli grubu bağlantılarında ise boy değişimi nispeten daha az olduğundan, lastikli bağlantı elemanları ile sağlanan boy değişimi yeterli olabilmektedir (Gökten 1990).



Şekil 1.7 Kardan Milinde Meydana Gelen Açılar ve Boy Değişimi

1.4.2 Üniversal Mafsal (Kardan Mafsal)

Üniversal mafsallarda, her bir milin ucundaki çatallar (+) biçiminde birbirine dik iki muylu oluşturan istavrozlarla birbirine bağlıdır. Çatalların uçlarının yörüngeleri bir kürenin büyük daireleridir. Her bir daire ilgili milin eksenine dik bir düzlemdir. Bu düzlem her iki milin düzlemine dik bir doğru boyunca kesişirler (Çetinkaya 1999).

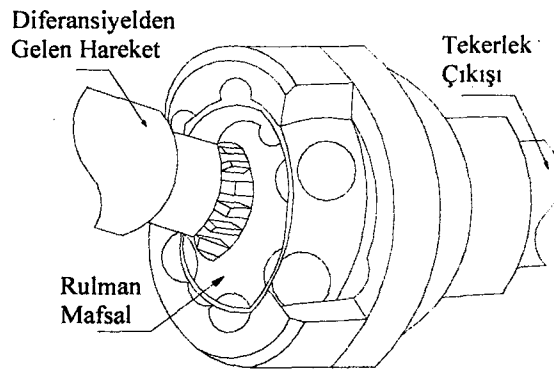
Aracın arka tekerlekleri herhangi bir şekilde tümseğe veya çukura geldiği zaman vites kutusu çıkışı ile diferansiyel arasındaki açı değişir (Şekil 1.8). Kardan milinin açı değişiklikleri karşılamak üzere üniversal mafsallar kullanılır.

1.4.3 Kayıcı mafsallar

Kardan milinin gerçekleştirmesi gereken boy değişimi en basit şekliyle kamalı geçme profili (kayıcı mafsal) ile sağlanır. Bu uygulamada sürtünmeyi azaltmak üzere temas yüzeyleri yağlanır. Ayrıca radyal rulmanlar kullanılarak sürtünmenin çok azaltılması da mümkün olabilmektedir.

1.4.4 Sabit Hız Mafsalları

Önden tahrikli taşıtlarda transmisyon sistemi tarafından döndürülen tekerlekler, aynı zamanda taşıtı yönlendirmek için de kullanılmaktadırlar. Bu durum, tekerleklerin sık sık (özellikle dönüşlerde) döndüren shaftla eğimli açılarda olmasını gerektirmektedir. İstavroz mafsalların bu durumda gücü düzgün iletememeleri sebebiyle, önden tahrikli taşıtlarda Şekil 1.8’de görülen tipte sabit hız mafsalları kullanılır. Bu mafsalda moment, transmisyon tarafındaki milden tekerlek tarafındaki mile, millerin üzerinde açılmış yuvalar içinde çalışan bilyeler aracılığıyla iletilmektedir (Çetinkaya 1999).



Şekil 1.8 Sabit Hız Mafsalı (Çetinkaya 1999)

1.5 Diferansiyel ve Akslar

Kardan milindetan gelen hareketin ekseni ile tekerleklerin dönme ekseni çok farklıdır. Ayrıca taşıtlar sağa sola dönmelerinden (virajlarda) aracın dıştaki tekerlekleri içteki tekerleklere nazaran daha uzun bir yol alma mecburiyetindedir. Tahrik edilen tekerleklerin yol durumlarına göre kaymadan yuvarlanabilmeleri için birbirlerine bir mil ile sabit bir şekilde bağlanmalıdırlar (Demirsoy 1998).

Diferansiyel hareket, ya da hareketteki farklılık akslar arasında, dolayısıyla akslara bağlı tekerlekler arasında, gerek devir farklılıklarını gerekse momentteki farklılıkları yaratmak için gereklidir.

Diferansiyelin görevleri şunlardır;

1. Taşıtın dönüşlerde ve viraj sırasında dıştaki tekerleğin içteki tekerleğe oranla daha fazla dönmesini sağlar.
2. Kavrama, vites kutusu ve kardan mili aracılığıyla motordan gelen doğrusal hareketi 90° çevirerek akslar arıcılığıyla tekerleklere iletir.
3. Dişliler arasında orandan dolayı bir tork artışı sağlar.

Diferansiyellerde hareket iletimi için tahrik dişlilerinde (ayna mahrutu) birçok dişli çeşitleri kullanılmaktadır.

Bunlar:

A- Spiral konik dişliler: Spiral dişli konik çarklar helisel dişli prensibine göre yapılırlar. Spiralın yönü mahrutıye göre yapılır. Mahrutu bir sağ vida şeklinde ise spiralde sağa doğrudur. Otomobillerin arka köprülerinde sol spiral kullanılır. Çünkü itme kuvveti geri hareket durumu hariç mahrutinin dışına doğrudur. Sağa doğru bir spiral ileri hareket esnasında mahrutiyi içeri doğru iterek sıkıştıracaktır (Çetinkaya 1999). Spiral konik dişlilerde aynı dişlinin ekseni ile tahrik edilen konik dişlinin ekseni üst üste düşmektedir. Dişlerin spiral şekilde olmaları nedeniyle büyük bir toplam örtme derecesi ve bütün diş genişliğince yavaş yavaş bir temas sağlanarak sakin bir çalışma ile uygun zorlanma durumları elde

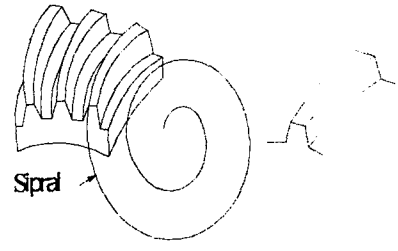
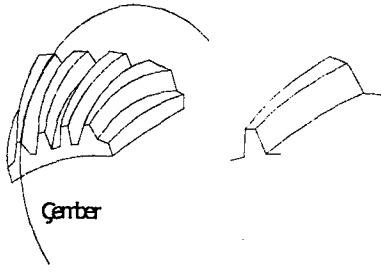
edilmektedir. Bu tür dişliler seçilen konstrüksiyon nedeniyle genellikle büyük bir diferansiyele sahip tahrik sistemlerinde kullanılır (Demirsoy 1998).

B- Hipoid konik dişliler: Hipoid konik dişliler de spiral konik dişliler olup tahrik edilen konik dişlinin ekseni, ayna dişlinin ekseninden kaçıktır. Hipoid kaçıklığı takriben 0,4 x aynı dişli yarıçapını aşmamalıdır. Bu konik dişlilerin spiral konik dişlilere göre faydalı yönleri şu şekilde sıralanabilir (Demirsoy 1998).

- Mafsal kanalı konik dişlinin kaçıklığı kadar alçak tutularak araç kabin hacminin büyütülebilmesi imkânını sağlar.
- Tahrik edilen konik dişlinin çapı hipoid kaçıklığı ile artmaktadır ve kullanılan, akslarda spiral konik dişlilere nazaran 7,30 daha büyük olduğundan çarkın dişleri de daha kuvvetli olmakta ve böylece daha büyük kuvvetler iletilebilmektedir.
- Dişli yüzeyleri arasında ilaveten meydana gelen boyuna kaymalar yağlama durumlarına ve ömre uygun şekilde tesir etmektedir.
- Hipoid konik dişliler büyük kayma hareketleri ve çok sayıda dişin temas halinde olmaları nedeniyle spiral konik dişlilere nazaran daha az gürültü yapmaktadırlar.

Bu dişliler geometrik şekillerine göre, Hiperboloid veya kısa şekilde hipoid olarak isimlendirilirler. Hipoid dişlilerin genel sakıncası dişlilerdeki göreceli kaymanın yüksek olmasıdır. Bu, yağ filminin kalkması halinde hızlı aşınmaya sebep olabilir. Metaller arasındaki temaslar ile kaynama, kopmalar ve diş yüzeylerinde karıncalanmalara sebep olabilir. Bunu önlemek içinde sıcakta aktif maddeler içeren yağlar kullanılmalıdır. Hipoid dişli diferansiyellerde hipoid yağları kullanılmaktadır (Çetinkaya 1999).

Hipoid dişli olarak aks tahrik sistemlerinde Gleason dişli ile Klingelberg dişli çeşitleri kullanılmaktadır.



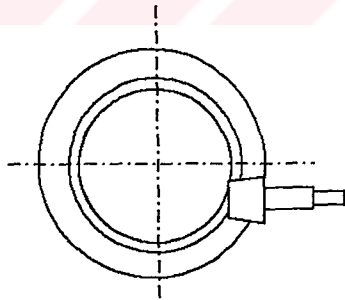
Şekil 1.9 Gleason-Dişli (Demirsoy 1998).

Şekil 1.10. Klingelberg-Dişli (Demirsoy 1998)

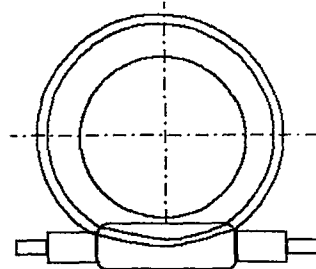
a- Gleason dişli; Bu daire yayı dişlidir (Şekil 1.9). Dişin şekli daire yayının bir parçasıdır. Dişin şekli daire yayının parçası olduğundan, dişler dıştan içe doğru incelmektedir (Demirsoy 1998).

b- Klingelberg dişli: Bu spiral dişlidir (Şekil 1.10). Dişin şekli spiral parçasıdır. Diş yüksekliği bütün diş genişliğince sabit ve diş sırtları ise aynı genişliktedir.

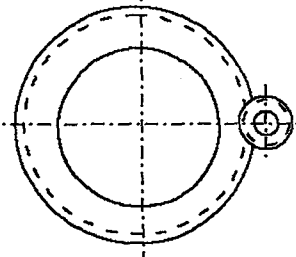
C-Sonsuz dişli ile tahrik: Sonsuz dişli ile tahrik de, aynı şekilde mafsal tünelinin alçak tutulmasını sağlamaktadır. Bu tahrik sistemi çok sessiz çalışmaktadır. Yüksek maliyeti nedeniyle bütün diğer faydalarına rağmen konik dişli ile tahrik sisteminin yerini alamamıştır (Demirsoy 1998).



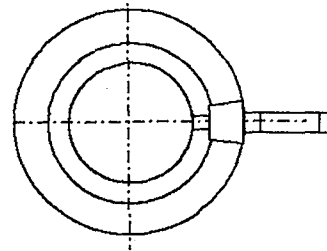
Hipoid Konik Dişiler



Sonsuz Dişliler



Alın Dişiler



Konik dişliler

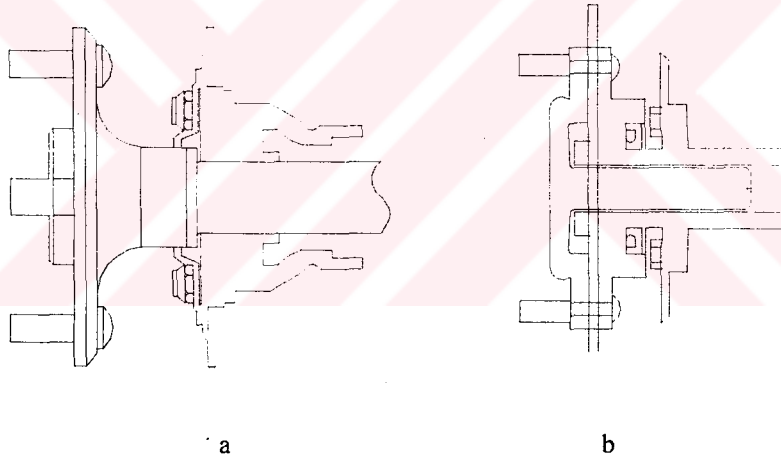
Şekil 1.11 Diferansiyel Dişlilerinin Şematik Şekli

1.5.1 İstavroz ve Aks Dişlileri

Aracın hareketinde şafttan gelen hareket diferansiyel dişli kutusu üzerinden aks dişlilerine ve oradan da akslar aracılığıyla tekerleklere iletilir. Bu dişlilerin görevi içteki tekerleğin dıştaki tekerleğe oranla daha az dönmesini sağlamaktır.

1.5.2 Akslar

Diferansiyel ile tekerlekler arasındaki iletimi sağlayan mile "aks" denmektedir. Tekerlek aksın ucuna tespit edilmiş olabildiği gibi, fren kampanasını taşıyan bir dingil üzerinde bulunabilir ve kamalı olan milin ucuna da geçebilir. Bu durumda akslar sadece burulma etkisindedir. Akslar, yumuşak Ni-Cr veya yarı sert Cr-Mo çeliklerden yapılmaktadır. Şekil 1.13 de aks bağlantıları görülmektedir.



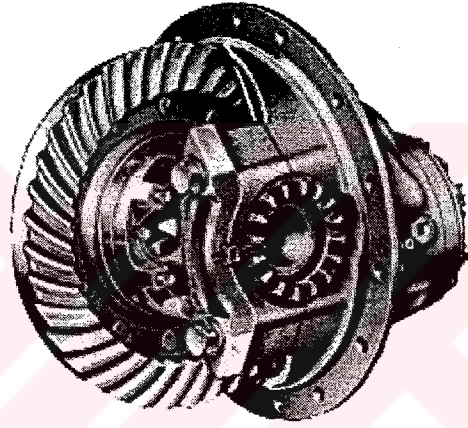
Şekil 1.13 Aks - Tekerlek Bağlantısı
a: Arkadan Çekişli b: Önden Çekişli

1.5.3 Diferansiyelin Yapısı ve Çalışması

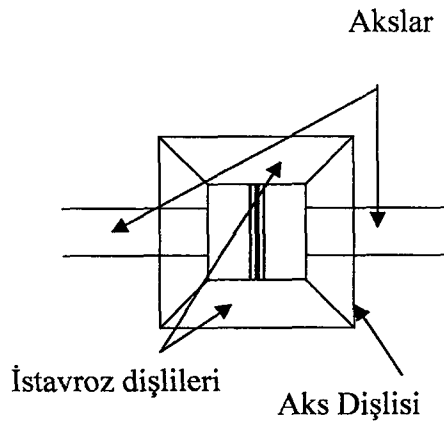
Kardan milinden gelen hareket mahrutli dişlisi aracılığıyla ayna dişlisine iletilir. Hareket bu iki dişliden geçerken 90° döndürülür. Aynı zamanda dişliler arasında diş sayısı farkından dolayı bir miktar daha tork artışı sağlanır. Diferansiyel dişli kutusu kovanın içindedir, ayrıca kovanın iç kısmında akslar vardır. Aksların dış kısımlarına tekerlekler bağlanmıştır. Diferansiyel dişli kutusunun içersinde iki adet konik aks dişlisi bulunur. Bu aks dişlilerini iç kısımları frezeli olup aks

milllerinin uç kısımları ile kavramış durumdadır. Diferansiyel dişli kutusunun içersinde istavroz dişlileri denilen iki adet konik dişli daha vardır. Aks ve istavroz dişlileri diferansiyel dişli kutusuna yataklarıdır (Şekil 1.13).

Normal düz gidiş sırasında kardan mili mahrutu dişliyi döndürür, mahrutu dişlisi de kavramış olduğu ayna dişliyi döndürmektedir. Ayna dişlisi civatalarla bağlı olduğu kutuyu çevirir. Bu durumda istavroz ve aks dişlileri kendi eksenleri etrafında dönmezler yani kilitlemiş durumdadır ve hareketi direk olarak aks dişlileri üzerinden aks millerine oradan da tekerleklere iletilmiş olur.



Şekil 1.13 Diferansiyel Dişli Kutusu

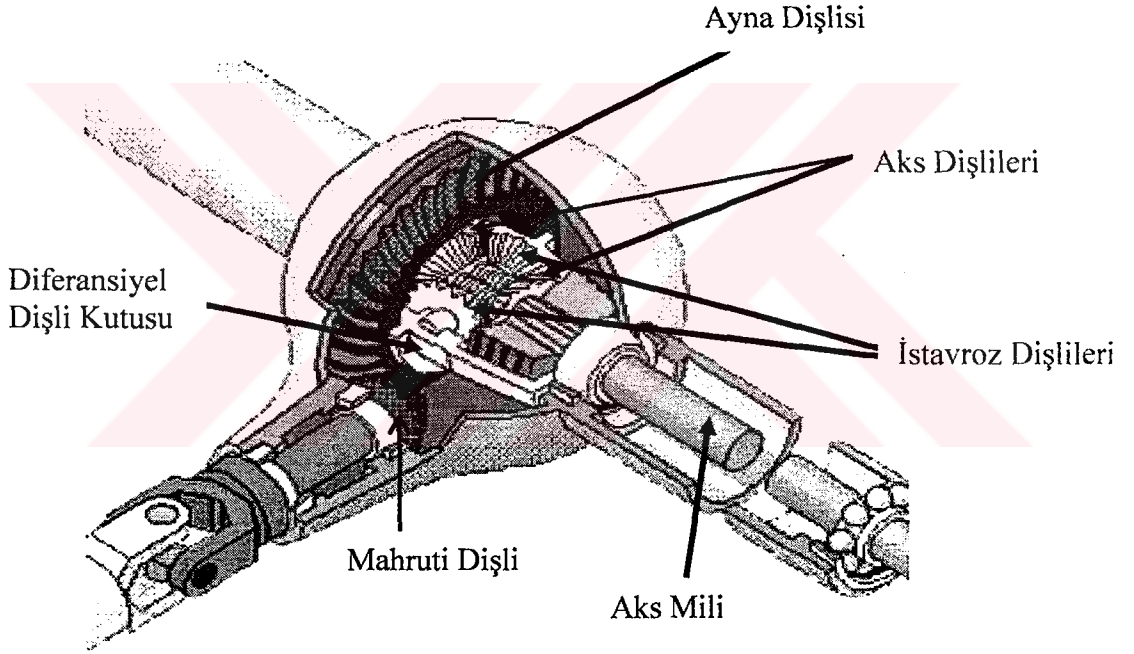


Şekil 1.14 İstavroz İle Aks Dişlilerinin Şematik Görünüşü

Araç viraja girdiğinde ise dış tarafta kalan tekerlek daha hızlı dönmek zorunda kalır, çünkü kat edeceği yol iç tekerleğe oranla daha fazladır. Dıştaki tekerleğin

daha hızlı dönmesi istavroz ve aks dişlilerinin kendi eksenleri etrafında dönmeleri ile gerçekleşir.

Aracın viraja girmesi ile birlikte iç tarafta kalan tekerleğe binen yük ve dış taraftaki tekerleğin daha uzun mesafeyi katetmeye zorlanması sonucunda iç taraftaki aks dişlisinin yavaşlamasına neden olur. Bu yavaşlama sonucunda ayna dişli ile birlikte dönmekte olan istavroz dişlileri bu aks dişlisi etrafında yuvarlanma hareketine başlar. İstavroz dişlilerinin bu hareketi içteki aks dişlisinin yavaşladığı ölçüde dıştaki aks dişlisini çevirerek dışta kalan tekerleğin daha fazla yol alması sağlanır.



Şekil 1.15 Diferansiyelin Parçaları

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Domana ve arkadaşları, diyafram yayı üzerinde sonlu elemanlar metodu analizini kullanarak geometrik yüzeyler ve diyafram yay malzemesinin non-lineer davranışı göz önüne alınmış, P- δ (P:Yaya uygulanan kuvvet, δ :Yaydaki uzama) eğrileri artan gerilme ve kullanım şartlarına göre tespit etmişlerdir (Domana vd. 2003).

Ost ve arkadaşları, Disk yüzeyine değişik yükler uygulanarak, aşınma ve malzemenin sürtünme karakteristikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak; dinamik sürtünme katsayısı arttıkça yüzey temas basıncının düştüğü, ayırıcı yüzeyin sertliğinin dinamik sürtünme katsayısını etkilemediği ve yüzey basıncının serbest olduğu durumda kayma hızındaki artma ile dinamik sürtünme katsayısının azaldığını belirlemişlerdir (Ost vd. 2001).

Afferrante ve Decuzzi, Yüksek çevresel hızlar ve sürtünmeden kaynaklanan yüksek ısı nedeniyle, kavrama ve fren balatalarında oluşan uyarılmış termoelastik değişkenlik önerilmiş olan geçici formülleştirilmenin kullanımıyla, pertürbasyon yöntemine dayanan hasar haritalarını oluşturmuşlardır. Hasar haritaları, uyarılmış termoelastik değişkenlik etkilerini azaltmak için çarpışma şartlarına uygun malzemeleri ve geometriyi belirlemek için ve çarpışma kanunlarının çoğu kritik gruplarını tanımlamada yardım etmek için kullanılabilir (Afferrante ve Decuzzi 2004).

Orhan ve Aktürk, Dişli hataları ve bunların oluşturdukları titreşimler incelenip örnek çalışma olarak bir fabrikada iki kademeli bir hava kompresörünün dişli kutusunun oluşturduğu titreşimler ele alınıp analiz etmişlerdir. İki kademedeki oluşan dişli kutusunda gerçekleştirilen titreşim ölçümleri analiz edilmiştir. Birinci kademe dişlisinde oluşan gevşeklik problemi kompresörün çalışmasına ara vermeden titreşim analizi ile kolayca belirlenmiştir. Tespit edilen gevşeklik probleminin güvenli çalışabilme değerlerinde olduğu, titreşim değerleri bu seviyede kaldığı sürece planlı bir bakıma kadar herhangi bir müdahaleye gerek olmadığını da belirlemişlerdir (Orhan ve Aktürk 2003).

Aktaş ve Orhan, düşük kavrama oranlı bir düz dişlinin rijitlik katsayısı, kuvvetin uygulandığı noktanın konumuna bağlı olarak sonlu elemanlar ve analitik olarak bulunup karşılaştırılmıştır. Her iki metot ile bulunan sonuçların yakın olduğu görülmüştür. Bu da sonlu elemanlar metodunun bu konuda güvenli bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Diş ucundan diş dibine doğru gidildikçe rijitlik katsayısının arttığı görülmektedir. Ayrıca analitik sonuçlarla sonlu elemanlar sonuçlarının birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Bu da, analitik metotlarla çözümü mümkün olmayan karmaşık geometrilere problemlerin analizinde sonlu elemanların güvenle kullanılabilmesini göstermektedir (Aktaş ve Orhan 2000).

Das ve arkadaşları, dizel motor tarafından çevrilen kompresörün pinyon dişlisinde meydana gelen kırılma çatlağının dış nedenlerini bulmak için bir sistematik arıza analizi yapmıştır. Analizler sonucunda hizasızlık nedeniyle, pinyon dişlisi, çalışma esnasında ayna dişlisi ile uygun bir şekilde birbirine geçmediği ve bu pinyon dişlisinin diş diplerinde yüksek gerilimlerin oluştuğu, bu sebepten dolayı birleşme yüzeyinde aşırı aşınma ve ısı oluşmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Ayrıca, sülfür kalıntıları ve keskin köşeler, dişlilerdeki bu tür arızaları artıracakları tespit etmiştir (Das vd. 2004).

Yüksel ve Kahraman, bir planet dişli takımının dinamik davranışı üzerinde yüzey aşınmasının etkisini incelemek için bir planet dişli takımı hesaplama modeli kullanmış, benzer bir statik dişli temas modeli olan Archard'ın aşınma modeli kullanılarak, temas basıncının diş boyunca dağılımı hesaplamışlardır. Rezonans alanlarındaki diş ayrılmalarından dolayı lineer olmayan dinamik davranışı göstermektedir. Aşınmış yüzeylerin sonuçları, esasen diş ayrılmaları nedeniyle yüzey aşınmasının etkisini rezonans tepeleri yakınlarında azaltırken kapalı rezonans hız alanlarındaki önemli bir etkiye sahip olan yüzey aşınmasını göstermektedir (Yüksel ve Kahraman 2004).

Widmark ve Melander, değişik yöntemlerle sertleştirilmiş dişlilerin temas yüzeylerindeki yorulma davranışları test etmişlerdir. Testlerde artık gerilmelere

nazaran, mikroyapı, sertlik, yüzey pürüzlülüğü karakteristikleri kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda dişli temas bölgelerinde dişlerin birbirine çarpmasından dolayı temas bölgelerinde hasarların oluştuğu tespit edilmiş ve bu hasar miktarları dişli yüzeylerinin sertliğine göre değişmektedir (Widmark ve Melander 1999).

Ranganath ve arkadaşları, hasarlı bir pinyon dişli üzerinde elektron mikroskobu (SEM) ve sertlik analizleri yapmışlardır. Analizler sonucunda dişlide meydana gelen yorulma çatlakları dişli boyunca devam etmektedir. Yorulma çatlaklarını meydana getiren faktörler ise uygun olmayan yüzey sertliği dişin hassaslığı ve üzerine gelen kuvvetlerdir. Ayrıca yetersiz yağlama, dişlerin birbirine çarpması çatlak oluşumunu hızlandırdığını tespit etmişlerdir (Ranganath vd. 2004).

Lewicki, düz dişlilerdeki kırılma hasarlarını sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiş çatlak başlangıcı ve ilerlemesi tahmin edilmiştir. Dişin geometrik yapısı, dişlinin çalıştığı yüklemeler, diş yüksekliği, karakteristik yarıçap, malzeme özellikleri çatlakların ilerleme şeklini etkileyen faktörlerdir. Aynı zamanda 25° ve 20° lik diş basınç açılarında diş sayıları, dişli çapı sabit tutularak çatlak ilerlemeleri araştırılmıştır (Lewicki 2001).

Citarell ve Gerbino, mekanik bir güç iletimde kullanılan çelik bir kaplin Pro/Engineer programı kullanılarak 3 boyutlu olarak çizilmiştir. Mechnik's ve Kollmann's yapmış oldukları sonlu elemanlar metodu ile sınır eleman metodunu gerilme analizi yaparak karşılaştırmışlardır. Sınır eleman metodu çizim programıyla benzer geometrik bileşenler kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak aynı analiz daha uzun sürede çözüm elde etmişlerdir (Citarella ve Gerbino 2001).

Lange, dişlilerde yapılan hasar analizleri üzerinde bir çalışma yapmış ve yapılan çalışmalarda diş diplerinde hasarların meydana geldiği görülmüştür. İşletme durumları ve bakım zamanları hakkındaki bilgiler, diş durumlarında görülen hasar

modlarını anlamada yardımcı olacak ve gelecekte meydana gelebilecek bu tür hasarları önlemede yardımcı olacağını belirlemiştir (Lange 2000).

Höhn ve Michaelis, yağlama yağının sıcaklık değişiminin dişliler üzerindeki aşınmaya etkisini araştırmıştır. Araştırmaları sonucunda sıcaklığın artması ile yağ filminin azalması nedeniyle aşınmanın arttığı tespit etmişlerdir. Ayrıca yağ sıcaklığının artması ile dişliler üzerinde çizilme, mikropiting ve piting hasarlarının da olduğu görülmüştür (Höhn ve Michaelis 2003).

Clegg, Yeraltı madencilğinde kullanılan büyük bir kamyonun dişli kutusundaki bir dişlide meydana gelen kırılma olayını incelemiştir. İncelemeler sonucunda kırılmanın sebepleri olarak yorulmadan kaynaklanan birikmiş yüksek artık gerilmeler sonucunda içsel bir kırılma meydana geldiği tespit edilmiştir (Clegg 2000).

Park, bir turbojet motorundaki konik dişlide meydana gelen yüzey çatlakları ve kırılmalarını araştırmış, SEM mikroskopunda yorulma çatlaklarını incelemiş çatlakların dişlilerin üst yüzeyinde meydana geldiğini tespit etmiştir. Bu çatlaklar ve kırılmaların, yetersiz veya hatalı yüzey sertleştirme işlemlerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Park 2003).

Woods ve arkadaşları, düz dişlilerdeki karbonlama yüzey sertleştirme yönteminin eğme yorulma hasarlarına etkisini sonlu elemanlar metodu ile araştırmıştır. Analizler sonucunda bu tür sertleştirme işlemlerinden geçmiş dişlilerin yorulmaya karşı dayanımlarının arttığı görülmüştür (Woods vd. 1999).

Akata ve arkadaşları CNC ve kapalı kalıplarda imal edilmiş iki grup düz dişlinin eğilme deneyi cihazıyla ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak analizleri yapılmıştır. Her iki grup dişlisinin de yüzeyleri karbonlanarak sertleştirilmiştir. Deney ve analiz sonuçları karşılaştırıldığında benzer sonuçlar bulunmuştur. Analizlerde elde edilen sonuçlar deneydeki sonuç gibi dış yüzeylerde gerilmelerden doğan hasarlardan kaynaklandığı tespit edilmiştir (Akata vd. 2004).

Dempsey, yağ debi sensörü ve fuzzylojik teknolojisiyle aracılığıyla, yağ debisinin dişliler üzerinde meydana gelen piting oluşumunu araştırmıştır. Deneyler sonucunda “fuzzy” teknolojisiyle dişlilerdeki “piting” başlangıcının bulunabileceği sonucuna varmıştır (Dempsey 2001).

Fetvacı ve Irmak, düz dişli çarkların temas simülasyonu için sonlu elemanlar modellenmesinde dikkat edilmesi gereken hususları incelemiştir. Kavramadaki dişli çiftindeki diş dibi gerilmelerinin incelenmesine imkan sağlayan dişli çark sonlu eleman modeli elde edilmiş ve literatürdeki modellerle karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda literatürdeki sonuçlarla kabul edilebilecek değerde yakın sonuçlar bulmuşlardır (Fetvacı ve Irmak 2004).

Orhan ve Aktürk, şaft ve rulmanları modelleyerek, bileziklerin ise temas yayları gibi davrandığı varsayılmış ve bu modele göre sağlam rulman için bir simülasyon programı geliştirmişlerdir. Bu programa rulman elamanları için bir kusur modeli de dahil edilerek geliştirilen simülasyon programı yardımıyla şaft ve bilyelerin titreşim spektrumları elde edilmiştir. Böylece sağlam ve kusurlu durumdaki rulmanlar için elde edilen şaft ve bilyelerin spektrumları karşılaştırılarak hatanın türünün ve yerinin tespitine çalışılmıştır. Açısız temaslı bilyeli rulmanların çalışma yüzeylerindeki (iç bilezik, dış bilezik, bilye) bölgesel kusurların şaftın titreşimine olan etkisi; Düşük şaft hızlarında tabii frekansla bilye geçiş frekansının üst harmonikleri çakışmakta ve rezonans durumu ortaya çıkmaktadır. Dış bilezik yuvarlanma yüzeyinde kusur bulunan rulmanlar için elde edilen titreşim genliği, iç bilezik ve yuvarlanma elamanı kusuru için bulunan genliklerle karşılaştırıldığında oldukça yüksek bulunmuştur. Diğer bir sonuç ise, iç bilezik yuvarlanma yüzeyinde bir kusur olması durumunda şaft titreşimleri şaft dönme frekansı, kafes frekansı, iç ve dış bilezik bilye geçiş frekansları ile kombinasyonlarında ve üst harmoniklerinde oluşmaktadır. Bu frekanslardan herhangi biri sistemin tabii frekansı ile çakışması halinde rezonans meydana gelmektedir (Orhan ve Aktürk 2003).

Kepçeler ve arkadaşları, (4x4) arazi vitesli jeep'in tüm vites konumlarında diferansiyel mekanizmasının bütün elemanlarının birebir ölçülerdeki üç boyutlu modelleri SolidWorks katı modelleme programında oluşturularak kullanılmış tahrik momentlerinin oluşturduğu değişken ve tekrarlı kuvvetlerin etkisinde meydana gelen en büyük gerilmeler ve bunların yerleri sonlu elemanlar metodu ile elde edilmiştir. Gerçek ölçülerde verilen parçaların dinamik zorlanmalar altındaki ömür değerlendirmeleri yapılmıştır. Ömür değerlerinin çok yüksek çıkması diferansiyel mekanizmasındaki elemanların çok mukavim olduğu, emniyet katsayısının çok büyük alındığını tespit etmişlerdir (Kepçeler vd. 2004).

Vogwell, arızalı bir aks mili üzerine uygulanan bir araştırma ve nümerik analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda aksta meydana gelen arızanın yorulmalar sonucunda meydana geldiği tespit etmiştir. Yorulmaya yol açan en önemli faktörleri araştırmış, düzenli servis ile malzeme ömrü arttırılabildiği gerekliyse, tasarım ve üretim aşamasında malzemenin detaylarına daha dayanıklı malzemeler imal edilerek ömür arttırılabilmektedir (Vogwell 1998).

Makevet ve Roman, diferansiyel dişli kutusu içersindeki istavroz dişlileri mili üzerinde incelemeler yapmış inceleme sonucunda boyları kısa olan millerin daha kısa sürede hasara maruz kaldıkları tespit edilmiş ayrıca tasarım, malzeme, kötü kullanım, çalışma şartları, düzensiz bakım, eksik yağlamadan hasar oluşumuna etki eden diğer faktörler olarak belirlemişlerdir (Makevet ve Roman 2002).

Lee ve arkadaşları, normal geleneksel iki parçalı şaft yerine tek parça alüminyum/kompozit malzemeler kullanarak tek parçalı yeni bir şaft tasarlamışlar ve sonlu elemanlar metodu kullanarak üzerinde analizler yapmışlardır. Eski şaftla yeni geliştirilen şaft karşılaştırıldığında hasara uğrama oranı, nemden etkilenme ve dış darbelere karşı dayanımın arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca %75 daha hafiflemesi, %160 tork iletme kapasitesinin arttığı sonucuna varılmıştır (Lee vd. 2004).

Nanaware ve Pable, 557 D traktörlerin arka akslarında meydana gelen yorulma çatlakları üzerinde çalışmalar yapmıştır. Yorulma çatlaklarının başlaması ve ilerlemesinin en temel sebebi aks üzerine gelen periyodik yüklemeler altında çalışmasından kaynaklanmaktadır. Hasara uğrayan aksların yaklaşık %80–85'inin sebebi tavlamalardaki hatalardan kaynaklanmaktadır. Aksların genellikle kamalı kısımlarının hasar uğradıkları tespit edilmiş ve yorulma çatlaklarının kamanın bitiminde meydana geldiği görülmüştür. Bunu sebebi olarak ta kamanın bitim kısmına verilmesi gereken kavisin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kama kavisinin optimum 1,5 mm olması gerektiği belirlenmiş ve bu kama bölgesinin yüzey sertliği yüzeydeki bor oranı artırılarak aksın yorulma dayanımı artırılabilceği tespit edilmiştir (Nanaware ve Pable 2003).

Kim ve arkadaşları, alüminyum /kompozit hibrit bir şaftın düşük hızlardaki impak (etki) analizi yapılmıştır. Hibrit şaft alüminyum borunun iç yüzeyine galvanik korozyon için yığın karbon epoksi kompozit şeklinde yalıtım yapılmıştır. Sonra hibrit şaft üzerinde cihazda impak analizler yapılarak optimal demet miktarı, kompozit malzeme ve optimal kalınlık hakkında öneriler yapılmıştır. Alüminyum borunun en fazla kalınlığı 3mm olarak bulunmuştur (Kim vd. 2004).

Cho ve arkadaşları şaftın ağırlık ve titreşimin azaltmak için karbon fiber ve alüminyumdan meydana gelen hibrit bir şaft yapmışlar ve bu şaft üzerinde analizler yapmışlardır. Analizler sonucunda hibrit şaftta % 50 daha az çelik kullanıldığı, hibrit şaftın dönme momenti 9100 rpm normal şaftların ise 9000 rpm, hibrit şaftın minimum statik tork iletim miktarı 3500Nm ve son olarak $\pm 500\text{Nm}$ de 10^7 devre kadar çıkarılmış, analizler ve incelemeler sonunda hasar bulamamışlardır (Cho vd. 1997).

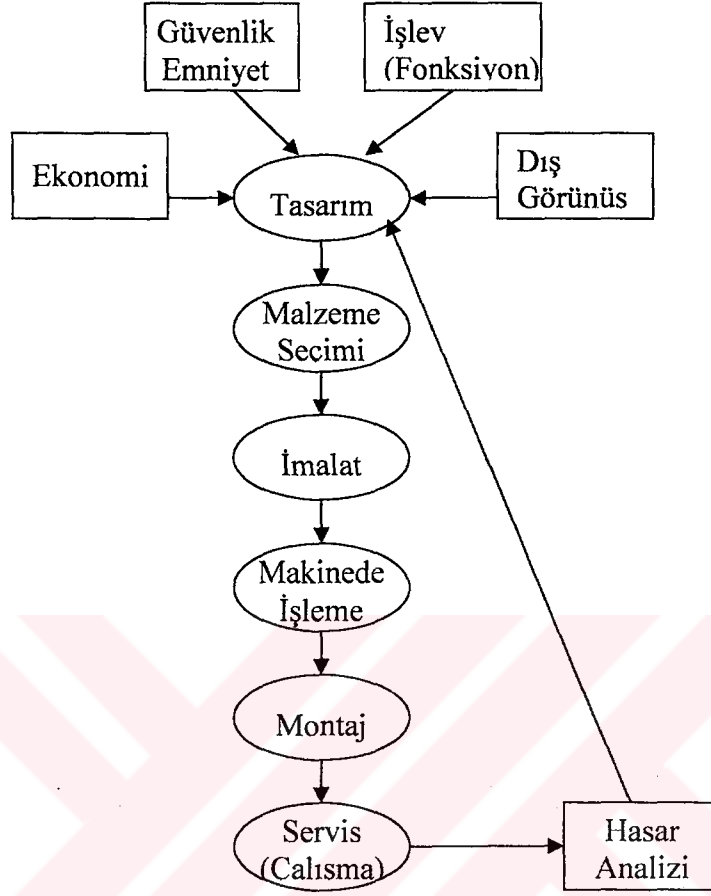
3. HASAR ANALİZİ VE HASAR ÇEŞİTLERİ

Bir makinenin veya makine parçasının kendisinden beklenen işlevleri yerine getiremez hale gelmesine hasar adı verilmektedir. Bir parçada veya elemanda hasar, genellikle elemanın "aşırı zorlanması" sonucunda meydana gelir. Aşırı zorlanma, elemanın taşıyabileceği zorlanmaya teknolojik hatalar nedeniyle ortaya çıkan zorlanmanın da eklenmesiyle oluşur. Aşırı zorlanmış elemanda hasar iki nedenle ortaya çıkar.

- Elemana etki eden yükler elemanın taşıyabileceği yükten büyüktür.
- Elemanın dayanımı gerekli dayanımdan küçüktür (Malzeme seçiminde yapılan hata).

Hasar analizinin amacı hasara neden olan bilimsel ve teknolojik hataları araştırmak ve bu hataların yinelenmemesi için gerekli faktörleri ortaya koymaktır. Makine elemanında meydana gelen hasarların imalat, montaj, işletme ve onarım şartlarından hangisinde ve nasıl gerçekleştiğini belirleyerek gerekli bilimsel tedbirleri almak hasar analizcisinin görevidir. Ayrıca ürünün hasarlanmasında sebep olan kişi ve durumları saptayarak hasar sorumlularını tespit etmek hasar analizinin ne derece önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bir parçanın tasarım ve üretimiyle hasar analizinin ilişkisi Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Tasarımı yapılan parça için ekonomiklik, emniyetli çalışma, işlev ve görünüş gibi faktörler ön plana çıkmaktadır. Bu faktörlere karar verilmesiyle birlikte yapılan malzeme seçimi, imalat, parçayı makinede işleyerek şekillendirme ve montaj sonucu parça kullanıma hazır hale gelir. Her hangi bir basamakta yapılacak yanlışlık parçanın zarar görmesine neden olacak ve üretimi, tasarım aşamasından itibaren etkileyecektir. Toplam kalite yönetimini ilke edinmiş üretim kurumlarında hasar analizinin önemi oldukça büyüktür. Üretimin herhangi bir aşamasında çıkabilecek hasar üreticide; maliyet, zaman, güven kaybı, ürün kaybı vb. gibi kayıplara yol açmaktadır.



Şekil 3.1 Bir Parçanın Tasarım ve Üretimini Hasar Analiziyle İlişkisi (Colangelo 1974)

Hasar makine parçasının tasarım, imalat, montaj ve işletme safhalarının birinde yapılan teknolojik hata nedeniyle ortaya çıkar. Tasarım sırasında yapılan hatalar, tasarım hataları ve malzeme seçiminde yapılan hataları kapsar. Bu hatalardan tasarıma sorumludur. İmalat safhasında rastlanan teknolojik hatalar ise, imalat hatalarını ve malzeme içindeki hataları kapsar. Bu hatalardan imalatçı sorumludur. Sistemin montajı sırasında yapılan hatalar montaj hataları olarak adlandırılır ve bundan montajı yapanlar sorumludur. İşletme sırasında yapılan hatalar ise, aşırı yükleme ve bakım hataları olup, bundan işletmeci sorumludur.

3.1 Teknolojik Hatalar

Teknolojik hatalar, hasarın korozyon ve aşınma gibi hasarlarla, elastik veya plastik deformasyon ve kırılma da dahil olmak üzere hasar tiplerinden biriyle veya birkaçıyla meydana gelmesi sonucunu doğururlar. Teknolojik hatalar şunlardır.

3.1.1 Tasarım Sırasında Yapılan Hatalar

Bu gruba, tasarlanan parça geometrisinde çok şiddetli gerilme yığılmalarına neden olan süreksizliklerin mevcut olması, karmaşık parçalarda düzenli gerilme hesaplarının mümkün olmayışı veya yetersiz gerilme analizi, oluşması muhtemel hasar tipinin her biri için, malzemenin bu hasara karşı direncinin bir ölçüsü olan, etkin malzeme parametrelerini kullanmak yerine daha başka özellikleri göz önüne alarak tasarım yapmak (örneğin, tekrarlı yükleme koşullarında statik özellikleri göz önüne alarak tasarım yapmak), çalışma şartlarına veya öngörülen imal usulüne uygun olmayan malzeme seçmek gibi hatalar girer (Eryürek 1993).

3.1.2 Malzeme İçindeki Hatalar

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

3.1.3 İmalat Sırasında Yapılan Hatalar

Malzemeye tasarımda öngörülen son şeklinin verilmesi sırasında kullanılan imal usullerinin (örneğin, talaşlı şekil verme, döküm, kaynak, plastik şekil verme, toz metalürjisi) uygulanması sırasında ortaya çıkan hatalarla ısıtma işlemi ve yüzey işlemleri sırasında ortaya çıkan hataları kapsar. Bunlara örnek olarak; talaşlı imalat sırasında ortaya çıkan yırtılma ve çatlama, kaynak sırasında

ortaya çıkan gözeneklilik, yanma olukları, erime azlığı, çatlaklar, kalan gerilmeler, ısı etkisi altındaki bölge; ısıtma işlem sırasında ortaya çıkan yanma, çatlama, distorsiyon, tane büyümesi, taneler arası gevrek faz oluşumu; yüzey işlemleri nedeniyle ortaya çıkan hidrojen gevrekleşmesi verilebilir (Eryürek 1993).

3.1.4 Montaj Hataları

İmalatçı ve alıcının muayenesi sırasında tespit edilememiş montaj hataları, yapının başlangıçtaki çalışmasını görünür bir biçimde engellemese de daha sonra yapıda hasara neden olur. Montaj hataları, tasarımda göz önüne alınmamış ilave gerilmeler ve değişik yükleme şekilleri oluşturarak aşınma, yorulma ömrünün azalması, distorsiyon ve benzeri hasarlara neden olur. Montaj hataları yanlış, yetersiz montaj talimatına doğduğu gibi montajı yapacak kişinin hata ve kayıtsızlığından kaynaklanabilir. Montaj hatalarına örnek olarak perçin deliklerindeki eksen kaçıklıkları, şaft, dişli, yatak ve kaplinlerdeki eksen kaçıklıkları, somunların uygun torkta sıkılmaması verilebilir. Ayrıca bir montaj aracı olan kaynakta da daha önce açıklanan hatalar ortaya çıkabilir.

3.1.5 Uygun Olmayan Çalışma Şartları

Makine parçasının veya makinenin tasarımda öngörülen çalışma şartlarından farklı şartlarda çalışması sonucu da hasar meydana gelir. Bunlara örnek olarak aşırı yükleme, çalışma ve ortam koşullarındaki ani ve beklenmedik değişimler (kaza ve doğal afetler), uygun olmayan işletme ve bakım koşulları, kasıtlı hareket verilebilir (Eryürek 1993).

3.2 Hasar Analizi Basamakları

Moore (2001) "krank mili hasarları ve hasarlar neden tekrarlanır" isimli çalışmasında hasar analiz basamaklarını şöyle belirlemiştir.

- Arka plan verilerinin toplanması ve numunelerin seçilmesi
- Hasarlı parçada ön inceleme

- Tahribatsız testler
- Mekanik testler
- Seçim, tanımlama, koruma ve tüm numunelerin temizlenmesi
- Makroskobik inceleme ve analiz
- Metalürjik kesitin seçimi ve hazırlanması
- Hasar mekanizmasının saptanması
- Kimyasal analiz
- Kırılma mekaniği analizi
- Koşullu olarak simülasyonu yapılmış çalışma testi
- Analizlerin yapılması, sonuçların formülasyonu ve rapor yazımı

Hasar olayı incelenirken hasarın derecesi, dolayısıyla ölçümü de oldukça önemli bir süreçtir. Hasarın ölçülmesinde birçok direkt ve dolaylı metotlar kullanılmaktadır. Direkt ölçümler içerisinde; elastisite modülünün değişimi, ultrasonik dalga ilerlemesi, mikro sertliğin değişiminin incelenmesi, geriye kalan ömür cinsinden de ifade edilebilen yorulma sınırındaki değişim gibi metotlar yer alırken, dolaylı metotlar içerisinde ise; sünek aşınma durumunda yoğunluğun değişimi, elektrik direncinin dolayısıyla iletkenliğin değişimi, plastik davranışın değişimi (gerilme genliğinde azalma), sürünme davranışının incelenmesi ve akustik emisyon olayını dikkate alan malzeme içerisinde ilerleyen ses hızındaki değişimin incelenmesi gibi metotlar sayılabilir (Gürleyik, 1974).

3.3 Hasar Analizi İçin Numunelerin Seçilmesi

Hasara uğramış bir makine parçasında hasar analizi yapmak için detaylı ve tatmin edici bir bilgiye ihtiyaç vardır. Parçanın imalatına ait bilgiler ve teknik resimleri öncelikle elde edilmelidir. İmalatında kullanılan malzeme, soğuk ve sıcak şekil verme, talaş kaldırma, taşlama, ısıl işlemler vb. gibi parça üzerine uygulanmış işlemler göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca:

- Parça ne zamandan beri çalışmaktadır?
- Parça tasarımında öngörülen çalışma şartları nelerdir?

- Parçanın tasarımında belirlenen çalışma ömrü nedir?
- Parçanın üzerine etkiyen sıcaklık, basınç gibi etkenler nelerdir?
- Statik ve Dinamik yükleme şartları nedir?
- Titreşim ve değişken yükleme var mıdır?
- Parçanın uygun şekilde montajı yapılmış mıdır?
- Parçanın bakım ve değişim süresi ne kadardır?
- Parçanın hasarlandığı durumda ortam ve yükleme şartlarında ani ve beklenmedik bir değişim meydana gelmiş midir?
- Böyle bir durum meydana geldiyse bu durumdan parça nasıl etkilenmiştir?
- Beklenmedik durum karşısında parça ne kadar süre çalışmaya devam etmiştir?
- Bu durum hasarlı parçayla birlikte makine üzerindeki hangi sistem ve parçaları etkilemiştir?

sorularına güvenilir yanıtlar aranarak parça hakkında geniş bir geçmiş bilgisi elde edilmelidir (Eryürek 1993).

3.4 Hasara Uğramış Parçanın İncelenmesi

Hasara uğramış parçanın incelenmesinde birkaç metot kullanılmaktadır. Bu metotlardan genel muayene, mekaniksel deneyler ve kimyasal analiz yapılmış yöntem ve teknikleri aşağıda açıklamıştır.

3.4.1 Genel Muayene

Parçanın incelenmesindeki ilk aşamadır. Hasarlı yüzeylerin tümü çıplak gözle incelenir. Analizci incelemeyi yaparken dikkatli bir şekilde parça üzerindeki renk değişikliklerini, yüzey bozulmalarını, derin çizikleri ve dökülmeleri çıplak gözle kolayca görebilir. Bunlar analizci için önemli ipuçlarıdır.

3.4.2 Fotoğraf Çekme

Hasarlı kısmın çeşitli açılardan ve aydınlatılarak detayları gösterecek çözünürlükte fotoğrafları çekilmelidir. Bu fotoğraflar parçanın çıplak gözle

görülemeyen kısımları hakkında detaylı bilgi verirken analizin ileriki aşamalarında hangi alanların birinci derecede öncelikli olduğunu ve incelenmesi gerektiği konusunda analize yardımcı olacaktır. Çekilen fotoğrafların neyi gösterdiği, büyütmesinin ne olduğu ve diğer fotoğraflarla ilişkisinin ne olduğu kaydedilmelidir.

3.4.3 Tahribatsız Deneyler

Hasarın araştırılması ve analizinde parçayı etkilemeden yapılan ve genellikle demir esaslı malzemeler için kullanılan deneylerdir. Bu deneyler yüzey çatlaklarını ve süreksizliklerini tespit etmek için kullanılmaktadır. Manyetik tozla muayene, Penetran sıvıyla muayene, ultrasonik muayene ve Akustik yayınımla muayene tahribatsız deneylerden bazılarıdır.

3.4.3.1 Manyetik Tozla Muayene

Muayene edilecek parça manyetiklendiğinde manyetik alan doğrultusuna dik doğrultuda yatan süreksizlikler parça yüzeyi üzerinde bir sızıntı akımı oluşturur. Bu sızıntı alanı ve süreksizliğin oluşumu yüzey üzerine uygulanan ferromanyetik tozlar yardımıyla tespit edilir. Bu tozların bazıları sızıntı alanı tarafından bir araya getirilerek süreksizliğin uç noktaları arasında bir köprü oluştururlar. Manyetik olarak toplanmış bu tozlarla süreksizliğin profili çıkartılarak bunun şekil ve boyutu belirlenir. Manyetik tozla Muayenenin yapılması oldukça basit olup, çok küçük ($\geq 200 \mu$) ve yabancı maddeyle dolmuş yüzey çatlaklarının araştırılmasında en iyi yöntem olarak kabul edilmektedir.

3.4.3.2 Penetran Sıvıyla Muayene

Yüzey hatalarının araştırılmasında manyetik tozla muayenesi mümkün olmayan malzemelerin muayenesinde kullanılır. Penetran sıvı parça yüzeyine püskürtülür ve yüzey üzerindeki 1 mikron'a kadar büyüklüğe sahip çatlakların içine girer. Daha sonra yüzeye bir geliştirici uygulanarak yüzeye açık olan çatlakların içindeki sıvı yüzeye çekilir. Sıvının kendisi genellikle parlak renklidir ve mor ötesi ışığın

altında malzeme yüzeyindeki süreksizlikler kolayca görülür. Bu muayenenin maliyeti düşüktür ve sonuçlar kolaylıkla yorumlanabilir.

3.4.3.3 Girdap Akımıyla Muayene

Alternatif akım ileten bir sargı parçanın etrafına veya parça yüzeyinin yakınına yerleştirilecek olursa parça içinde girdap akımları meydana gelir. Bu akımlar uyarıcı sargıdaki veya yakındaki diğer bir sargıdaki empedans etkiler. Parça içindeki çatlak ve hatalar girdap akımları içerisinde distorsiyona sebep olur. Bu ise sargı empedansının distorsiyonuna neden olur. Bu nedenle ortaya çıkan empedans değişimi uygun bir elektrik devresi ve ölçü aletiyle tespit edilebilir. Hata ve çatlaklar ölçü aleti üzerindeki sapmalar ve titreşimlerle kendini gösterir. Bu muayeneyle hem yüzey hem de yüzey altı hataları tespit edilebilir.

3.4.3.4 Ultrasonik Muayene

Parça yüzeyindeki ve yüzey altındaki çatlakları tespit etmek için parçaya yüksek frekanslı akustik enerjiye sahip dalgalar gönderilir. Bir ultrasonik dalga parça yüzeyindeki bir çatlığa çarpıncaya kadar hareket eder. Çatlaklar gelen akustik enerjinin bir kısmını geri yansıtır. Bu muayene çok küçük çatlakların dahi tespitine imkan sağlayabilen ve çatlığın yeri ve boyutu hakkında hassas bilgiler verebilen bir muayene yöntemidir.

3.4.3.5 Akustik Yayınımınla Muayene

Akustik yayılım, malzeme içindeki çatlak ilerlemesi, plastik deformasyon ve faz dönüşümleri sırasında oluşan hızlı şekil değiştirme enerjisi boşalması nedeniyle üretilen yüksek frekanslı gerilme dalgalarıdır. Bu enerji çatlak ilerlemesi halinde depo edilen elastik enerjiden, faz dönüşümü halinde ise depo edilmiş kimyasal serbest enerjiden kaynaklanır. Akustik yayınımla muayenede dış gerilmeler altındaki malzeme içindeki çatlaklardan üretilen akustik yayılım sinyalleri tespit ve analiz edilir.

3.4.3.6 Mekanik Deneyler

Mekanik deneyler içinde en basit olanı sertlik deneyidir ve bu deney hasar analizinde çok değişik amaçlar için kullanılabilir. Sertlik deneyi birçok uygulamaların yanı sıra parçaya uygulanan ısı işlemin değerlendirilmesinde çeliğin çekme dayanımını yaklaşık olarak tahmin etmede, aşırı sıcaklık veya karbon kaybı sonucu oluşan yumuşamayı tespit etmede kullanılabilir. Sertlik deneyi mikro sertlik deneyinde olduğu gibi özel deney parçası gerektiren haller dışında temelde tahribatsız deney olarak kabul edilir. Hasarla ilgili birçok araştırmada çekme deneyi fazla yararlı değildir. Bunun nedeni, pratikte çok az sayıda malzemenin çekme dayanımının yetersizliği nedeniyle veya kopma oluşuncaya kadar uygulanan çekme yüküyle meydana gelmesidir. Ayrıca gevrek olarak hasara uğrayan elemandan kesilen çekme numuneleri çekme deneyi şartları altında genellikle süneklik göstermektedir. Çekme deneyi için deney parçası hazırlığı pahalı ve zaman alıcı bir olaydır. Kesme ve talaş kaldırmada aşırı ısı ile numunelerin özelliklerini değiştirmekten kaçınmak gerekir. Çekme deneyinde uzama değeri ile belirtilen süneklik miktarı malzemenin çalışması sırasındaki davranışı ile doğrudan ilişkili değildir.

Kırılma yüzeylerinin seçimi, muhafazası ve temizlenmesi: Kırık yüzeylerin düşük güçteki büyüteçle büyütülmesinden elde edilen bilgiler oldukça fazladır. Kırık yüzeyin geometrisinin etüdü hasarı oluşturan gerilme sistemi hakkında bilgi verir. Bir kırılma yüzeyine asla parmakla dokunulmamalı ve yüzey parmakla silinmemelidir.

Taramalı Elektron Mikroskobu: Optik mikroskoba kıyasla oldukça fonksiyonlu olan tarayıcı elektron mikroskobu 100.000 kata kadar büyütme yapabilir. Elektron Mikroskobu için parçanın parlatılması ve dağlanması gereklidir. Mikroskobik analiz edilen parçanın imalat yöntemi ve maruz kaldığı işlemler hakkında bilgi sağlar. Çalışma sırasında doğan korozyon oksidasyon ve yüzeylerin aşırı pekleşmesi gibi etkiler ortaya çıkarılabilir.

3.4.10 Kimyasal Analiz

Bir hasarın araştırılması sırasında malzemenin öngörülen malzeme olup olmadığını saptamak için kimyasal analiz yapılır. Dolayısıyla tasarım ve üretim aşamasında yapılan yanlışlıkların tespitinde kimyasal analiz önemli rol oynamaktadır. Tasarım ve üretim sırasında standart olarak tespit edilerek verilen verilerle deneysel çalışma sırasında parça numunesi üzerinde elde edilen veriler birbiriyle oransal olarak kıyaslandığında malzeme üzerinde üretim ve tasarıma bağlı olarak yapılan yanlışlıklar bu yöntemle kolaylıkla tespit edilebilir. Kimyasal analiz ölçümünde spektroskopik ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Bu cihazlarla kimyasal analizi yapılacak malzeme üzerine çeşitli ışınlar gönderilmektedir. Işınlar her malzeme üzerinde farklı açı ve dalga boylarında kırıldığı için seçilen deney numunesi üzerinden kırılarak yansıyan ışınlar bilgisayar yardımıyla ayırt edilirler. Aslında hasarların az bir kısmı uygun olmayan veya hatalı malzeme nedeniyle oluştuğundan, kimyasal analiz sonuçları nadiren hasar nedenini ortaya çıkarmaktadır.

3.5 Taşıtlardaki Hasarlar ve Kaza Oranları

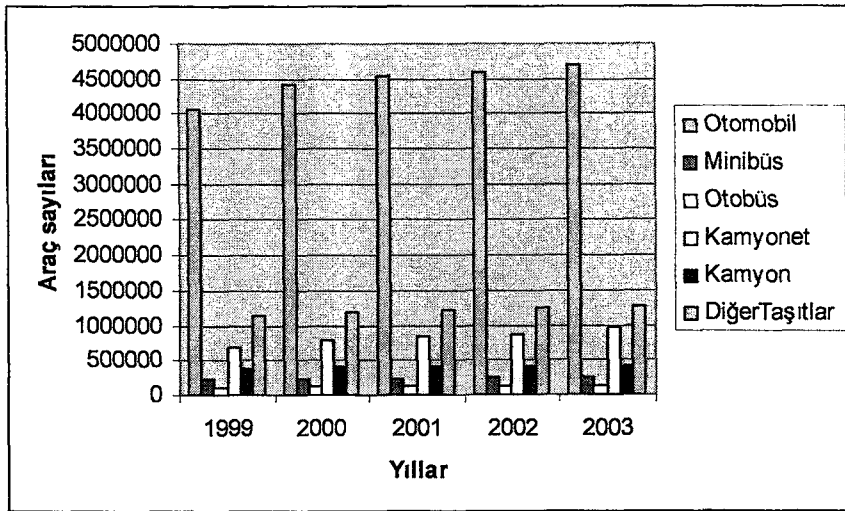
İlerleyen teknoloji ve nüfus artımı insanları yeni gelişmeler, araştırmalar yapmaya zorlamaktadır. Otomobiller insanların yaşamında önemli bir yer tutmakta ve her geçen gün teknolojiyle bu yeri gün geçtikçe artmaktadır. Taşıt oranları arttıkça kaza oranları da artmaktadır. Bazı ülkelerdeki araç sayıları otomobil ve toplam taşıt sayısı bakımından oranları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Bazı Ülkelerde Araç Sayıları (KGM 2002)

ÜLKE	OTOMOBİL	TOPLAM	ÜLKE	OTOMOBİL	TOPLAM
AVUSTURYA	4.009.604	4.338.195	İSPANYA	16.100.000	19.544.800
BELÇİKA	4.583.615	5.078.321	İSVEÇ	3.867.000	4.235.400
BULGARİSTAN	1.908.392	2.180.494	İSVİÇRE	3.467.275	3.757.172
ÇEK CUMHURİYETİ	3.439.745	3.726.985	LÜKSEMBURG	253.406	285.838
DANİMARKA	1.877.117	2.188.691	MACARİSTAN	2.400.000	2.743.000
FİNLANDİYA	2.082.580	2.385.774	NORVEÇ	1.813.642	2.253.720
FRANSA	27.480.000	33.090.000	POLONYA	9.282.816	11.044.420
HOLLANDA	6.051.000	6.746.000	PORTEKİZ	3.200.000	4.297.000
İNGİLTERE	22.785.000	23.158.900	ROMANYA	2.994.543	3.469.479
İRLANDA	1.100.000	1.276.000	TÜRKİYE	5.340.299	9.821.084

- TOPLAM" değeri ticari araç (otobüs, kamyon, kamyonet, minibüs) ve otomobilin toplamıdır. Traktör, motosiklet ve mobilet bu değere dahil değildir.
- Otomobil değeri hususi otomobil ile ticari taksilerin toplamıdır.

Ülkemizdeki ticari araç sayısının fazla olmasının sebebi taşımacılığın araçlarla (otobüs, kamyon vb.) yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bu da ülkemizdeki kaza olma riskini artırmaktadır. Ülkemizdeki yıllara ait motorlu araç sayıları Tablo 3.2'de, son beş yıla ait trafik kaza oranları ise Tablo 3.3' de görülmektedir.



Şekil 3.2 Yıllara Ait Motorlu Araç Sayıları (DİE 2004)

Diğer Taşıtlar; Motosiklet, Özel Amaçlı Taşıtlar, Yol ve İş Makineleri Toplamıdır.

Tablo 3.3 Türkiye'deki Son Beş Yılın Trafik Kazaları (Trafik İstatistik Bülteni 2004)

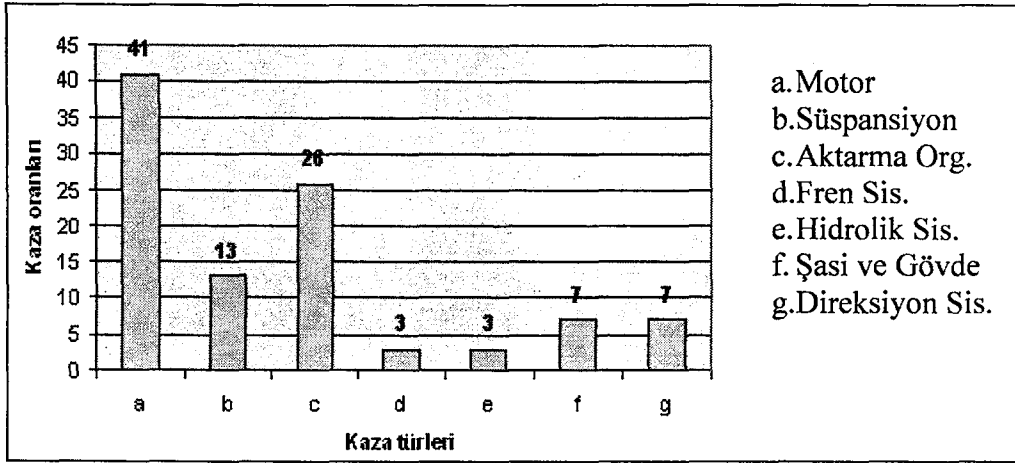
A. Kaza	B. Ölü	C. Yaralı	D. Maddi Hasar Miktarı (YTL)	
	A	B	C	D
2000	466.385	3.941	115.877	230.638.939
2001	409.407	2.954	94.497	260.561.544
2002	407.103	2.900	94.225	356.349.203
2003	422.302	2.818	95.324	468.335.636
2004	494.851	3.082	109.681	652.191.328

Tablo 3.2 ve tablo 3.3 dan da görülebileceği gibi taşıt sayılar arttıkça kaza riski de o derecede artmaktadır. Taşıtlarda meydana gelen hasarlar da bu kazalara neden olmaktadır. Tablo 3.4'de 2004 yılına ait Türkiye'deki araç kusurlarından kaynaklanan kaza oranları görülmektedir.

Tablo 3.4 Türkiye'deki Araç Kusurlarından Kaynaklanan Kaza Oranları (Trafik İstatistik Bülteni 2004)

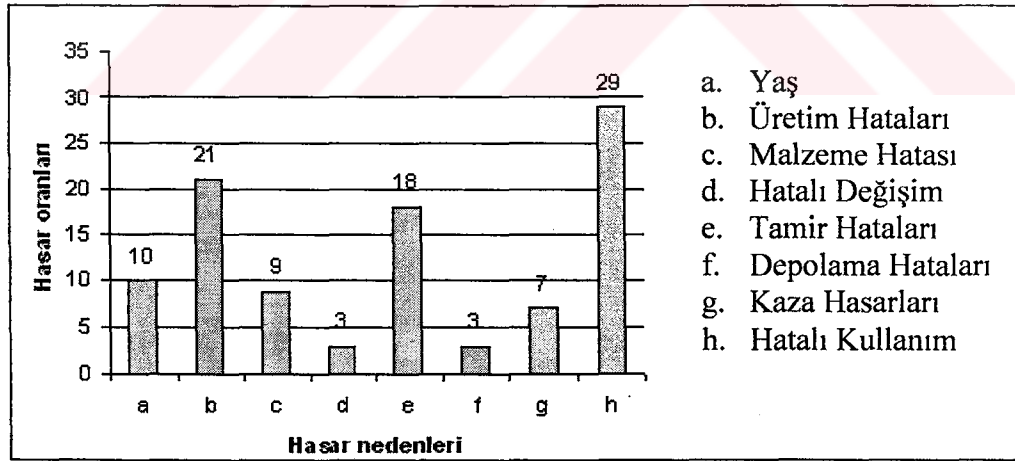
A. Yerleşim Yeri	B. Yerleşim Yeri Dışı			C. Toplam		
	KUSUR					
	SAYISI			ORANI (%)		
ARAÇ AKSAMLARI	A	B	C	A	B	C
Lastik Patlaması	87	446	533	29,00	68,93	56,28
Fren	66	28	94	22,00	4,33	9,93
Aks	23	38	61	7,67	5,87	6,44
Rot	23	23	46	7,67	3,55	4,86
Kapı	32	1	33	10,67	0,15	3,48
Diğer Işık	5	22	27	1,67	3,40	2,85
Şaft	3	7	10	1,00	1,08	1,06
Şanzıman- Vites	6	4	10	2,00	0,62	1,06
Direksiyon	6	3	9	2,00	0,46	0,95
Makas	2	4	6	0,67	0,62	0,63
Far	6	0	6	2,00	0,00	0,63
Cam Sileceği	1	3	4	0,33	0,46	0,42
Diğer Aksam Eksikliği	40	68	108	13,33	10,51	11,40
TOPLAM	300	647	947	100,00	100,00	100,00

Tablodan da görüleceği gibi toplam aktarma organlarından kaynaklanan kazaların oranlarının toplamı % 8,56'yı bulmaktadır. Heyes (1998), yapmış olduğu bir çalışmada taşıtların birçok parçadan bir araya gelmesinden dolayı meydana gelen hasarlar belirli gruplara ayırmıştır. Şekil 3.3'de taşıtlarda meydana gelen hasarların bölgeleri ve oranları görülmektedir.



Şekil 3.3 Bir Taşıta Meydana Gelen Hasara Uğrama Oran Grafiği (Heyes 1998).

Bir taşıta meydana gelen hasarların % 41'ini motor hasarları oluşturmaktadır. % 59 oranındaki diğer hasarlar Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Bu hasarları meydana getiren sebeplerden hatalı kullanım oranı % 29, üretim ve tasarım hataları % 21, onarım hataları % 18, yaş % 10, ham malzeme kullanılması % 9, kaza hasarları % 7 ve diğer hasarlar % 6 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.4 hasar nedenleri dağılım grafiğini göstermektedir (Heyes 1998).



Şekil 3.4 Bir Taşıta Meydana Gelen Hasarların Nedenleri (Heyes 1998).

3.6 Kavrama Sistemde Meydana Gelen Hasarlar

Kuru tip kavramada meydana gelen hasarlar sürüş halinde durma ve kalkmalarda sürekli aşınır ayrıca zamanla oluşan yorulmalar ve gerilmeler sonucunda parçalarda çatlama ve kırılmalar gibi hasarlar meydana gelebilir.

Hidrolik kavramalarda ise yağ içersinde çalıştığından dolayı yağ kaçırmaları zaman içersinde pompa, türbin ve stator kanatçıklarında kırılmalar meydana gelebilir. Aynı zamanda sistemde yağsızlıktan dolayı aşınmalar da meydana gelebilmektedir.

Kavrama sistemlerini çok çeşitli olması nedeniyle bu çalışmada sadece kuru tip tek diskli kavrama parçalarında meydana gelen hasarlardan bahsedilecektir.

3.6.1 Baskı Yaylarında Kırılma veya Çatlamlar

Bu tür bir arıza sonucunda debriyaj balatasının tam olarak volana sıkıştırılamayacağı için kavramada kaçırmalara sebep olur.



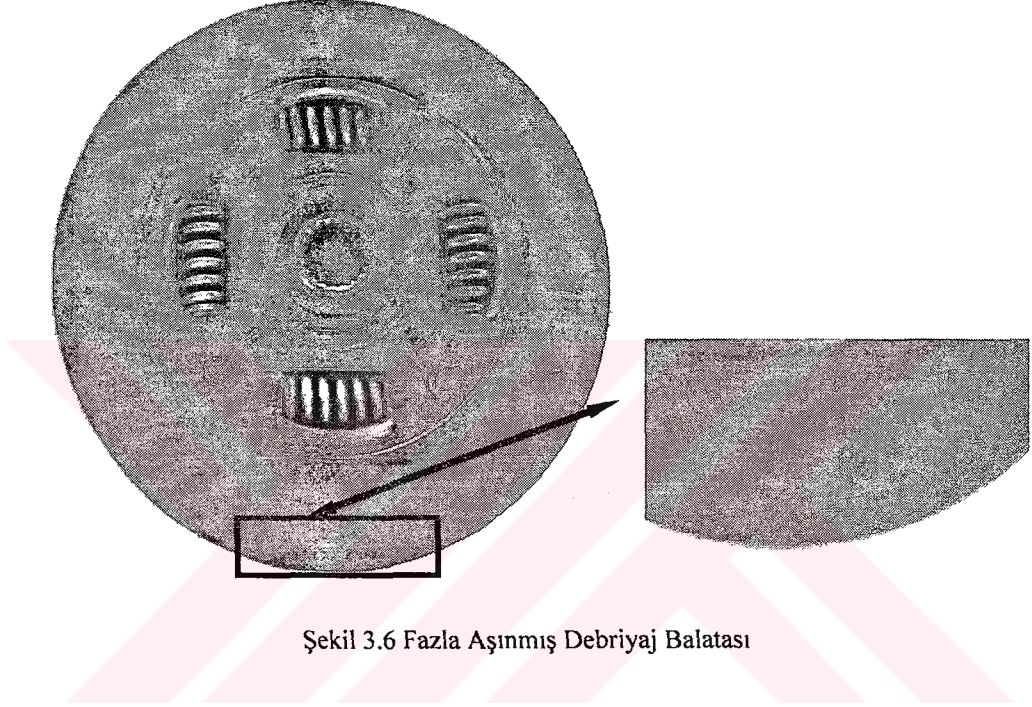
Şekil 3.5 Baskı Diski

Sürekli durup kalkma yapan araçlarda; yorulma, malzeme imalatındaki kusurlar sonucunda böyle hasarlarla karşılaşma mümkündür. Ayrıca debriyaj rulmanının arızalanması nedeniyle rulman baskı yaylarına sürtünerek çalışır. Bu sürtünme sonucunda meydana gelen aşırı ısı yayların çatlama veya kırılmasına neden olabilir.

3.6.2 Debriyaj Balatasının Aşınması

Normal olarak balatalar belirli bir ömürleri vardır. Eğer balatalar ömürlerinden daha kısa sürede aşınıyorsa sistemin diğer parçalarından veya aracı aşırı

zorlamalardan kaynaklanabilmektedir. Bu tür aşınmalar ayırma parmaklarının yanlış ayarlanması, sisteme girmiş yabancı parçalar, baskı yaylarının özelliğini kaybetmesi, sürücünün ayağını sürekli debriyaj pedalında tutması, baskı diski veya volan üzerindeki çatlaklar gibi sebeplerden kaynaklanabilir. Şekil 3.6 da aşırı aşınmış debriyaj balatası görülmektedir.



Şekil 3.6 Fazla Aşınmış Debriyaj Balatası

3.6.3 Debriyaj Bağlantılarda Aşınma

Debriyaj bağlantılarında meydana gelen hasarlar genellikle eksik ve hatalı bakımdan yağsızlık veya yanlış ayarlamalar sonucunda bağlantılarda tutukluk veya aşınmalar meydana gelir. Böyle bir arıza sonucunda pedalda sertlik balatanın çabuk aşınması gibi diğer hasarlar ortaya çıkabilir (Anlaş 1990).

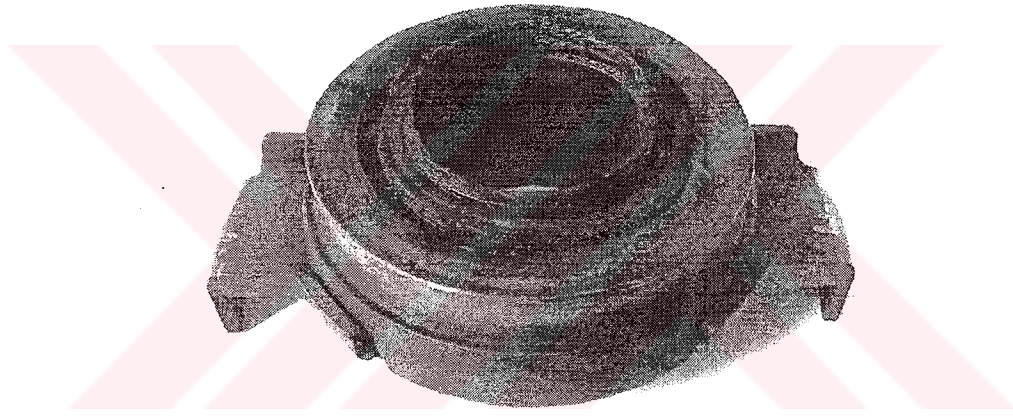
3.6.4 Volan veya Baskı Diskinde Çatlamalar

Debriyaj sisteminin kaçırması sonucunda meydana gelen aşırı ısınmalar parçalar üzerinde ısıl gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmeler zamanla parçalar üzerinde çarpıklıklar ve çatlamalara neden olur. Ayrıca şoförün araca aşırı yüklenmesi sonucunda da böyle hasarlar oluşabilir (Zagrodzki 2003).

3.6.5 Debriyaj Rulmanında Meydana Gelen Hasarlar

Debriyaj rulmanı kapalı bir sistem olduğu için yağlama tertibatı yoktur ve belirli bir süre sonra değiştirilmeleri gerekmektedir. Debriyaj rulmanları yağsız kalmaları nedeniyle aşırı aşınma ve tutukluklar meydana gelebilir. Bu tür bir arıza meydana geldiğinde debriyaj pedalına basıldığında tiz bir ses çıkar.

Arıza giderilmediği durumda ayırma parmakları veya diyafram yaylı sistemlerde diyafram yayların kırılmasına neden olabilir. Şekil 3.7'de tutukluk yapması sonucunda yüzeyi aşırı aşınarak yüzeyi delinmiş bir debriyaj rulmanı görülmektedir.



Şekil 3.7 Debriyaj Rulmanı

3.7 Vites Kutusunda Meydana Gelen Hasarlar

Vites kutularında yük altında çalışan parçalar dişliler olduğu için hasarlar genellikle bu dişlilerde meydana gelmektedir. Diğer parçalarda meydana gelen hasarlar ise genellikle bakım eksikliklerinden oluşmaktadır.

3.7.1 Dişlilerde Karşılaşılan Hasar Türleri

Vites kutuları moment değiştiricileri olarak çalıştıkları için dişliler sürekli yük altında çalışmaktadırlar. Bu nedenle çok çeşitli hasara uğramaktadırlar. Dişlilerde en sık karşılaşılan hasar türleri şunlardır.

- a- Yüzey yorulma hasarları, b- Diş dibi kırılması,
c- Plastik deformasyon d- Aşınma
olarak dört bölüme ayrılabilir.

Dişlilerde meydana gelen hasarlardan eğilme, aşınma ve kırılma gibi hasarlar genellikle yorulma ve yağsız kalma gibi sebeplerden kaynaklanır. Ayrıca imalat sırasında meydana gelen ısı değişikliklerinden dolayı gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmeler sonucunda da zamanla dişlilerde bu tür hasarlar meydana gelebilir.

3.7.1.1 Yüzey yorulma hasarları

Diş yüzeyinde meydana gelen her türlü aşınma (karıncalanma, tabakalaşma) yüzey yorulma hasarlarının bir sonucudur (Aslantaş 2003). Yüzey yorulması, malzemenin dayanım sınırı üzerinde tekrarlı yüzey veya iç gerilmelerinin sonucunda oluşan bir hasar çeşididir ve zamana bağlı olarak gözlemlenen bir hasar çeşididir. Önceleri önemli bir hasar oluşumu olmamasına karşılık zamanla çok büyük çaplı hasarların oluşumuna neden olabilir.

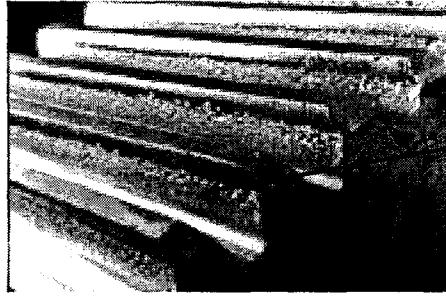
3.7.1.2 Karıncalanma “Pitting” oluşumu

Dişlilerde “pitting” oluşumu iki aşamada ele almak daha doğru olacaktır. Bunlardan biri başlangıç “pitting” oluşumu, diğeri de bozucu “pitting” oluşumu dur. Başlangıç “pitting” oluşumu yeni dişlilerin pürüzlü yüzeyinden kaynaklanan yerel yüksek gerilme alanları ile oluşur (Aslantaş 2003). Şekil 3,8’de helisel bir dişlide meydana gelen başlangıç “pitting” oluşumuna dair bir örnek verilmiştir.



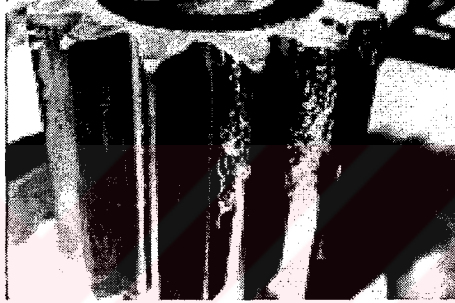
Şekil 3.8 Helisel Bir Dişlide Başlangıç “pitting” Oluşumu (Delange 2005)

Eğer başlangıç “pitting” oluşumu son bulmaz ise bozucu “pitting” oluşumu meydana gelir ve diş yüzeyi Şekil 3.9, Şekil 3.10’daki gibi olur.



Karncalanma
(pitting)

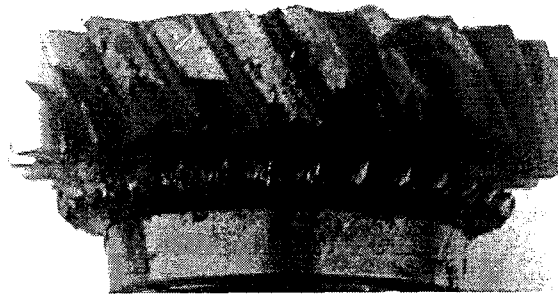
Şekil 3.9 Bir Düz Dişlide Bozucu “pitting” Oluşumu (DeLange 2005)



Şekil 3.10 Aşırı Karncalanma (DeLange 2005)

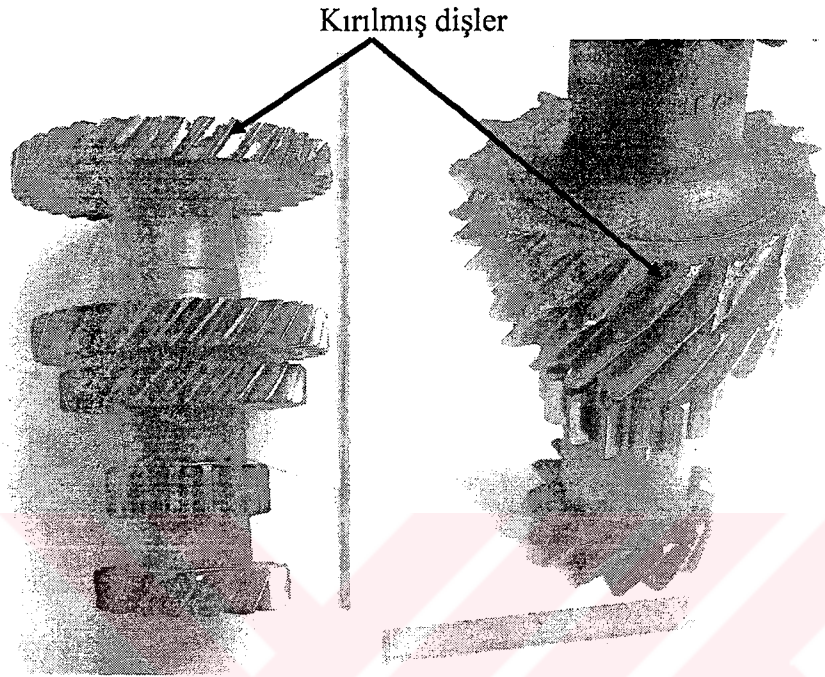
3.7.1.3 Diş kırılması

Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de görülen kırılma hasar türlerinin içerisinde en kötü olan bir hasar türüdür. Bunun nedeni kırılmayı önceden kestirmek ve kırılma öncesi hata oluşumuna dair herhangi bir belirti bulmak zordur. Bu hasar türü dişlinin çalışma ömrünü doğrudan etkilediği için kırılma meydana geldiğinde bir dişliden diğerine güç ve hareket iletimi söz konusu olmaz (Aslantaş 2003).



Şekil 3.11 Kırılmış Kamalı Mil Vites Dişlisi

Kırılma hasar türü; eğilme yorulmaları, aşırı yük, temas noktasındaki yorulmalardan kaynaklanabilmektedir (www.tribology.co.uk 2004).



Şekil 3.12 Vites Kutusu Grup Mili Dişlileri (Kırılmış 3. Vites Dişlisi)

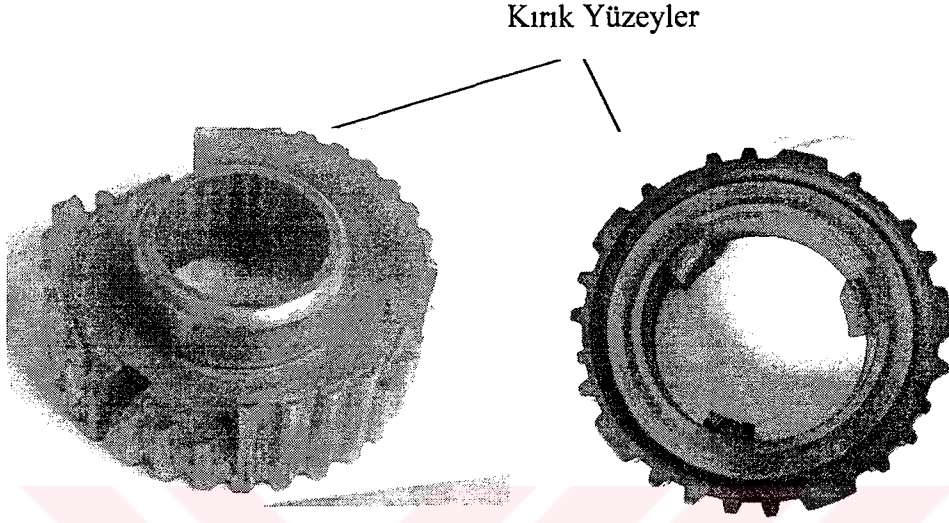
3.7.1.4 Dişlilerdeki Aşınma

Dişlilerde meydana gelen aşınma türleri genellikle çalışma şartlarına bağlı olarak değişir. Fakat temelde aşınma, temas eden iki diş yüzeyi arasında yağ filminin yetersiz veya hiç olmaması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yağ filminin yetersiz olması sonucunda iki diş yüzeyi arasında direkt temas meydana gelecek ve aşınma başlayacaktır. Diş yüzeyleri arasında yağ filmi kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü ve yağ içerisinde zamanla oluşan kalıntılar aşınmayı etkileyen en önemli faktörler arasında sayılabilir (Aslantaş 2003).

3.7.1.5 Senkromecin Aşınması ve Kırılması

Vites kutusunun yağsız kalması, uygun kullanılmaması, aşırı yüklemeler gibi durumlarda senkromeçler aşınır. Bunu sonucu olarakta araçta vites geçişlerde zorluklar yaşanır. Ayrıca vites kutusundan aşırı ses gibi sorunlar meydana gelebilmektedir. Devirsiz vites değiştirmeler, değişim sırasında debriyaja tam

basılmaması veya debriyajın görevini tam yapamaması yüzünden vites değişimi sırasında senkromeç mekanizmasında kırılmalar meydana gelebilir (şekil 3.13).



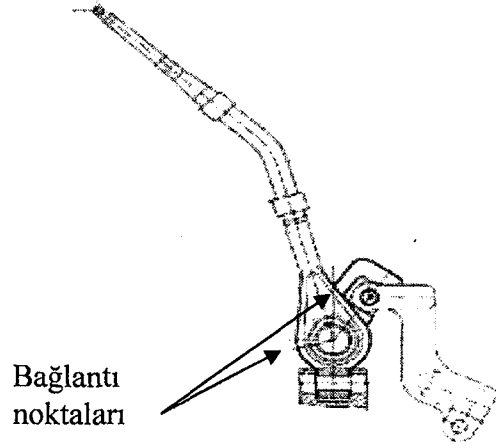
şekil 3.13 Farklı Taşıtlara Ait Kırılmış Senkromeç Mekanizmaları

3.7.1.6 Kurt Dişlilerinde Kırılmalar

Senkromeçlerin aşınması sonucunda vites geçişlerde manşon ile dişli birbirine çarpır. Bu çarpımlar sonucunda zamanla dişlilerde yorulmadan kaynaklanan kırılmalar meydana gelir. Bu hasar daha çok aracın vites geçişlerinde zorluklar vites kutusundan ses gelme gibi sebepler ortaya çıkarır.

3.7.1.7 Çubuk Bağlantılarında Tutukluk ve Yatakların Aşınması

şekil 3.14 görölen bağlantı noktalarının yetersiz yağlanması bağlantılardaki korozyon bakım ve ayarların zamanında yapılmaması nedeniyle tutukluklar ve aşınmalar meydana gelir.



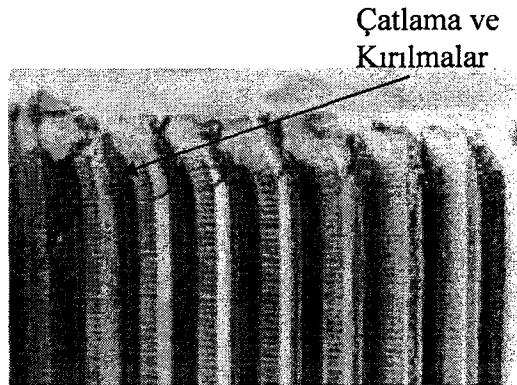
Şekil 3.14 Vites Çubuk Bağlantılarının Şematik Görünüşü

Hasarlar sonucunda araçta vitesten düşmeler, vites kolunda aşırı boşluk, vitese geçişlerde zorluklar gibi sorunlar ortaya çıkabilir.

3.8 Kardan Milinde Meydana Gelen Hasarlar

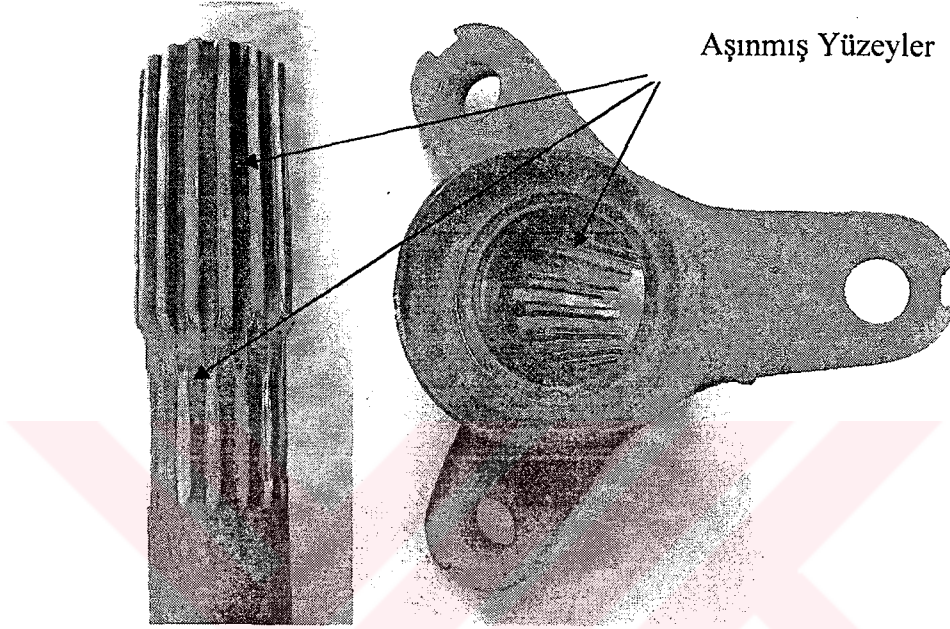
Kardan milleri buldukları konum itibariyle çok yüksek yükler altında çalışmaktadırlar. Genellikle gerilme, bükülme, burulma gibi bileşik yükler altında çalışırlar.

Şaftlarda meydana gelen hasarların başında aşınmalar gelmektedir. Aşınmanın sebebi ise bazı yabancı maddelerin yüzeyi kirletmesi sonucunda meydana gelen korozyondur (www.materialsengineer.com 2004).



Şekil 3.15 Burulma Sonucunda Şaftta Meydana Gelen Çatlama ve Kırılmalar (www.bearinc.com 2005)

Kayıcı mafsallar şaftların boy değişimini karşıladıkları için sürekli sürtünme halindedirler. Bu nedenle yağlı kalmak zorundadırlar. Yetersiz yağlama bakımsızlık nedeniyle aşınmalar meydana gelebilir. Şekil 3.16’de aşırı aşınmış kayıcı mafsalsal görülmektedir.



Şekil 3.16 Aşırı Aşınmış Şaft Kayıcı Mafsalı

Çalışma sırasında meydana gelen titreşimler sonunda yorulma meydana gelmektedir. Ayrıca vites kutusundan gelen dönme hareketi nedeniyle burulma momenti oluşur. Bu burulma momenti ve gerilmeler nedeniyle şaftta çatlamlar ve kırılmalar meydana gelir (Vogwell 1998).

Şaft'ta meydana gelen bazı gerilme noktaları; köşeler, kama yatakları, yivli noktalar, daralmış kesitler, hasara uğramış kaynaklı bölgeler, çentik noktaları ve korozyona uğramış bölgelerdir. Ayrıca tamirat ve bakım sırasında bağlantı noktalarının yanlış ayarlanması ve bağlanmaları sonucunda kardan milinde balanssızlık sonucunda milde deformasyon meydana gelmektedir. Şaftta meydana gelen titreşim sonucunda da hasarlar ortaya çıkabilmektedir. Yorulma sonucunda meydana gelmiş bir kardan mili mafsalsal Şekil 3.17’de görülmektedir.

Şaftta hasara neden olan diğer sebepler şunlardır:

1. Aşırı, ani yüklemeler
2. Korozyon
3. Yorulma ve çatlamlar

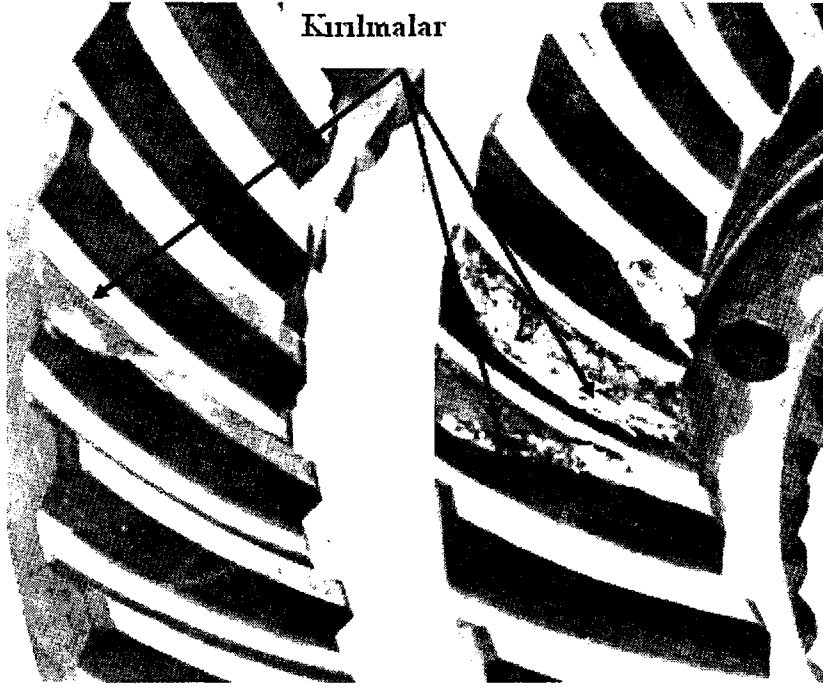


Şekil 3.17 Yorulma Sonucunda Meydana Gelen Kırılma

3.9 Diferansiyelde Meydana Gelen Arıza ve Hasarlar

3.9.1 Ayna Dişlisindeki Kırılmalar

Şekil 3.18'deki arıza dişli tasarımı hesaplanan dayanımın üstünde aşırı yüklere maruz kalmasından veya yanlış dişli ayarından meydana gelmektedir. Darbeli yükleme neticesinde birden fazla dişin veya tüm ayna dişinin kırılması da mümkündür.



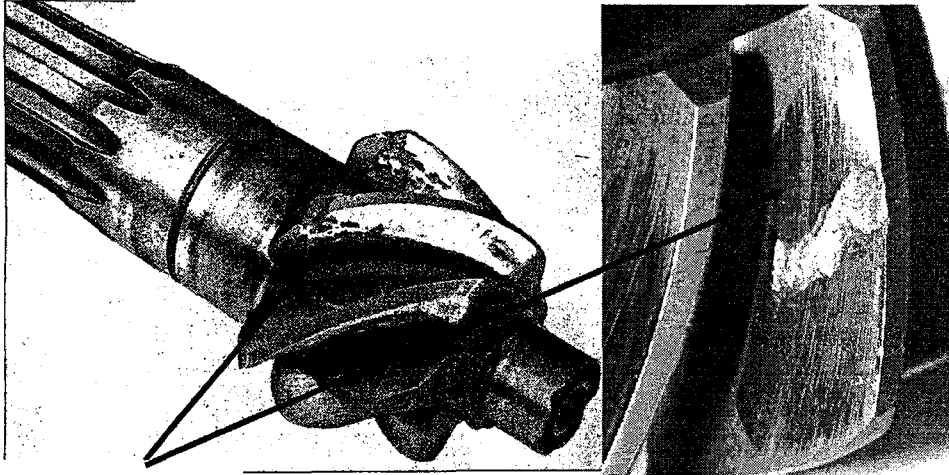
Şekil 3.18 Kırılmış Ayna Dişlisi

3.9.2 Sıyrılmış veya Çapaklanmış Ayna ve Mahruti Dişli

Yetersiz yağlama, yağın özelliğini kaybetmesi gibi çeşitli durumlarda nedeniyle dişliler arasındaki aşırı sürtünmeden dolayı yüksek sıcaklıklar metalin hasara görmesine neden olur. Bu tür arızaya aşınmış mahruti dişlileri de sebep olabilir. Aşınmış mahruti rulmanları mahrutinin hareketine müsaade edecek, dolayısıyla mahruti ile ayna dişli arasında yanlış dişli temasına da sebep olabilmektedir.

3.9.3 Karıncalanmış Mahruti Dişli

Şekil 3.19'de görülen hasar ağır şartlarda, anormal basınçlar altında çalışma sonucunda ayna mahruti dişlilerinin şeklen bozulması, dişlerde karıncalanma gibi hasarlar meydana gelebilmektedir. Dişliler arasındaki basıncın artması sebebiyle dişler arasındaki yağ filmi ortadan kalkar ve metal metale sürtme meydana gelir. Bu sebeplerden dolayı yüzeyde "pitting" oluşumu başlayabilir. Ayrıca aşırı yüklerde bu şekil bozuklukları mahrutinin ayna dişliye göre doğru pozisyonunu kaybetmesine, dolayısıyla temas alanlarının değişmesine sebep olmaktadır.



Karınçalanma

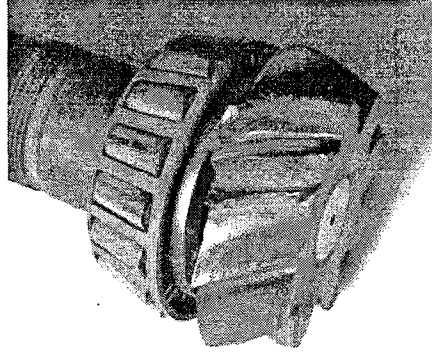
Şekil 3.19 Karınçalanmış Mahruti Dişli (Pitting) (DeLange 2005)

3.9.5 Mahruti Dişlilerinde Kırılma

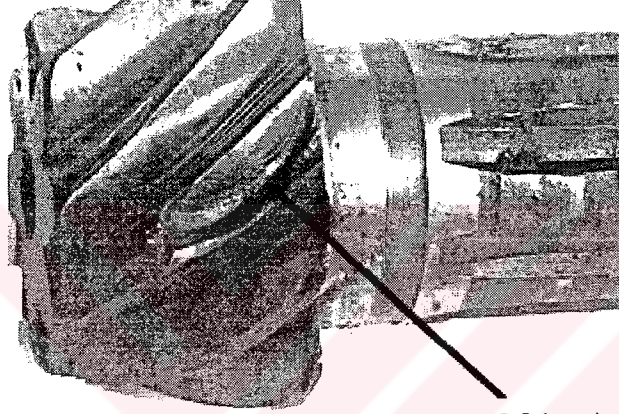
Mahruti dişlilerinde ki kırılmaların genellikle iki sebebi vardır. Birincisi yorulmadan kaynaklanan diğeri de darbeden kaynaklanan kırılmalardır. Bu iki kırılmayı kırık hattın şeklinden birbirinden ayırt edilebilir. Pürüzsüz ve dalgalı bir kırılma, yorulma nedeniyle meydana gelmiş demektir. Darbeden meydana gelen kırılma bu tür dalgalı hatları göstermeyecektir. Kırık alan taneli bir görünümde olacaktır (Şekil 3.20 - Şekil 3.21).

Anormal şartlarda ve yanlış çalıştırmanın sebep olduğu yüksek basınçlar bu tür hasarları oluşturmaktadır. Aracın çalışması anında zaman zaman ortaya çıkan aşırı basınçlar, diş yüzeylerinde çoğu kez çatlakların meydana gelmesine sebep olur. Bu çatlaklar basınçların başlangıç noktaları olup ileride yorulma çatlaklarını meydana getirir.

Aşınmış ve karınçalanmış dişlilerin bakımsız çalıştırılması da ileride yorulma çatlaklarına sebep olabilir. Dişlinin belli bir kısmı aşınmış veya karınçalanmış ise diğer kısımlar yüksek yüklere maruz kalacaktır. Böylece basınçların artmış olması yorulma olayını başlatır ve çatlaklara sebep olur.



Şekil 3.20 Mahruti Dişlide Meydana Gelen Yorulma Kırılması (www.materials.open.ac.uk 2005)



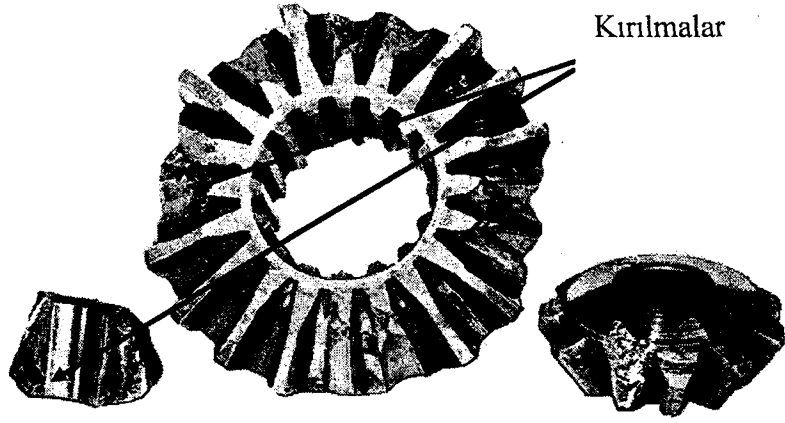
Mahruti dişlilerinde kırılma

Şekil 3.21 Yorulmadan Meydana Gelen Mahruti Dişlilerinde Kırılma

3.9.6 Aks ve İstavroz Dişlileri Ani Kırılmalar

Aks dişlilerinden biri üzerine, kendisini istavroz dişlilerinden ayırmaya zorlayıcı bir darbe yükü geldiğinde, eğer darbeden ortaya çıkan basınçlar dişlerin dayanımında yüksek ise, bu tür kırıklar meydana gelebilir.

Şekil 3.22’de Taşıtın hatalı çalışmasından dolayı meydana gelen ani kırılmaları görülmektedir.



Şekil 3.22 Ani Kırılmalar-Aks ve İstavroz Dişlileri (Hema 1993).

3.9.7 İstavroz Dişlilerinde ve İstavroz Millerinde Sıyırılma

Tekerlekteki eğrilik, yetersiz yağlama ve aşırı vuruntu gibi sebeplerin hepsi, birbiriyle çalışan dişler arasında yağ filminin kaybolmasına sebep olur.



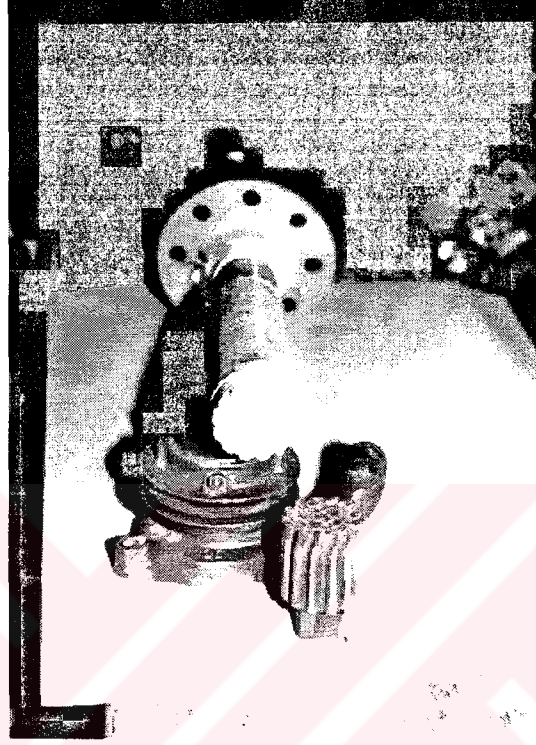
Şekil 3.23 İstavroz Dişlileri ve Milinde Sıyırılma(Hema 1993).

Şekil 3.23 de gösterildiği gibi yağın koruyucu etkisinin olmaması aşın ısınma ve sıyırılmalar meydana getirerek neticede tutukluk arızasına sebep olur (Makevet 2001).

3.9.8 Akslarda Meydana Gelen Kırılmalar

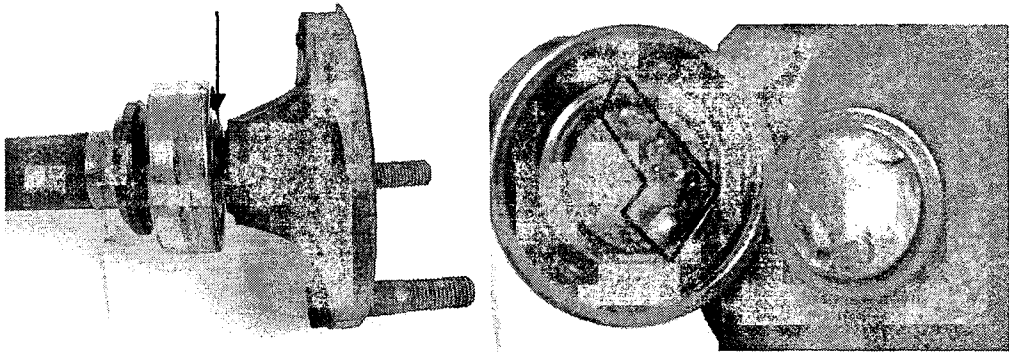
Aracın çalışması esnasında zaman zaman ortaya çıkan aşırı basınçlar, çoğu kez çatlakların meydana gelmesine sebep olur. Bu çatlaklar basınçların başlangıç

noktaları olup ileride yorulma çatlaklarını meydana getirebilir. Şekil 3.24'de görüldüğü gibi çatlakların ilerlemesi sonucunda da akslarda kırılmalar meydana gelebilmektedir (Nanawarea 2003).



Şekil 3.24 Akslarda Meydana Gelen Kırılmalar(Nanawarea 2003).

Kırılma Noktası



a

b

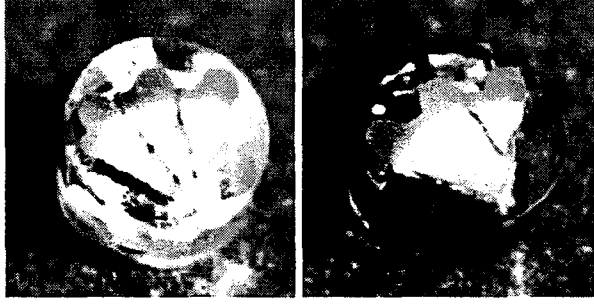
Şekil 3.25 Yorulma Nedeniyle Meydana Gelen Aks Kırılması

a. Komple Aks B: Kırık Yüzeyler

(Şekil 3.25 b deki kutucuktaki kalıntılar aksın taşıttan sökülebilmesi için yapılan kaynağın kalıntılarıdır).

3.9.9 Aks Dışısında Meydana Gelen Çatlamalar ve Kırılmalar

Taşıtı kullanım esnasında ortaya çıkan aşırı kuvvetler, titreşimler nedeniyle aks dişleri üzerinde çatlakların meydana gelmesine sebep olur. Bu çatlaklar üzerinde biriken gerilmeler nedeniyle çatlaklar ilerleyerek akslarda kırılmalar meydana gelir (Şekil 3.26) (Nanawarea 2003).



Şekil 3.26 Aks Dışısında Meydana Gelen Çatlamalar (Nanawarea 2003).

4. NÜMERİK MODELLEME VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Bu çalışmada Kardan mili mafsalının statik durumda gerilim analizleri incelenmiştir. Analizlerde ANSYS 7.1 programı kullanılmıştır. Kardan mili mafsalının üç boyutlu katı modeli çizilerek ANSYS'e aktarılmış ve sonlu elemanlar modeline dönüştürülmüştür.

Parçalar üzerine gelen kuvvetler etkisinde statik analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde üniversal mafsala etkiyen eşdeğer (Von Misses) gerilim değerleri bulunmuş ve değerlendirilmiştir.

4.1 Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar metodu çözümü çok zor olan mühendislik problemlerinin kolay bir şekilde çözümünü sağlayan nümerik bir metottur. Özellikle karmaşık olan problemlerin kolay ve kısa bir sürede çözülmesi bu metodu popüler kılmıştır. Sonlu elemanlar metodu karmaşık olan mühendislik problemlerini kendi içerisinde daha basit alt bölümlere ayırarak çözümü bu bölümler içerisinde gerçekleştirmektedir.

Sonlu eleman yöntemi ile karmaşık geometriye sahip çizimler modellendiği gibi diğer çözüm metotlarıyla çözülmesi imkansız olan problemler de rahatlıkla çözülebilmektedir.

Çeşitli metotlar kullanılarak yapılan çözümlerlerin hiçbirinde kesin bir çözüm elde etmek mümkün değildir. Kullanılacak metoda bağlı olarak yaklaşık bir çözüm elde edilmektedir. Sonlu elemanlar metodu çözülen problem hakkında yaklaşık bir çözüm önerir. Bu metotla eğer daha kesin sonuçlar elde etmek isteniyorsa tanımlanan düğüm noktaları ve elemanların sayılarını artırılması gerekir. Bu sayede çözümün doğruluğu artırmış olur. Fakat sonlu elemanlarda düğüm noktaları ve eleman sayılarının artırılması çözümün doğruluğu açısından önemli ise de çok sayıda düğüm ve eleman tanımlamak problem çözümünde uzun

zaman almaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme, modal, harmonik, akustik, termal gibi analizler kolayca yapılabilmektedir.

Sonlu elemanlar metodunda ilk olarak çözümü yapılacak olan bölge eleman olarak adlandırılan alt bölgelere ayrılır. İkincisi elemanlardaki sürekli fonksiyonlar cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanır. Üçüncü adımda ise aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olan denklemlerinin belirli düğüm noktalarındaki değerlerinin elde edilmesi problemi çözmek açısından yeterli olmasıdır (Topcu ve Taşgetiren 1998).

Sonlu elemanlar metodu ile birlikte özellikle bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi ve sonlu elemanlar tabanlı ANSYS, NASTRAN, FRANC gibi programların gelişmesiyle büyük modellerin bu yöntemle kısa bir sürede çok fazla düğüm ve eleman sayısı ile çözümleri gerçekleştirilmektedir. Bu sayede çok büyük makine parçalarının modellenmesi ve çözümü çok kısa bir sürede gerçekleştirilebilmektedir.

4.2 ANSYS Programı

ANSYS programı sonlu elemanlar metodunu kullanarak çok karmaşık sistemlerin analizinde yaygın olarak kullanılan bir programdır. ANSYS’de sonlu elemanlar tabanlı statik, dinamik, termal, elektromanyetik analizler rahatlıkla yapılabilmektedir. Aynı zamanda deneysel yöntemlerle mümkün olmayan analizlerin gerçekleştirilmesi ve modellenen elemanın çözümünde gerçekçi sonuçlar vermesi bu programı popüler kılmıştır. Karmaşık yapıli modellerde ise programın desteklediği .igs, .sat, gibi dosya uzantıları sayesinde AutoCAD, Solidworks gibi programlarda çizilen modeller ANSYS’e rahatlıkla aktarılabilir.

ANSYS paket programı sayesinde statik ve dinamik analizlerin yanında, lineer ve non-lineer analizler de yapılabilmektedir. ANSYS’de çok sayıda eleman tipinin olması iki ve üç boyutlu olmak üzere istenilen bütün modeller rahatlıkla oluşturabilmektedir. Oluşturulan bu modeller izotropik olarak tanımlanacağı gibi,

anizotropik olarak da tanımlanabilmektedir. Yapılan statik analizlerde gerilimler, şekil değiştirme ilişkileri ve deformasyon durumları rahatlıkla bulunabilmektedir. ANSYS’de gerilim analizi yaparken Von-Misses gibi bazı gerilim kriterlerini referans olarak hesap etmektedir. Hesaplamalarda sonlu elemanlar yöntemi kullanıldığı için ele alınan düğüm ve eleman sayısı çok önemlidir. ANSYS’de ele alınan modelin boyutuna bağlı olarak matris tanımlamaktadır. Bu matrisin boyutu çözüm açısından önemlidir.

ANSYS’de basit bir analiz yapmak için üç basamaklı bir yöntem uygulanır.

1. Model oluşturma; Analiz yapacağımız modeli oluşturarak eleman tiplerini, malzeme özelliklerini ve modeli mesh yaparak problemimizi sonlu elemanlar modeline dönüştürülür.
2. Sınır şartlarının uygulanması ve çözüm; Modeli oluşturulan sistemin sınır şartlarını belirlenir. Sisteme gelen kuvvetler uygulanarak analiz tipi seçilir ve çözümü gerçekleştirilir.
3. Sonuçların irdelenmesi; ANSYS’den çıkan sonuçları çok farklı boyutta ele alınabilir. Sonuçları eş dağılım olarak görebileceği gibi, grafiğe de dönüştürülebilir. Aynı zamanda sonuçları animasyon olarak da ele alınabilir.

4.3 Gerilme Analizinde Üç Boyutlu Problemler

Yapılacak olan analizlerdeki parçalar kompleks parçalar olduğu için üç boyutlu analizler tercih edilmiştir. Üç boyutlu gerilme analizinde dört düğümlü üçgen prizma eleman kullanılmıştır.

Üç boyutlu deplasman bileşenleri,

$$\{u\}=[u,v,w]^T \quad (4.1)$$

ile verilir. Burada $[D]$ 6x6 boyutlarında elastisite matrisidir. Gerilme ile şekil değiştirmeler arasındaki ilişkidir. Burada u , v ve w sırasıyla x , y ve z

doğrultularındaki bileşenleri göstermektedir. Gerilme ve şekil değiştirmeler ise.

$$\{\sigma\}=[\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{xz}, \tau_{xy}]^T \quad (4.2)$$

$$\{\varepsilon\}=[\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}, \gamma_{xy}]^T \quad (4.3)$$

$$\{\sigma\}=[D] \{\varepsilon\} \quad (4.4)$$

$$[D] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5-\nu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5-\nu \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

şekil değiştirmelerle yer değiştirmeler arasındaki ilişki ise.

$$\{\varepsilon\} = \left[\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}, \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right]^T \quad (4.6)$$

şeklindedir. Kütle ve yüzey kuvvet vektörleri üç bileşeni i olarak sırasıyla

$$\{f\}=[f_x, f_y, f_z]^T \quad (4.7)$$

$$\{T\}=[T_x, T_y, T_z]^T \quad (4.8)$$

şeklindedir.

4.4 Sonlu Eleman Formülasyonu

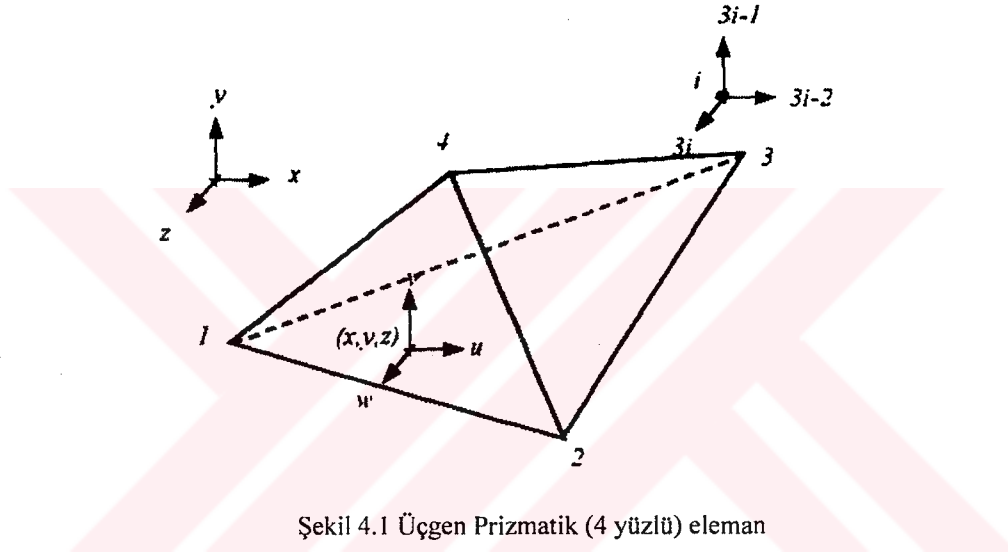
Tipik bir üçgen prizmatik eleman Şekil 4.1 'de verilmiştir Bu eleman 4 yüzlü eleman olarak da adlandırılır. Her düğümde üç adet serbestlik derecesi bulunmaktadır. Bu durumda eleman deplasman vektörü,

$$\{q\}=[q_1,q_2,q_3,q_4,q_5,q_6,q_7,q_8,q_9,q_{10},q_{11},q_{12}]^T \quad (4.9)$$

dir. i düğümüne ait deplasmanlar ise $3i-2$, $3i-1$ ve $3i$ olarak numaralandırılır. Genel deplasman vektörü ise, toplam serbestlik derecesi N olmak üzere.

$$\{Q\}=[Q_1,Q_2,\dots,Q_N]^T \quad (4.10)$$

şeklindedir.



Şekil 4.1 Üçgen Prizmatik (4 yüzlü) eleman

Eleman modellemesi için 4 adet Langrange tipi şekil fonksiyonu seçilir. Şekil fonksiyonlarının genel kuralı nedeniyle ilgili düğümde 1 diğer düğümlerde 0 değerini alması gerekmektedir. Şekil 4.1 de verilen temel eleman alınarak tanımlanan şekil fonksiyonları,

$$N_1= r, N_2= s, N_3= t, N_4= 1-r-s \quad (4.11)$$

olur. Herhangi bir noktadaki deplasmanlar şekil fonksiyonları yardımıyla

$$\{u\}=[N]\{q\} \quad (4.12)$$

olarak yazılır. Burada şekil fonksiyonları matrisi,

$$[N]= \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 & 0 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

şeklindedir. İzoparametrik gösterim nedeniyle şekil fonksiyonları aynı zamanda koordinat tanımlamasında da kullanılabilir.

$$x = N_1x_1 - N_2x_2 + N_3x_3 + N_4x_4 \quad (4.14)$$

$$y = N_1y_1 + N_2y_2 + N_3y_3 - N_4y_4 \quad (4.15)$$

$$z = N_1z_1 + N_2z_2 + N_3z_3 + N_4z_4 \quad (4.16)$$

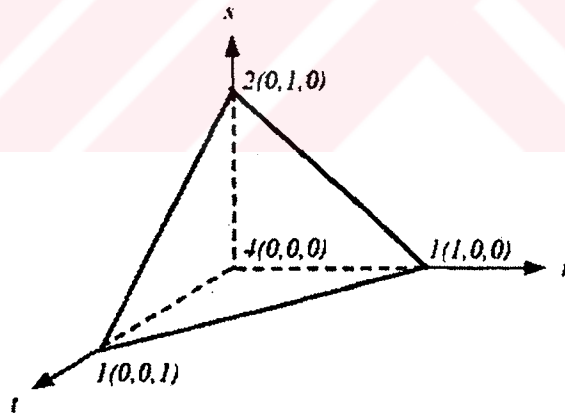
Buradan da $x_{iI} = X_I - X_J$ şeklindeki bir tanımlamayla

$$x = x_4 + x_{14}r + x_{24}s + x_{34}t \quad (4.17)$$

$$y = y_4 + y_{14}r + y_{24}s + y_{34}t \quad (4.18)$$

$$z = z_4 + z_{14}r + z_{24}s + z_{34}t \quad (4.19)$$

elde edilir. Kısmi türevler için zincir kuralı kullanılarak deplasman bileşeni için,



Şekil 4.2 Üçgen Prizmatik (4 yüzlü) temel eleman

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \\ \frac{\partial u}{\partial t} \end{Bmatrix} = [J] \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial z} \end{Bmatrix} \rightarrow [J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial r} & \frac{\partial z}{\partial r} \\ \frac{\partial x}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial s} & \frac{\partial z}{\partial s} \\ \frac{\partial x}{\partial t} & \frac{\partial y}{\partial t} & \frac{\partial z}{\partial t} \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

elde edilir. Öte yandan alınan türevler ile Jakobean matrisi

$$[J] = \begin{bmatrix} x_{14} & y_{14} & z_{14} \\ x_{24} & y_{24} & z_{24} \\ x_{34} & y_{34} & z_{34} \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

olur. Jakobean matrisin determinanı ise;

$$\det J = x_{14} (y_{24} z_{34} - y_{34} z_{24}) - x_{24} (y_{14} z_{34} - y_{34} z_{14}) + x_{34} (y_{14} z_{24} - y_{24} z_{14}) \quad (4.22)$$

olur. Elemanın hacmi,

$$V_e = \left| \int_0^1 \int_0^{1-r} \int_0^{1-r-s} \det J dr ds dt \right| = |\det J| \int_0^1 \int_0^{1-r} \int_0^{1-r-s} dr ds dt \quad (4.23)$$

dir. İntegrasyon formülü,

$$\int_0^1 \int_0^{1-r} \int_0^{1-r-s} r^m s^n t^k dr ds dt = \frac{m!+n!+k!}{(m+n+k+3)!} \quad (4.24)$$

olduğundan eleman hacmi,

$$V_e = \frac{1}{6} |\det J| \quad (4.25)$$

olarak elde edilir. $[A]=[J]^{-1}$ alınırsa,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial z} \end{Bmatrix} = [A] \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \\ \frac{\partial u}{\partial t} \end{Bmatrix} \quad (4.26)$$

olur. Burada

$$[A] = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} y_{24}z_{34} - z_{24}y_{34} & y_{34}z_{14} - z_{34}y_{14} & y_{14}z_{24} - z_{14}y_{24} \\ z_{24}x_{34} - x_{24}z_{34} & z_{34}x_{14} - x_{34}z_{14} & z_{14}x_{24} - x_{14}z_{24} \\ x_{24}y_{34} - y_{24}x_{34} & x_{34}y_{14} - y_{34}x_{14} & x_{14}y_{24} - y_{14}x_{24} \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

şeklindedir. Şekil değiştirme - yer değiştirme ilişkisi, türevler matrisini [B] ile göstermek suretiyle,

$$\{\varepsilon\}=[B] \{q\} \quad (4.27)$$

yazılabilir.

4.5 Eleman Rijitlik Matrisi ve Yük Vektörleri

Toplam potansiyel enerji ifadesinde eleman şekil değiştirme enerjisi terimi,

$$U_e \frac{1}{2} \int_{\Omega_e} \{\varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon\} dV = \frac{1}{2} \{q\}^T [B]^T [D] [B] \{q\} \int_{\Omega_e} dV = \frac{1}{2} \{q\}^T V_e [B]^T [D] [B] \{q\} \quad (4.28)$$

olarak yazılır. Buradan eleman rijitlik matrisi,

$$[k]_e = V_e [B]^T [D] [B] \quad (4.29)$$

olarak tanımlanır. Eleman hacmi *16 detj* olarak daha önce elde edilmiştir. Kütle kuvvetleri,

$$\int_{\Omega_e} \{u\}^T \{f\} dV = \{q\}^T \int_{\Omega_e} [N]^T \{f\} \det J dr ds dt = \{q\}^T \{f\}_e \quad (4.30)$$

dir. 12x1 boyutundaki yük vektörü

$$\{f\}_e = \frac{V_e}{4} [f_x, f_y, f_z, f_x, \dots, f_z]^T \quad (4.31)$$

olur. ve f_x olarak hesaplanan yük vektörü ağırlık kuvvetinin x bileşeni olup q_1, q_4, q_7 ve q_{10} serbestlik derecelerine eşit olarak dağıtılmış olmaktadır. Yüzey kuvvetleri ise, kuvvetlerin uygulandığı yüzey üzerinde hesaplanabilir. Örnek olarak 123 düğümlerinin oluşturduğu yüzey üzerine uygulanan kuvveti ele alalım. Yüzey bir üçgen olup alanı da A_e ise, yüzey yük vektörü

$$\int_{\Omega_e} \{u\}^T \{T\} dA = \{q\}^T \int_{A_e} [N]^T \{T\} dA = \{q\}^T \{T\}_e \quad (4.32)$$

olur. İntegrasyondan sonra

$$\{T\}_e = \frac{A_e}{3} [T_x, T_y, T_z, T_x, T_y, T_z, T_x, T_y, T_z, 0, 0, 0]^T \quad (4.33)$$

elde edilir. Tekil yükler ilgili serbestlik derecesine göre sistem yük vektörüne ilave edildikten sonra genel denklem oluşturularak sistemin sınır şartları altında deplasmanlar bulunur.

4.6 Gerilme Hesabı

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \text{ ve } \{\varepsilon\} = [B]\{q\} \quad \text{olduğundan gerilmeler doğrudan} \quad (4.34)$$

$$\{\sigma\} = [D][B]\{q\} \quad (4.35)$$

eşitliğinden bulunabilir. Üç boyutlu durumda asla gerilmelerin hesaplanması için (3x3) boyutlu olan gerilme tensörünün invaryantlarından yararlanılır. Gerilme tensörünün invaryantları,

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (4.36)$$

$$I_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_x\sigma_z - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{xy}^2 \quad (4.37)$$

$$I_3 = \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{yz}\tau_{xz}\tau_{xy} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{xz}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2 \quad (4.38)$$

şeklinde dir. Buradan

$$a = \frac{I_1^2}{3} - I_2, \quad b = -2\left(\frac{I_1}{3}\right)^3, \quad c = 2\sqrt{\frac{a}{3}}, \quad \theta = \frac{1}{3}a \cos\left(-\frac{3b}{ac}\right) \quad (4.39)$$

tanımlamasıyla asal gerilmeler

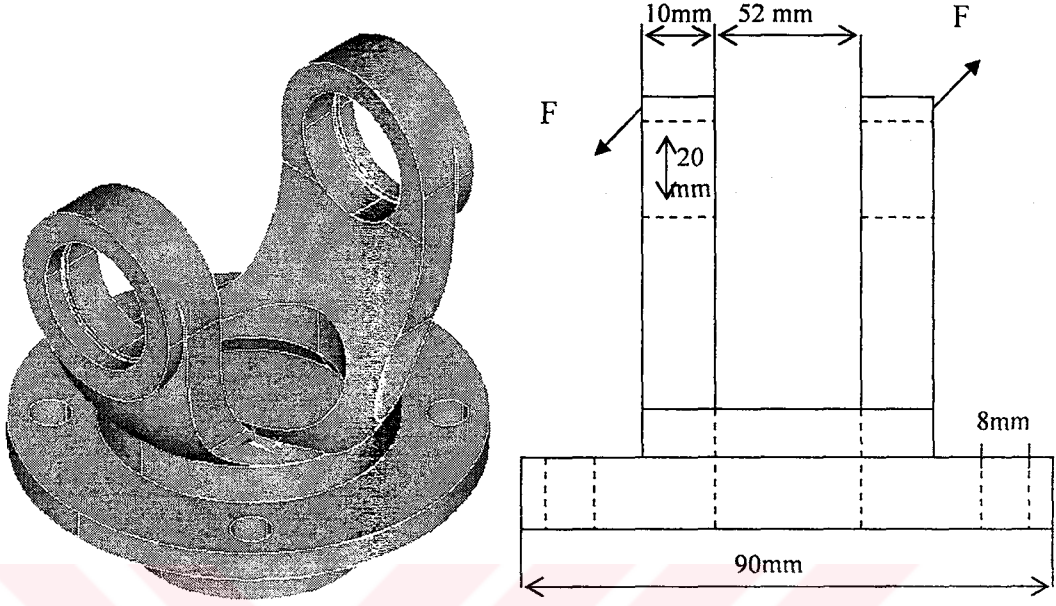
$$\sigma_1 = \frac{I_1}{3} + c \cos \theta, \quad \sigma_2 = \frac{I_1}{3} + c \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right), \quad \sigma_3 = \frac{I_1}{3} + c \cos\left(\theta + \frac{4\pi}{3}\right) \quad (4.40)$$

olarak bulunur.

4.6 Kardan Mili Mafsalının Modellenmesi

Kardan mili mafsalının modellenmesi için Solid Works programı kullanılmıştır. Çizim 3 boyutlu katı model olarak çizilmiştir. Şekil 5.2'de Solid works yardımıyla

çiziliş olan bir mafsalın katı modeli görülmektedir. Ansys programına alınabilmek için .igs uzantılı olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.3 Kardan Mili Mafsalının Katı Model ve Şematik Olarak Çizimi

4.7 Nümerik Modelleme

Modelleme için ANSYS 7.1/Mechanical modülü kullanılmıştır. Mafsalın geometrik model oluşturulduktan sonra malzemeye ait tespit edilen mekanik özellikler kullanılarak statik analiz yapılmıştır. Şekil 5.3’de görüleceği üzere yük iç bölgelere zıt yönlü basınç olarak uygulanmıştır.

4.8 Taşıtları Verileri ve Hesaplamaları

Basınç değeri için maksimum momenti, mafsalın yüzey alanı kriterleri tespit edilmiş ve Şekil 4.3’den alınan ölçüler ile basınç uygulanacak yüzey alanları hesaplanmıştır. 4.41 formülü kullanılarak motor momenti tespit edilip 4.42 formülünde yerine yazılarak F kuvveti hesaplanmıştır. F kuvveti 4.43 denkleminde yerine konulup yüzey alanına bölümünden mafsalın iç bölgesine gelen basınç yaklaşık 6 MPa olarak tespit edilmiştir.

Şaft mafsalinın kullanıldığı motorun verileri şunlardır;

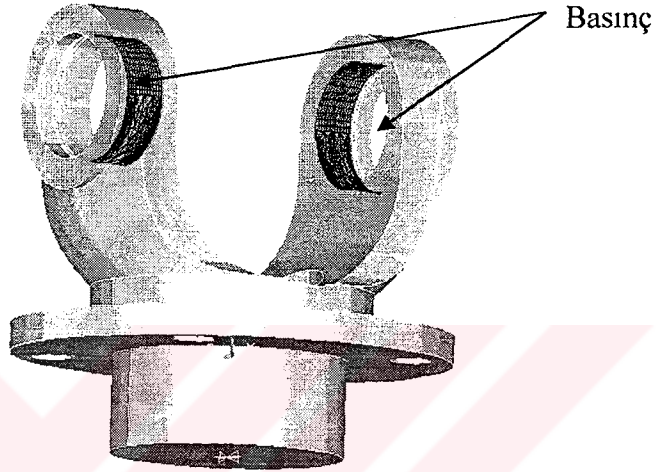
Motor Gücü (P): 55 KW

Motor Devri (n): 1500 d/dk

$$Mb=9550 P/n \quad (4.41)$$

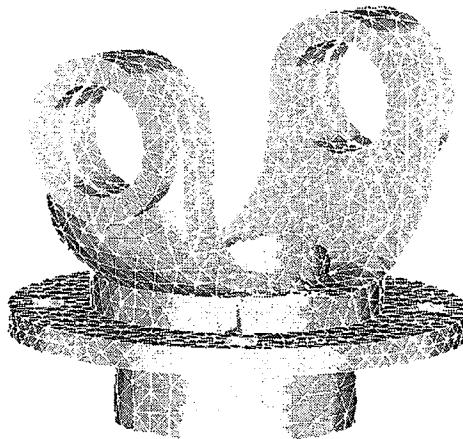
$$F= Mb/r \quad (4.42)$$

$$P= F/A \quad (4.43)$$



Şekil 4.4 Basınç Uygulanan Bölgeler

Problemin sonlu elemanlar ağının oluşturulmasında üç boyutlu SOLID 92 elemanlar kullanılmıştır. SOLID 92 eleman 10 düğümlü ve 30 serbestlik derecesine sahip tetrahedral bir elemandır. Sonlu eleman ağının oluşturulmasında Sonlu eleman modelinin oluşturulmasında kullanılan eleman sayısı 13575, düğüm sayısı ise 24201 dür. Şekil 5.4’de mesh yapısı görülmektedir.



Şekil 4.5 Kardan Mili Mafsalinın Mesh Yapılmış Modeli

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

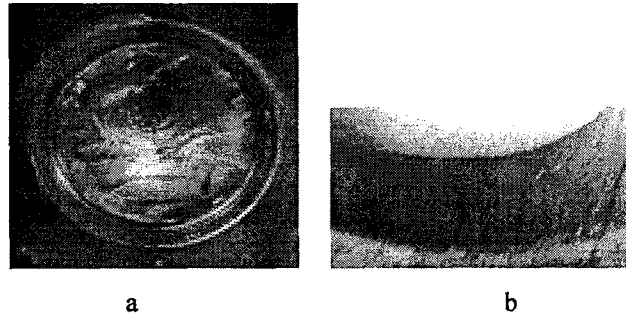
Bu çalışmada hasar görmüş parçaların (aks ve kardan mili mafsalı) kırılma sebepleri araştırılmış kırık yüzeylerin SEM fotoğrafları çekilmiştir. Yapım malzemesinin tespiti için metalografik numuneler hazırlanıp incelenmiştir. İncelemeler sonunda malzeme tayini yapıp nümerik incelemelerde kullanılacak değerler tespit edilmiştir.

5.1 Metalografik İnceleme

Kırılmış olan aks ve kardan mili mafsalında örnekler alınmıştır. Numuneler sırasıyla 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 numaralı zımpara kademelerinden geçirilerek son işlem olarak çuha üzerinde alümina-saf su solüsyonu dökülerek parlatılmıştır. Parlatma sonunda OLYMPUS marka optik mikroskop kullanılarak akstan 100µm, 200µm büyütmelerde dıştan içe doğru fotoğraflar alınmıştır. Kardan mili mafsalından ise 100µm, 200µm, 500µm büyültmeli içyapı fotoğrafları alınmış yapının incelemeleri yapılmıştır.

5.2 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) İncelemeleri

Aks'ın kırık yüzeyi sertleştirildiği için torna ile kesilmiştir. Kesilen parçanın üç ayrı yerinden SEM fotoğrafları alınmıştır. Yorulma çatlak izleri, hangi tür yüklere maruz kaldığı tespit edilmiş ve kırılma sebepleri araştırılmıştır. Kardan mili mafsalının kırık yüzeyi çok büyük olduğu için sadece bir bölümü el testeresi ile kesilerek SEM incelemesi yapılmıştır.



Şekil 5.1 İncelemesi Yapılan Kırık Yüzeyler
a- Aksın Kırık Yüzeyi b- Kardan Mili Mafsalının Kırık Yüzeyi

5.3 Sertlik Deneyi

Metalografik incelemeler sonunda aynı numuneler kullanılarak sertlik ölçümleri Wilson Hardness Tester marka sertlik ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Ölçümlerde aks için Rockwell C şaft mafsalı için ise Rockwell A birimi kullanılarak ölçümler yapılmıştır.



6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma nümerik analizler ve deneysel çalışmalar olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Ayrıca kardan mili mafsalı analizi için nümerik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Nümerik çalışmada kardan mili mafsalı sonlu elemanlar metodu ile gerilme analizi yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda hasarın tipini ve muhtemel gerçekleşme nedenlerini belirlemek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlar;

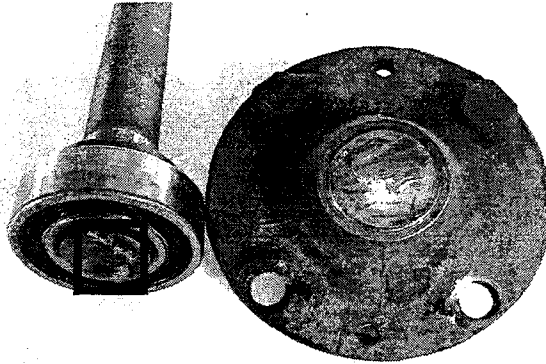
- Kardan mili mafsalının malzemesinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar kimyasal analiz
- Mikroyapının belirlenmesi için yapılan incelemeler
- Kırık yüzeyi ile ilgili SEM çalışmaları

olarak sıralanabilir.

6.1 Aks Analizleri

Aks milleri taşıt hareketi süresince çalışan parçalardandır. Bu nedenle sürekli üzerinde değişken yüklere maruz kalmaktadırlar. Akslar hem burulmaya hemde eğilme gerilmelerine maruz kalırlar. Bu nedenle taşıtın en fazla yorulan parçalarındandır. Kırılma sonucunda yorulma izleri üç bölgede yorulma izlerine rastlanmıştır.

Aks yerine sıkı geçen bir parçadır. Şekil 6.1'de beyaz çizgi içersinde bulunan noktalar sıkı geçme yüzünden aksın sökülmesi sırasında yapılan kaynak kalıntılarının izleridir.



Şekil 6.1 Aksın Kırık Yüzeyleri

6.1.1 Kimyasal Analiz

Kırılan aksın bir bölgesinden alınan parça üzerinde yapılan kimyasal analizi spektrometre test cihazıyla yapılmıştır. Yapılan spektro test sonuçları Tablo 6.1’de görülmektedir. Burada malzeme bileşimine bağlı olarak kullanılan malzemenin 94B30H çeliği olduğu tespit edilmiştir. Tablo 6.2 de 94B30H çeliğine ait kimyasal bilgiler görülmektedir. 94B30H çeliği alaşımlı çelikler grubundan borlu çeliklerdendir.

Bor çelikleri Sementasyon ve Islah kalitesindeki bazı çeliklerin bünyesine çok düşük oranlarda Bor ilave edilerek üretilen çeliklerdir. Bor elementi Islah çeliklerinde su verme sertliğinin derinlere erişmesinde, sementasyon çeliklerinde ise merkez kısımlarının dayanımının artmasında rol oynamaktadır. Sementasyon çelikleri çoğunlukla dişli imalatında kullanılmaktadır. Islah çelikleri ise alaşımlı ve alaşımsız olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Islah çeliklerinin alaşımlı olanları otomobillerin mil, şaft, krank gibi parçaların imalinde kullanılır (www.akcelik.com.tr 2005).

Oto endüstrisinde 40XX ve 41XX serilerinin düşük alaşımlı çelikleri karbürleme sınıfları olarak kullanılmaktadır. Bu çelikler çoğunlukla olarak oto arka aks ve dişlilerinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda Cr ile birlikte kullanılan Ni miktarının artması çeliklerin sertleşebilirlik, darbe ve yorulma direncine sahip çelikler oluşturulur (Smith 2000).

Tablo 6.1 Aksın Kimyasal Analizi

Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	B	S	P
98,21	0,32	0,20	0,81	0,31	0,14	0,059	< 0,0005	0,022	< 0,0027

Tablo 6.2 94B30H Çeliğinin Kimyasal Özellikleri (ASM Handbook)

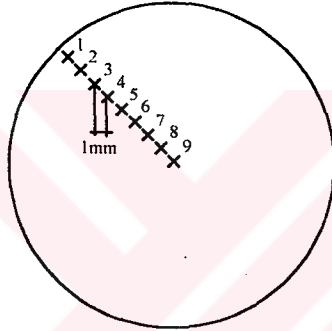
Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	B	P (Max)	S (Max)
97,7- 98,49	0,27- 0,33	0,15- 0,30	0,70- 1,05	0,25- 0,55	0,25- 0,65	0,08- 0,15	0,0005- 0,003	0,035	0,040

6.1.2 Sertlik Analizleri

Aksın sertlik analizi Rockwell test metodu ile yapılmıştır. Sertlik sonuçlarına göre aksın dış yüzeylerinde indüksiyonla sertleştirme yapıldığı belirlenmiştir. 94B30 çeliğine ait malzemenin fiziksel nitelikleri Tablo 6.3’de 94B30’a ait özellikler, Şekil 6.2’de sertlik ölçüm değer ve yerleri verilmiştir.

Tablo 6.3 Malzemenin Mekanik Özellikleri (AISI 94B30H) (www.efunda.com)

Kopma Sınırı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)	Elastisite Modülü(GPa)	Yoğunluk (Kg/m ³)	Poisson Oranı
1724	1551	190-210	7850	0,2-0,30



1. 50
2. 49,9
3. 44,4
4. 30,4
5. 22,6
6. 16,6
7. 14,4
8. 11,9
9. 13,1

Şekil 6.2 Ölçülen Sertlik Değerleri (HRC)

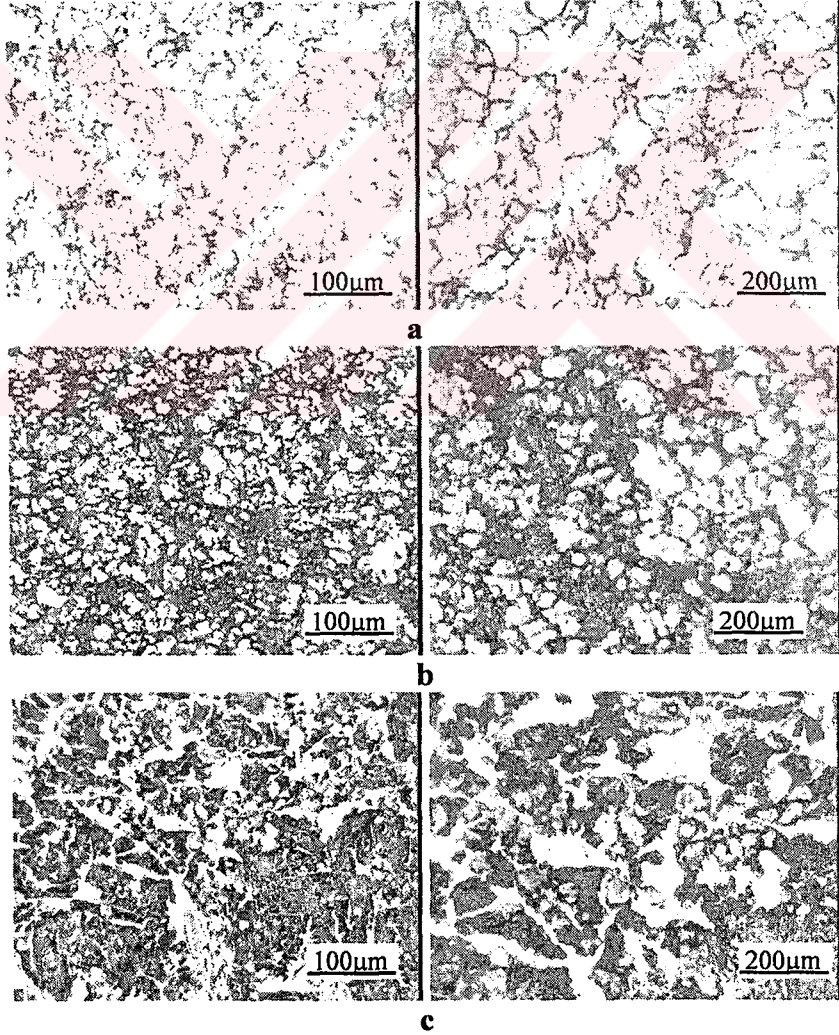
6.1.3 Metalografik Analiz

Aks üretimi sırasında parçalar dış yüzeyleri indüksiyon ile yüksek sıcaklığa kadar (yaklaşık 900°C) ısıtılır ve püskürtülen su ile hızlı bir şekilde soğutulup sertleştirme sağlanır. Bu sertleştirme işleminin ardında temperleme yapılarak gerilmeler azaltılır. Bu işlem sırasında yüzeydeki C nin azalması yani dekarbürizasyon oldukça sık görülen bir olaydır.

Şekil 6.3 a da görülen mikro yapı parçanın dış yüzeyinden alınmıştır. Tane sınırlarının çok belirgin olması ve tane iç yapısının karmaşık olması bu yapının C bakımından fakir olduğunu göstermektedir. Yapı poligonal (eşkenar) ferritten oluşmakta ve yer yer kaba tanelerinin yanında ince tane oluşumu tane iyileşmesinin olduğunu yani yüksek sıcaklı işlemi göstermektedir. Bu durum ayrıca C ‘nin azalmasına sebep olur.

Şekil 6.3 b de görülen mikro yapı resimleri incelenen aksın iç bölgesinden alınmıştır. Ferrit ve koyu renkli görülen kısmı (martenzit) mikroyapı oluşturmaktadır. Temperleme etkisi ile martenzitik mikro yapının gerilimi alınır ancak mortolojisi keskin yapıdan daha homojen yapıya dönüşür. Tane incelmesi hızlı soğumanın getirdiği bir etkidir. Şekil 6.3 a ya göre ince tane yapısı düşük sıcaklıkta işlem gördüğü için korunur.

Şekil 6.3 c de ise tam orta kısmından alınmış mikro yapılar görülmektedir. Yapı ferrit + perlitten oluşmaktadır. Tane sınırlarına yerleşmiş olan ferrit uygulanan sıcaklık etkisiyle büyüme eğiliminde olup ancak C doğal difüzyonu perlit yapısının dejenere olmasını sağlayacak kadar hızlı değildir.



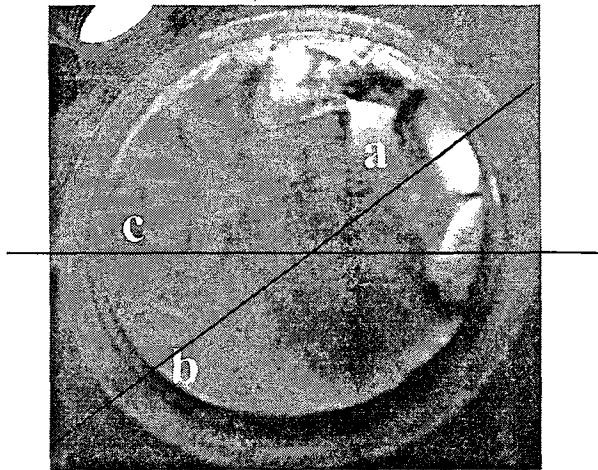
Şekil 6.3 Aksın İç Yapısı (a: Dış Kenar Kısım b: Geçiş Bölgesi c: Orta Kısım)

6.1.4. SEM İncelemeleri

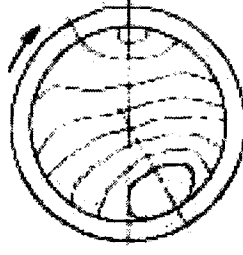
Aksın kırık yüzey incelemelerinde SEM mikroskobu kullanılmıştır. Analizi yapılan numunenin 3 ayrı bölgesinden SEM fotoğrafları alınmış ve incelenmiştir. Bu bölgeler Şekil 6.4'te görülmektedir. Her bölgede yorulma çizgileri görülmektedir. Çentik dibinde bulunan herhangi bir kusur nedeniyle oluşan çatlak başlangıcı Şekil 6.4, c bölgesinin uç kısmı olduğu tespit edilmiştir. Çatlak giderek ilerlemiş belirli süre sonunda zıt yönlü aksenal gerilme ve hafif çentik etkisi nedeniyle karşı taraftan da çatlak başlamıştır (Şekil 6.4 a numaralı bölge). Yorulma çatlaklarının ilerlemesi sonucunda kesit daralmış ve en sonunda taşıdığı kuvvete dayanamayarak a bölgesinin hemen önünden zoraki kırılma meydana gelmiştir.

Eğme gerilmesine maruz kalmış dönen bir mildeki yorulma çizgileri Şekil 6.5'de görülmektedir. Şekle bakıldığında yorulma çizgileri iki ekseninde oluşmaktadır. Bu tür yorulmalar düşük nominal gerilmeli, orta şiddette gerilme konsantrasyonu altında çalışan millerde meydana gelmektedir (ASM Handbook).

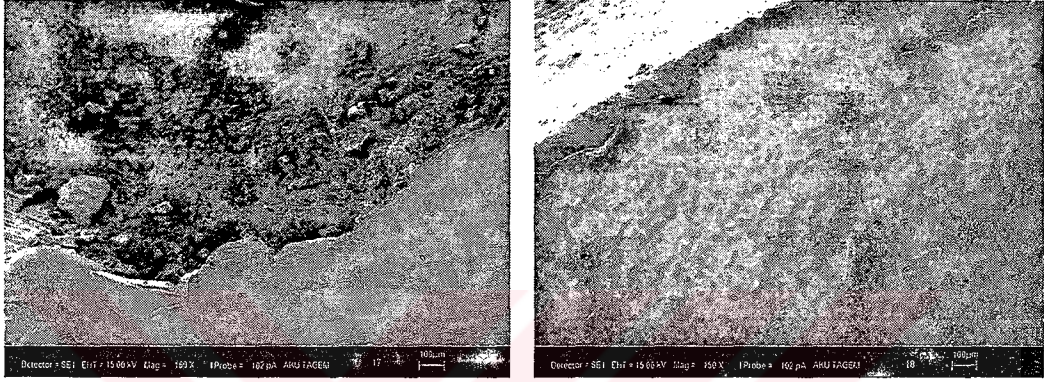
Şekil 6.6 de a. bölgesinden çekilen SEM fotoğrafları, Şekil 6.7'da b. ve c bölgesinden çekilen SEM fotoğrafları görülmektedir.



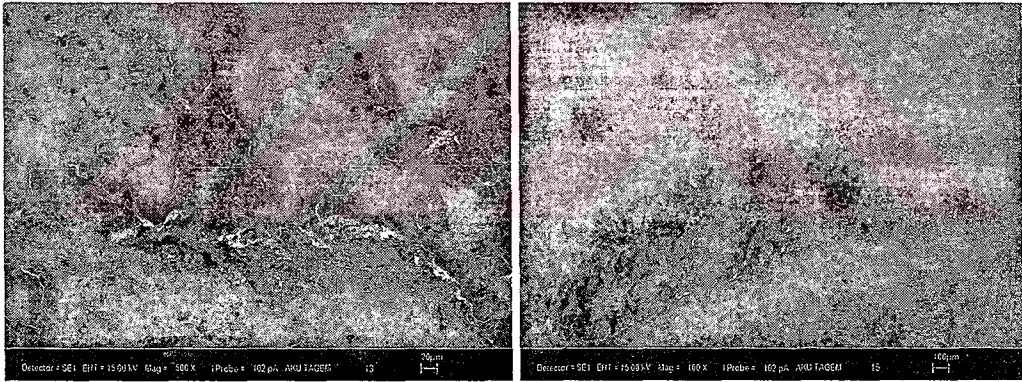
Şekil 6.4 Aksın SEM Analizi Yapılan Bölgeler



Şekil 6.5 Yorulma Çizgileri (ASM Handbook)



Şekil 6.6 a. Bölgesinden Çekilen SEM Fotoğrafları



b. Bölgesinden Çekilen Fotoğraf

c. Bölgesinden Çekilen Fotoğraf

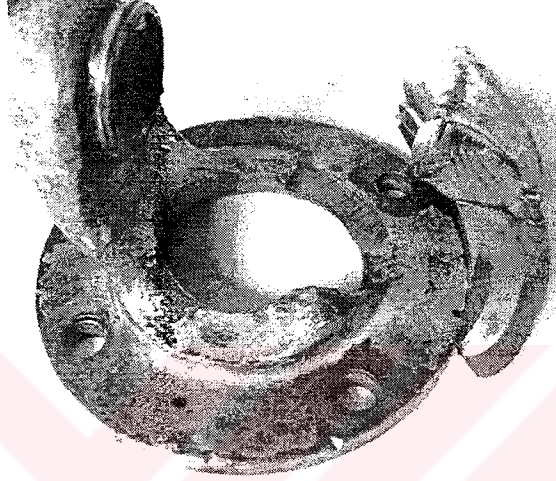
Şekil 6.7 b-c. Bölgelerden Çekilen SEM Fotoğrafları

6.1.5 Sonuç

Aksın kırılmasının sebebi malzemelerdeki (Molibden krom ile birlikte kullanıldığı zaman çeliğin çekme ve akma dayanımını artırmaktadır) kusurlardan ve kırılma bölgesinin incelenmesi sonucunda çentik etkisinden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

6.2 Kardan Mili Mafsallının Analizleri

Taşıtlarda Kardan mili mafsalları sürekli burulmaya maruz kalan parçalardır. Bu nedenle mafsallarda aşırı yükleme, malzeme vb. kusurlarından dolayı çatlama ve kırılmalar meydana gelebilmektedir. Şekil 6.8’de kırılan kardan mili mafsalı görülmektedir.



Şekil 6.8 Kırılan Kardan Mili Mafsalı

6.2.1 Kimyasal Analiz

Kırılan kardan mili mafsallının herhangi bir bölgesinden alınan parça üzerinde yapılan kimyasal analizi spektrometre test cihazıyla yapılmıştır. Yapılan spektrometre test sonuçları Tablo 6.5’de görülmektedir. Burada malzeme bileşimine bağlı olarak kullanılan malzemenin 5046H çeliği olduğu tespit edilmiştir. Tablo 6.5 de 5046H çeliğine ait kimyasal bilgiler görülmektedir.

5046H çeliği düşük alaşımlı ve orta karbonlu çelikler sınıfına girmektedir. Bu tür çelikler orta derecede dayanım gerektiren mil, dişli yapımında kullanılmakla beraber şaft ve mafsall imalarında daha çok 41XX ve 86XX serili olan çelikler kullanılmaktadır (MKE 1978).

Tablo 6.4 Kardan Mili Mafsalı Spektro Analiz Sonuçları

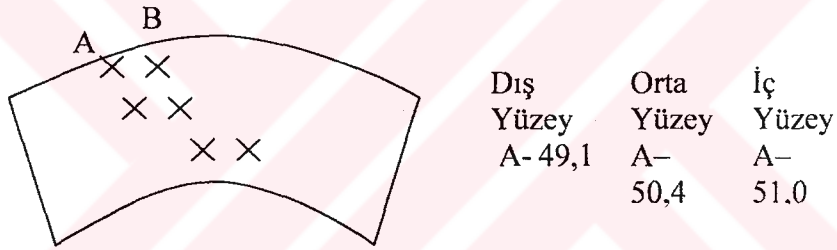
Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P
97,91	0,50	0,18	0,92	0,34	0,044	0,035	<0,0027

Tablo 6.5 AISI 5046H Çeliğinin Kimyasal Özellikleri (www.matweb.com 2005)

Fe (Min)	C	Si	Mn	Cr	Mo	S(Max)	P (Max)
98,00	0.44 - 0.5	0.23	0.88	0.28	-	0.04	0.035

6.2.2 Sertlik Analizi (HRA)

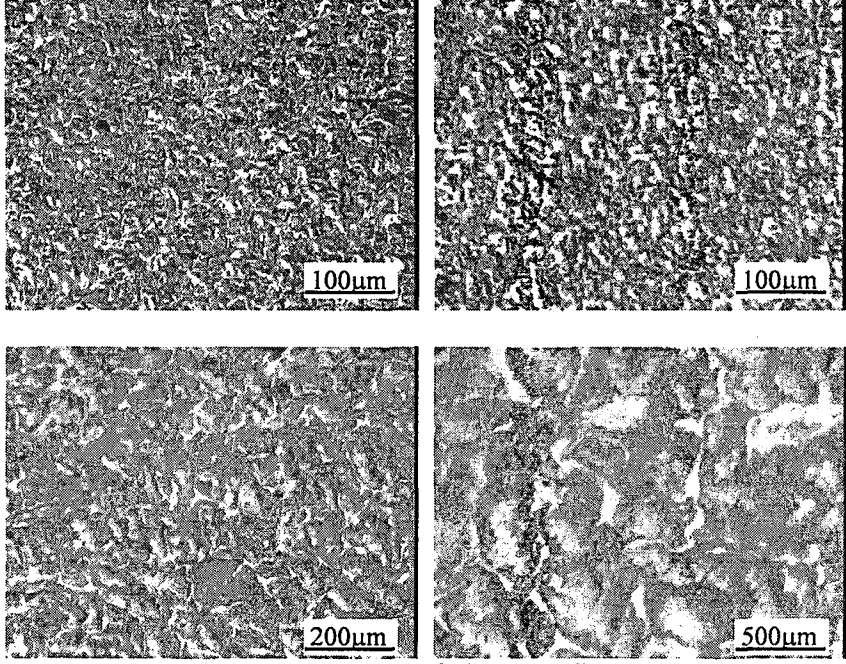
Kardan mili mafsalının sertlik analizleri Rockwel A cinsinden ölçülmüştür. Ölçümler üç bölgeden ikişer adet olmak üzere altı sertlik değeri alınmış olup ortalama olarak 50,18 HRA olarak bulunmuştur. Şekil 6.9 de kardan mili mafsalının bir parçasından alınan sertlik değerleri görülmektedir.



Şekil 6.9 Sertlik Ölçümü Yapılan Mafsalın Şekli ve Bulunan Değerler

6.2.3 Metalografik Analiz

Mikroyapı resimleri dikkate alındığında perlit + sementit yapı açıkça görülmektedir. Parçanın üretimi sırasında tokluğun korunması için malzeme sertleştirme işlemine tabi tutulmamış olabilir. Havada soğumanın etkisiyle perlit yapısı incelmış ve perlit çevreleyen ferrit açıkça görülmektedir. Yavaş soğuma neticesinde austenitten perlit + ferrite dönüşmüştür. Şekil 6.10 da mikro yapılar görülmektedir.



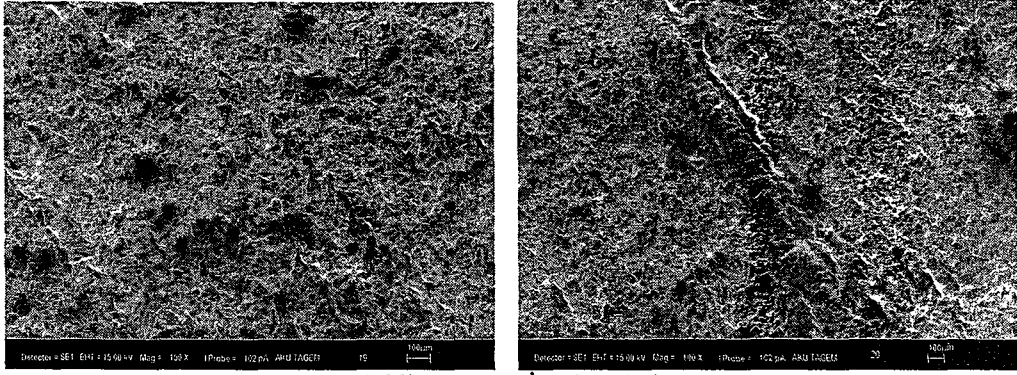
Şekil 6.10 Kardan Mili Mafsalına Ait Mikro Yapılar

6.2.4 SEM Analizi

Kardan mili mafsalının kırık yüzey incelemelerinde çentik etkisinden dolayı iki yönlü yorulma çizgileri görülmüştür. Yorulma çatlakları eksen boyunca ilerlemiş ve daha sonra yüke dayanamayarak mafsal kırılmıştır. Zoraki kırılma bölgesi Şekil 6.11 da a-bölgesi içerisinde görülmektedir. Kırık yüzeyin tamamı SEM mikroskobuna konulamayacağı için yüzeyin fotoğraflarının sadece bir bölümü alınmıştır. SEM fotoğrafları için seçilen bölüm Şekil 6.11 da görülmektedir. Şekil 6.12 de ise SEM fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 6.11 SEM Fotoğrafları İçin Kesilen Bölüm



Şekil 6.12 SEM İncelemeleri

6.2.5 Sonuç

Yapılan araştırmalar sonucunda kardan mili mafsalsal yapımında genellikle 4140–4150 veya 8640–8650 çelikleri kullanılmaktadır. Yalnız spektrometrede yapılan analizler sonucunda en yakın malzeme olarak 5046H çeliği olarak tespit edilmiştir. 41XX ve 86XX serili olan çeliklerle 5046H çeliği arasında kimyasal bileşim olarak en fazla fark krom ve molibden arasında görülmektedir.

Kırık yüzey incelemesi sonucunda zoraki kırılma bölgesi yorulma bölgesine oranla daha küçük olduğu için aşırı gerilmelere mazur kalmadığı söylenebilir. Bu incelemelerde çift taraflı yorulma izleri görülmüştür. Zıt yönlü yorulma izleri aksenal yüklerle çalışan ve hafif çentik etkisi bulunan parçalarda meydana gelmektedir.

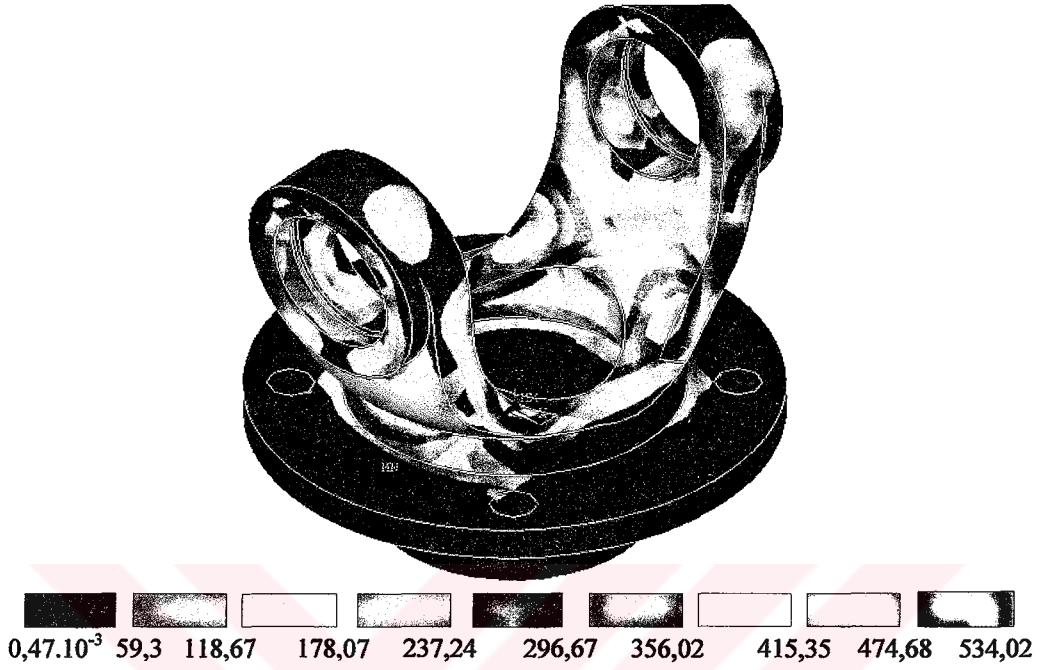
6.3 Nümerik Analiz Sonuçları

Geometrik modeli oluşturulan mafsalsalın mekanik özellikleri kullanılarak statik analiz yapılmıştır. Gerilme kriterleri olarak Von Misses gerilmeleri kullanılmıştır. Analizler sonucunda maksimum gerilmelerin mafsalsalın kollarında meydana geldiği görülmüştür. Kardan mili mafsalsalın malzemesi çelik olduğu için kriterleri genel olarak alınmıştır. Seçilen kriterler Tablo 6.6 da görülmektedir.

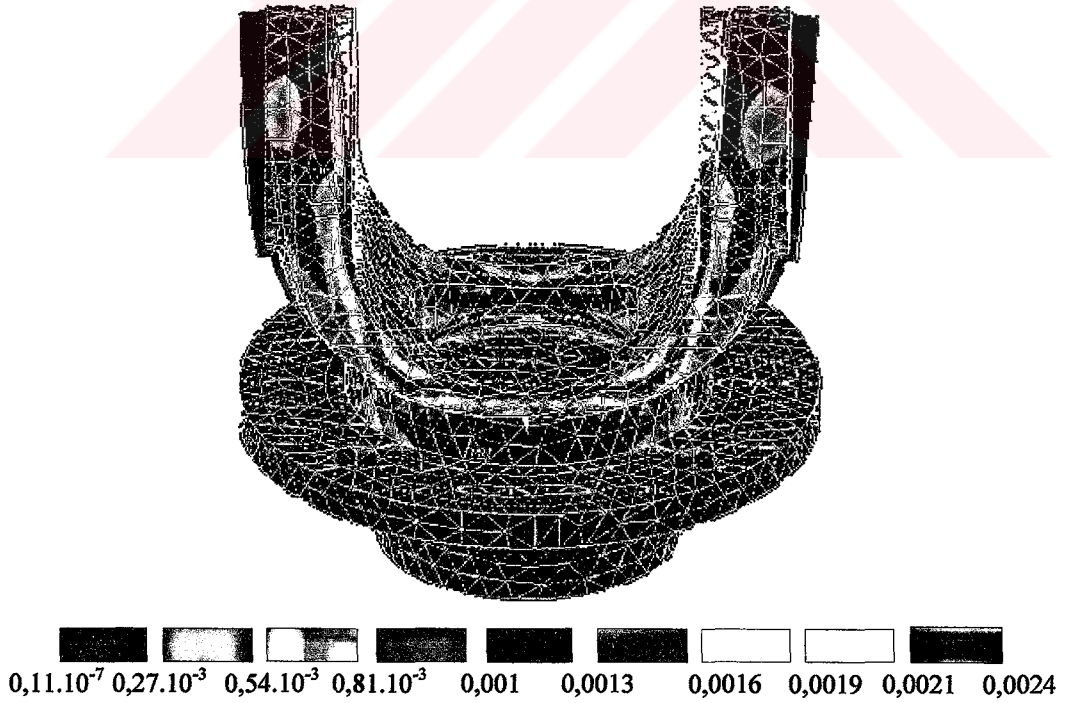
Tablo 6.6 Malzemenin Mekanik Özellikleri

Elastisite Modülü (GPa)	Yoğunluk (kg/m ³)	Poisson oranı
210	7850	0,33

Analizlerde devir olarak 50 rad/sn olarak seçilmiştir. Von-misses gerilmeleri Şekil 6.13'de görülmektedir.

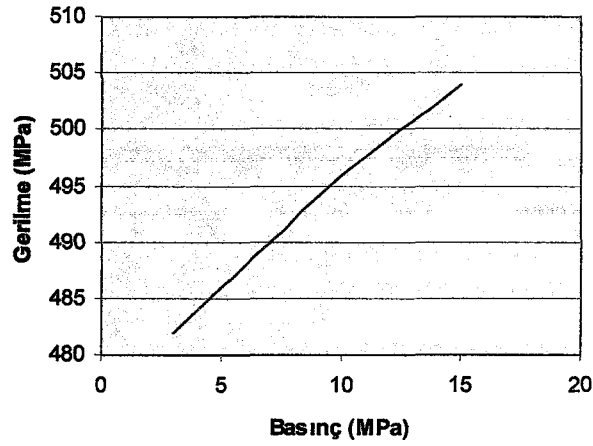


Şekil 6.13 Von-Misses Gerilmeleri (P=15 MPa)



Şekil 6.14 Şekil Değişirmeler (P=15 MPa)

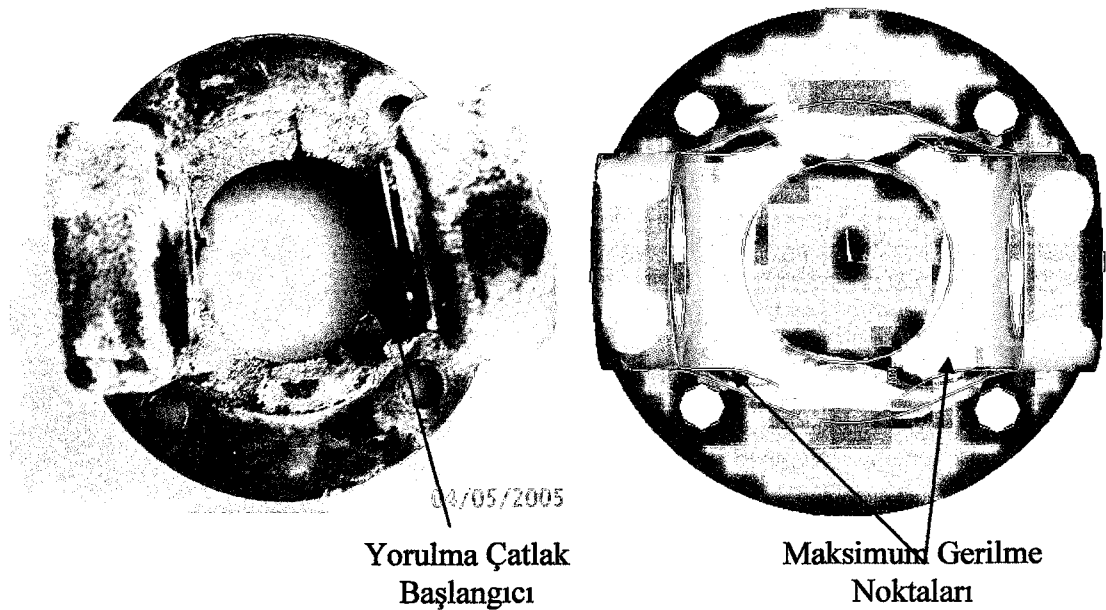
Devir sabit tutularak mafsalin iç bölgesine gelen basınç kuvveti değiştirilerek gerilmelerdeki değişim tespit edilmiştir. Sırasıyla iç basınçlar 15-10-7-5-3 MPa olarak değiştirilmiş ve gerilme değerleri ile Şekil 6.15 deki grafik elde edilmiştir.



Şekil6.15 Gerilme Değerleri (Von-Misses)

6.3.1 Analiz Sonuçları ve Karşılaştırılması

Analizler sonucunda maksimum gerilmeler kırılan parçanın yorulma başlangıcıyla aynı bölgede meydana geldiği tespit edilmiştir. Dönme sonucunda mafsala etkileyen merkezkaç kuvveti nedeniyle kollar dışarı doğru açılmaya çalışmakta ve bu nedenle gerilmeler kolların altında meydana gelmektedir. Şekil 6.16 de analiz sonucu ile kırılan parça görülmektedir.



Şekil 6.16 Analiz Sonucu İle Kırılan Parçanın Karşılaştırılması

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Güç aktarma organları çok güç şartlarda çalıştıklarından dolayı hasarlara maruz kalmaktadırlar. Taşıtların güç aktarma organlarında kullanılan parçalar çok çeşitli olmakla beraber karşılaşılan hasar tipleri genellikle paralellik göstermektedir. Yapılan araştırmalarda dişlilerde karşılaşılan hasarların birçoğu aşırı yüklenme imalatındaki kusurlar eksik ve zamansız bakımlardan kaynaklanmaktadır.

Yapılan çalışmada örnek olarak inceleme olarak yapılmış olan aksın analizlerinde malzeme kusuru ön plana çıkmaktadır. Malzemenin imalatı esnasındaki bazı maddelerin eksik olmasından dolayı dayanımı azalmış ayrıca çentik etkisi sonucunda yorulma çatlakları oluşmuş ve belirli bir kullanım sonunda kırılmıştır.

Kardan mili mafsalı analizlerinde ise aksta olduğu gibi uygun olmayan malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin dayanımı düşük olduğu için üzerine gelen gerilmelere dayanamayarak ilk önce yorulma çatlakları oluşmuş daha sonra çatlak ilerleyerek kırılma meydana gelmiştir. Kırık yüzey incelemeleri sonucunda küçük çentik etkisi görülmüştür.

Nümerik analizler sonucunda kardan mili mafsalındaki maksimum gerilmelerin meydana geldiği noktalar tespit edilmiş buna göre kırılma meydana gelebilecek yerler belirlenmiştir. Kırık parça ile karşılaştırma yapılmış ve maksimum gerilmelerin yorulma çatlaklarının başlangıç noktasında meydana geldiği gözlenmiştir. Yapılan gerilme analizlerinde Von-Misses akma kriteri kullanılmıştır.

Değişik tipteki analiz programları kullanılarak (ANSYS, NASTRAN, FRANC vb.) taşıtların güç aktarma organları parçaları modellenerek farklı durumdaki (gerilme analizi, termal analiz vb.) analizleri yapılarak hasar oluşabilecek noktalar önceden tahmin edilebilmektedir.

TEŐEKKÖR

Tezin hazırlanmasında çok yoğun çalışmaları arasında değerli vakitlerini ayıran, yardım ve desteklerini esirgemeyen Hocam ve Danışmanın Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseym BAYRAKÇEKEN ve çalışmalarımnda her türlü yol gösteren Makine Eğitimi Bölüm Başkanı Hocam, Sayın Doç. Dr. Süleyman TAŞGETİREN'e, ANSYS programı hakkında bilgilerini benden esirgemeyen Hocam Sayın Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ ve Sayın Arő. Gör. İsmail UCUN'a teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana manevi yardımlarını esirgemeyen ve her zaman yanımda olan eőime çok teşekkür ederim.



ÖZGEÇMİŞ

01.12.1979 tarihinde Afyon'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Afyon'da tamamladı. 1996 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Çay Meslek Yüksek Okulu Motor Bölümünde Önlisansa Başladı, 1998 yılında Önlisans eğitimini tamamladı. 1999 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Anabilim Dalı'na girdi. 2003 yılında lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2003 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Ana Bilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Bu görevini halen sürdürmektedir.



KAYNAKLAR

Afferrante, L., Decuzzi P., 2004, "The Effect of Engagement Laws on the Thermomechanical Damage of Multidisk Clutches and Brakes", *Wear* 257 66-72

Akata, E., Altınbalık, M.T., Can, Y., 2004, "Three point load application in single tooth bending fatigue test for evaluation of gear blank manufacturing methods", *International Journal of Fatigue* 26 785-789

Aktaş A., Orhan S., 2000, "Düşük Kavrama Oranlı Dişlilerde Rijitliğin Sonlu Elemanlar Metoduyla Belirlenmesi", *Figes Kullanıcılar Toplantısı Bildiriler Kitabı*, Belek - Antalya

Anlaş, İ., 1990, "Şasi II Aktarma Organları", İstanbul, Milli Eğitim Basımevi, Üçüncü Basım

Aslantaş, K., 2003, "Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirden Yapılmış düz dişlilerin yüzey yorulma hasarlarının analizi" Doktora Tezi, Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

ASM Handbook, Failure Analysis And Prevention, The Materials Information Society Vol 11

Cho, D.H., Lee D.G., Choi J.H., 1997, "Manufacture of one-piece automotive drive shafts with aluminum and composite materials", *Composire Shuctum* Vol. 38, No. 1-4, pp. 309-319

Citarell, R., Gerbino, S., 2001, "BE analysis of shaft hub couplings with polygonal profiles", *Journal of Materials Processing Technology* 109 30-37

Clegg, R.E., 2000, "Failure of planetary pinions in earth moving equipment a failure analysis approach", *Engineering Failure Analysis* 7 35-41

Çetinkaya, S., 1999, *Taşıt Mekaniği*, Ankara, Nobel Yayınevi

Das, C.R., Albert, S.K., Bhaduri, A.K., Ray, S.K., 2004, "Failure Analysis Of A Pinion", *Engineering Failure Analysis* 1-12

DeLange, G, 2005, "Failure Analysis for Gearing" <http://www.mtonline.com/articles/01-00mpt.cfm> 15.06.2005

Demirsoy, M., 1998, *Motorlu Araçlar Cilt 1*, İstanbul: Birsen Yayınevi, İkinci Baskı.

Dempsey, J.P., 2001, "Gear Damage Detection Using Oil Debris Analysis", *Nasa/Tm-210936*

Domana, Y., Fujiib, T., Okubob, K., Hec, H., Review, J., 2003, "In Uence Of Residual Stress On The Load-De.Ection Curve Of Diaphragm Springs For Automobile Clutches", Elsevier 24 197-203

Eryürek B., 1993, "Hasar Analizi" Birsen Yayınevi, İstanbul, 1-3 Sayfa

Fetvacı, M.C., İmrak, C.E., 2004, "Diş dibi Gerilmelerinin Analizi İçin Düz Dişli Çarkların Sonlu Eleman Modellenmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 19, no 2, 199-203

Göktañ, A., 1991, Taşıtlarda Aktarma Organları Ders Notları İTÜ Makine Fakültesi

Heyes, A.M., 1998, "Automotive Component Failures", Engineering Failure Analysis Elsevier Science Ltd Vol. 5, No. 2, pp. 129-141

Hema Dişlileri Bakım Onarım Katalogu, 1993

Höhn, B.R., Michaelis, K., 2003, "Influence of oil temperature on gear failures", Tribology International 37, 103-109

Karayolları Genel Müdürlüğü, 2003, Trafik Kazaları Özeti

Kepçeler T., Tahralı N., Eren Ş., 2004, "(4x4) Jeep'in Ön Ve Arka Diferansiyel Mekanizmasında Gerilme Analizi Ve Ömür Hesapları", Otekon 04 Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa

Lange, G. D., 2000, "Analyzing gear failures", Engineering design for process safety

Lee, G. D., Kim, H. S., Kim, J. W., Kim, J. K., 2004, "Foreign objects impact damage characteristics of aluminum/composite hybrid drive shaft", Composite Structures

Lee, G. D., Kim, H. S., Kim, J. W., Kim, J. K., 2004, Design and manufacture of an automotive hybrid aluminum/composite drive shaft", Composite Structures 63 87-99

Lewicki, D. G., 2001, "Gear Crack Propagation Path Studies - Guidelines for Ultra-Safe Design", NASA/TM-211073

Makevet, E., Roman I., 2002, "Failure Analysis Of A Final Drive Transmission İn Off-Road Vehicles", Engineering Failure Analysis 9 579-592

Moore, D. A., 2001, "Crankshaft Failure and Why It May Happen Again", International Induction Heating Seminar, Practical Failure Analysis 3:63-72

- Nanaware, G. K., Pable, M.J., 2003, "Failures of rear axle shafts of 575 DI tractors", *Engineering Failure Analysis* 10 719–724
- Orhan, S., Aktürk N., 2003, Aktarma Organı Dişlilerinde Oluşan Fiziksel Hataların Titreşim Analizi İle Belirlenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 18, No 3*, 97–106
- Orhan, S., Aktürk N., Arslan, H., 2003, "Bilyalı Rulman Hasarlarının Neden Olduğu Titreşimlerin Modellenmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 18, No 4*, 123–146
- Ost, W., De Baets P., Degrieck J., 2001, "The Tribological Behaviour Of Paper Friction Plates For Wet Clutchapplication Investigated On Sae And Pin-On-Disk Test Rigs", *Elsevier Wear* 249 361–371
- Ranganath, V.R., Das, G., Tarafder, S., Das S. K., 2004, "Failure of a swing pinion shaft of a dragline", *Engineering Failure Analysis* 11 599–604
- Park, M., 2003, "Failure analysis of an accessory bevel gear installed on a J69 turbojet engine" *Engineering Failure Analysis* 10 371–382
- Sezgin ve Kutlar, 2000, "Millenium'da Yeni Bir Aktarma Organı Kavramı " *Mühendis ve Makine Dergisi*, Makine Mühendisleri Odası
- Smith. F. W., *Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği" Çeviri Mehmet ERDOĞAN, 2000, Ankara, Nobel Yayın Dağıtım*
- Topaç, M. M., Kuralay, N. S., 2003, Motorlu Taşıtlarda Sürekli Değişken Tahrik Teknolojisi, 11. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Topcu, M., Taşgetiren, S., 1998, "Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu", Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Matbaası, Denizli
- Trafik İstatistik Bülteni, 2004, Trafik Eğitim ve Araştırma Dairesi Başkanlığı
- Vogwell, J., 1998, "Analysis of A Vehicle Wheel Shaft Failure", *Engineering Failure Analysis* No.4 271-277
- Yüksel, C., Kahraman, A., 2004, "Dynamic Tooth Loads Of Planetary Gear Sets Having Tooth Pro.Le Wear", *Mechanism and Machine Theory*, Volume 39, Pages 695-715
- Widmark, M., Melander, A., 1999, "Effect of Material, Heat Treatment, Grinding and Shot Peening On Contact Fatigue Life of Carburised Steels", *International Journal of Fatigue* 21 309–327

Woods, J.L., Daniewicz, S.R., Nellums R., 1999, "Increasing the bending fatigue strength of carburized spur gear teeth by presetting", International Journal of Fatigue 21 549–556

<http://www.akcelik.com.tr/tindex.htm> 28.09.2005

<http://www.bearinc.com/metallurgy.html> 15.06.2005

http://www.die.gov.tr/yillik/15_Ulastirma.pdf 25.08.2005

http://www.efunda.com/materials/alloys/alloy_steels/show_alloy.cfm?ID=AISI_94B30&prop=all&Page_Title=AISI%2094B30 25.08.2005

<http://www.materialsengineer.com> 13.12.2004

<http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=M504EB>
15.06.2005

http://materials.open.ac.uk/mem/mem_mf6.htm 15.06.2005

<http://www.tribology.co.uk/services/investigate/g01-0.htm> 13.12.2004