

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DIŞLI ÇARK SİSTEMİ TİTREŞİMLERİNİN  
İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROLÜ**

**SİNAN MARAŞ**

**HAZİRAN 2012**

**Makine Anabilim Dalında** Sinan MARAŞ tarafından hazırlanan DİŞLİ ÇARK SİSTEMİ TİTREŞİMLERİNİN İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROLÜ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Yahya DOĞU  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hakan ARSLAN  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Sadettin ORHAN \_\_\_\_\_  
Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Hakan ARSLAN \_\_\_\_\_  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI \_\_\_\_\_

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### DİŞLİ ÇARK SİSTEMİ TİTREŞİMLERİNİN İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROLÜ

MARAŞ, Sinan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan ARSLAN

Haziran 2012, 91 sayfa

Düz dişlilerdeki hataların sebep olduğu titreşimlerdeki değişimlerin incelenerek, farklı tipteki diş kusurlarının varlığının ve kusurun tipinin istatistiksel proses kontrol metotları ile analiz edilerek tespiti amaçlanmıştır. Bu amaçla kapalı devre güç iletim sistemine sahip bir dişli test düzeneği kurulmuş, sağlam dişliler takılarak belirli bir yükleme ve devir sayısında sistem çalıştırılmış ve rulmanlı yataklar üzerinden sensörler vasıtasıyla alınan düşey ve aksel yönlerdeki titreşim genlikleri dijital analog çevirici ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Elde edilen veriler İstatistiksel Proses Kontrol Grafiklerinden süreç ortalamasındaki farklılıkları ölçen  $\bar{x}$ , değişkenlikteki farklılıkları ölçen R ve süreç standart sapmasını ölçen S grafiklerinde işaretlenmiştir. Sağlam dişlilerden elde edilen verilerle alt ve üst kontrol limitleri belirlenmiş ve deney verilerinin süreç içerisinde rasgele davranış gösterip göstermediği, kontrol sınırları arasında olup olmadıkları gözlemlenmiştir. Dişliler, uygulanan burulma momentiyle hataya zorlamalı bir şekilde çalıştırılmaları sebebiyle süreç içerisinde aşınmaya maruz kalmış ve neticesinde titreşim genliklerinde artış gözlemlenmiştir. Kontrol grafiklerinde süreç izlenerek bu durum tespit edilmiş ve böylelikle sağlam dişlinin ne zaman aşındığının tespiti gerçek zamanlı deneysel çalışma ile grafiksel olarak gösterilebilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Dişlilerde Oluşan Arızalar, Dişli Arıza Tiplerinin Tespiti,  
İstatistiksel Proses Kontrol Metotları.

## **ABSTRACT**

### **STATISTICAL PROCESS CONTROL OF THE GEAR SYSTEM VIBRATIONS**

MARAŞ, Sinan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Eng., M. Sc. Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan ARSLAN

June 2012, 91pages

The aim of this study was to examine the existence of different types of gear defects and defect detection in spur gears by vibrations analyses. Statistical process control methods were used for analyses. For this purpose, a closed-loop test rig which has power transmission system was established, Defect free gears attached to the test assembly and the system operated at a certain load and number of cycles. Vibration amplitudes at vertical and axial directions received via sensors on the bearings transferred to the computer with digital-analog converter. The data obtained from statistical process control charts to measure differences in mean process, which measures the differences in variations of R and S charts, which measures the standard deviation of the process is marked. Upper and lower control limits were determined by data from the defect free gears. The experimental data was examined whether has random behavior and are between the control limits of the process.

The gears worn in the process due to the effect of applied torque and the operation which is suitable for the formation of defects. As a result the amplitude of vibrations was increased. This behavior was determined for process monitoring on the control charts and thus, the detection demonstrated graphically with real-time when the stronger gear was worn during experimental studies.

**Key Words:** Gear Failures, Detection of Gear Fault Type, Statistical Process Control Methods.

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan ARSLAN'a, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI'ya, deney çalışmam sürecinde destek ve yardımlarını esirgemeyen Bayburt Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat BALCI'ya, deney cihazının ve deneylerin yapımı esnasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Önder AKGÜNLÜ'ye ve Mehmet AKKUŐ'a, tezimin birçok aşamasında yardımlarını gördüğüm arkadaşlarım Arş. Gör. Onur GÜNEL'e ve Arş. Gör. Ziya ÇAKICI'ya, ayrıca Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi hocalarıma, araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve son olarak hayatım boyunca maddi ve manevi her konuda desteklerini üzerimden esirgemedikleri gibi çalışmalarım süresince de her zaman yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı.....	2
1.2. Tarihsel Gelişim ve Literatür Özetleri.....	2
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
2.1. Dişli Çeşitleri ve Kullanım Alanları.....	12
2.1.1. Düz Dişli Çarklar.....	14
2.1.2. Helisel Dişli Çarklar.....	14
2.1.3. Konik Dişli Çarklar.....	14
2.1.4. Kramayer Dişli Çarklar.....	15
2.1.5. Sonsuz Vida ve Dişlisi.....	15
2.1.6. Zincir Dişliler.....	16
2.2. Dişlilerde Görülen Hasar Türleri.....	16
2.2.1. Yüzey Yorulması Hasarları.....	16
2.2.1.1. Oyuklaşma.....	17
2.2.1.2. Pullanma Hasarı.....	19
2.2.2. Aşınma.....	20
2.2.2.1. Aşındırıcı Aşınması.....	20
2.2.2.2. Adhesiv(Yapışma) Aşınma.....	21
2.2.3. Plastik Akma.....	23
2.2.4. Kırılma.....	23
2.2.4.1. Az Çevrimli Kırılma (Darbe Kırılması).....	24
2.2.4.2. Bükülme Yorulması Kırığı.....	25
2.2.5. İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar.....	25
2.2.5.1. Sertleştirme (Su Verme) Çatlakları.....	25



2.2.5.2. Taşlama Çatlakları .....	26
2.3. Makine Performanslarının İzlenmesi ve Hata Teşhis Yöntemleri .....	26
2.3.1. Sıcaklık Kontrolü .....	27
2.3.2. Yağ Analizi .....	27
2.3.3. Akıntı ve Sızıntıların Kontrolü .....	28
2.3.4. Basınç Kontrolü .....	28
2.3.5. Gürültü Kontrolü .....	28
2.3.6. Titreşim Kontrolü .....	28
2.4. Dişli Çarklarda Frekans Analizi ile Hata Tespiti .....	29
2.4.1. Frekans Analizi .....	30
2.4.2. Dişli Arızaları .....	31
2.5. İstatistiksel Proses Kontrol .....	37
2.5.1. Ölçülebilir Veriler için Kontrol Grafikleri .....	43
2.5.2. Ölçülemeyen Veriler için Kontrol Grafikleri .....	48
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	51
3.1. Deney Düzeneği .....	51
3.2. Deneylerin Yapılışı .....	56
3.3. Deneylerde Kullanılan Dişlilerin Aşınmasının Teorik Olarak Hesabı .....	57
3.4. Deneysel Yöntem .....	64
3.5. $\bar{X}$ - S Grafiği ve Yorumları .....	65
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	79
4.1. Sonuçlar .....	79
4.2. Öneriler .....	80
KAYNAKLAR .....	82
ÖZGEÇMİŞ .....	91

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>SAYFA</u>
2.1. Dişli Çeşitleri .....	13
2.2. Oyuklaşma Hasarı .....	17
2.3. Başlangıç Oyuklaşma Hasarı .....	18
2.4. İlerleyen Oyuklaşma Hasarı .....	18
2.5. Normal Oyuklaşma Hasarı .....	19
2.6. Pullanma Hasarı .....	19
2.7. Abrasiv Aşınma.....	20
2.8. Adhesiv Aşınma .....	21
2.9. Scuffing .....	22
2.10. Scoring .....	22
2.11. Plastik Akma .....	23
2.12. Diş Dibi Kırığı .....	24
2.13. Darbe Kırılması .....	24
2.14. Bükülme Yorulması Çatlağı Ve Kırığı .....	25
2.15. Sertleştirme Çatlağı.....	25
2.16. Taşlama Çatlağı.....	26
2.17. Dalgaform Ve Spektrum Grafiğı.....	29
2.18. Tipik Yan Bant Oluşumu .....	33
2.19. Gevşek Takılı Helisel Dişlinin Oluşturduğu Titreşim Grafikleri.....	34
2.20. Dişli Aşınma Hasarının Frekans Genlik Grafiğı.....	36
2.21. Örnek Süreç Kontrol Grafiğı [69].....	38
2.22. İpk Uygulamasında Kullanılan Klasik Kontrol Sistemi [70].....	39
2.23. Kontrol Limiti Dışındaki Nokta Durumu [70].....	40
2.24. Proses Ortalama Çizgisinin Altında Eşit Olmayan Sayıda Nokta Durumu ...	40
2.25. Noktaların Artan Ya Da Azalan Bir Trend Gösterdiği Durum .....	41
2.26. $3\sigma$ Çizgisi Yakınındaki Her 3 Noktadan 2 Sinin $2\sigma$ Çizgisi Dışında Kalması .	41
2.27. Noktaların Rasgele Olmayan, Periyodik Bir Şekilde Sıralanması Durumu .....	42
2.28. $\bar{X}$ Grafiğı.....	43
2.29. $\bar{X}$ Ve R Grafiğı.....	45

2.30. S Grafiği.....	47
2.31. P Grafiği.....	49
2.32. 30 Örnekteki Kusurlu Değerleri İçin C Kartı.....	50
3.1. Deney Düzeneği.....	52
3.2. Konstrüksiyonun Zemine Montajı .....	53
3.3. Üzerine Küp Parça Kaynatılmış Rulmanlı Yatak .....	54
3.4. Deneyde Kullanılan Dişlilerin Yapım Resimleri .....	55
3.5. İvmemetrenin Bilyalı Rulman Üzerine Radyal Ve Eksenel Olarak Sabitlenmesi .....	56
3.6. Dişlilerin Yükleme Durumu [1] .....	59
3.7. Dişli Ömür Katsayısı Ve Yüzey Yorulma Ömür Devri Grafiği [72].....	64
3.8. Eksenel Yön(X)'Den Alınan 100 Saatlik Verilerin $\bar{X}$ - S Grafiği.....	65
3.9. Eksenel Yön(X)'Den Alınan 194 Saatlik Verilerin $\bar{X}$ - S Grafiği.....	66
3.10. Radyal Yön(Y)'Den Alınan 194 Saatlik Verilerin $\bar{X}$ - S Grafiği.....	69
3.11. Eksenel Yön(X) Verilerinin 1. Saat İle 41. Saatler Arası $\bar{X}$ - S Grafiği.....	70
3.12. Eksenel Yön(X) Verilerinin 42. Saat İle 73. Saatler Arası $\bar{X}$ - S Grafiği.....	71
3.13. Eksenel Yön(X) Verilerinin 74. Saat İle 93. Saatler Arası $\bar{X}$ - S Grafiği.....	72
3.14. Eksenel Yön(X) Verilerin 94. Saat İle 127. Saatler Arası $\bar{X}$ - S Grafiği.....	73
3.15. 95. Saatteki Dişli Aşınması .....	74
3.16. Eksenel Yön(X) Verilerinin 128. Saat İle 181. Saatler Arası $\bar{X}$ - S Grafiği....	75
3.17. Eksenel Yön(X) Verilerin 182. Saat İle 194. Saatler Arası $\bar{X}$ - S Grafiği.....	76
3.18. Sağlam dişlilerin deneyler öncesindeki görünüşü.....	77
3.19. 194 saat çalışma sonucunda dişli yüzeylerindeki aşınma .....	77
3.20. 194 saat çalışma sonucunda dişli yüzeylerindeki aşınma .....	78

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
2.1. Makinelerin çalışma şartlarının belirlenmesinde kullanılan parametrelerin hata türlerini belirlemesi [42].....	27
2.2. Dişli Hataları ve Spektrum Grafiğindeki Frekans Değerleri.....	36
3.1. Deneyde kullanılan dişlilerin özellikleri.....	55
3.2. Aşırı Yük Faktörü ( $K_o$ ) Tablosu [72].....	59
3.3. Yük Dağılım Faktörü ( $K_m$ ) Tablosu [72].....	60
3.4. Yüzey Yorulma Dayanımı ( $\sigma_{sf}$ ) Tablosu [72].....	60
3.5. Lamel Grafitli Dökme Demir Gereçleri.....	61
3.6. Elastik Katsayısı ( $C_p$ ) Tablosu [72].....	62
3.7. Emniyet Katsayısı Tablosu ( $C_R$ ) [72].....	63

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER DİZİNİ

$\sigma$	Standart Sapma
$\bar{X}$	Örneklemin Ortalaması
$\bar{\bar{X}}$	Grup ortalamalarının ortalaması
$\sigma$	Standart Sapma
k	Toplam grup sayısı
R	Ölçülen değerlerin en büyüğü ile en küçüğü arasındaki fark
$\bar{R}$	Her grubun en büyük ve en küçük değer farklarının ortalaması
A <sub>2</sub>	Değişken nicelik kontrol grafiklerini düzenlemede kullanılan faktör
A <sub>3</sub>	Değişken nicelik kontrol grafiklerini düzenlemede kullanılan faktör
D <sub>3</sub>	Değişken nicelik kontrol grafiklerini düzenlemede kullanılan faktör
D <sub>4</sub>	Değişken nicelik kontrol grafiklerini düzenlemede kullanılan faktör
S	Standart Sapma
$\bar{S}$	Standart sapma değerlerinin ortalaması
n	Örnekleme sayısı
$\bar{p}$	Ortalama kusurlu yüzdesi
$\bar{c}$	Ortalama kusurlu sayısı
M	Moment
F	Kuvvet
w	Açısal hız

P	Güç
T	Tork
V	Çizgisel hız
$K_o$	Aşırı yük faktörü
$K_m$	Yük dağılım faktörü
$\sigma_{sf}$	Yüzey yorulma dayanımı
$K_v$	Hız veya dinamik faktör
$C_p$	Elastik katsayısı
E	Elastiklik modülü
l	Geometrik faktör
$\phi$	Dişli kavrama açısı
$d_g$	Çevrilen dişlinin bölüm dairesi çapı
$d_p$	Pinyon dişlinin bölüm dairesi çapı
b	Diş genişliği
$\sigma$	Dinamik temas gerilmesi
$C_R$	Emniyet katsayısı
$C_{li}$	Dişli ömür katsayısı
t	Aşınma saati

## KISALTMALAR DİZİNİ

D	Dişli kavrama frekansı
İPK	İstatistiksel proses kontrol
AKL	Alt kontrol limiti
ÜKL	Üst kontrol limiti
MÇ	Merkez çizgi
X	Eksenel yön
Y	Radyal yön
X-bar	Ortalama şeması
R	Aralık şeması
S	Standart sapma şeması

## 1. GİRİŞ

Dişli çarklar, eksenleri birbirine yakın, birbirini kesen veya birbirine paralel miller arasında hareket ve güç ileten, üzerinde eşit aralıklı ve özel profiller bulunan silindirik veya konik yüzeyli elemanlara denir.

Dişli çarklar hemen hemen her makinede miller arasında hareket ve mekanik güç iletimini sağlamak amacıyla otomobil, takım tezgahları, saat mekanizmaları, bisiklet, uçak ve uzay teknolojisine kadar endüstrinin her alanında kullanılmaktadır.

Makinelerin bu önemli elemanlarında aşınma, yorulma, kırılma şeklinde hasarlar oluştuğu takdirde makinelerde lüzumsuz, ani durdurmalar gerçekleşmekte, daha büyük arızalara sebep olmakta ve zaman, maliyet, ürün kalitesi, süreç güvenirliliği bakımından olumsuzluklara yol açmaktadır. Bu durumda, dişli çarklardaki hataların erken teşhisi büyük bir önem kazanmaktadır.

Makina durum izleme teknikleri hayati hasarları önleyici en etkin ve optimum maliyetli bir yaklaşım olarak uzun zamandır kullanılmaktadır. Bu özelliğinden dolayı titreşim analizi, yağ analizi, sıcaklık analizi, akıntı ve sızıntı kontrolü, basınç kontrolü, akustik emisyon ve gürültü analizi durum izleme teknikleri olarak dişli çark hata tespitinde kullanılabilir. Bu yöntemlerden titreşim, makinelerin içyapısında oluşan olayları en iyi yansıtan parametre olduğu için günümüzde dişli hata tespiti titreşim ölçümü ve analizi ile gerçekleştirilmektedir. Titreşim analiz sonuçları sinyal işleme, yapay zeka, istatistiksel analiz yöntemleriyle işlenerek dişli hata tespiti yapılmaktadır.

Sinyal işleme yönteminde sağlam durumdaki dişlilerden alınan titreşim bilgileri zaman-genlik grafiklerinde kaydedilerek dişliler çalıştırılmakta ve zaman içerisinde hata oluşumu teorik olarak hesaplanan hata frekanslarının zaman-genlik grafiklerinde oluşması ve sağlam durumda alınan titreşim bilgileriyle karşılaştırılması ile dişli hata tespiti yapılmaktadır.

Yapay zeka yönteminde sağlam durumdaki bir dişlinin standartlara uygun olarak gösterebileceği çalışma koşullarını, titreşim verilerini bilgisayar ortamına aktarmak için grafik kullanıcı ara yüzü bir yazılım hazırlanmaktadır. Bu çalışma şartları yazılıma eklenerek titreşim verilerindeki değişimin izlenmesi ile herhangi bir arıza oluştuğu takdirde yazılım hata vererek kullanıcı uyarılmaktadır ve ne tür bir arıza olduğu muhtemel nedenleriyle belirtilmektedir.

İstatistiksel analiz yönteminde sağlam dişlilerden alınan titreşim verilerinin ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak alt ve üst kontrol sınırları belirlenmekte ve süreç içerisinde dişlilerden alınan titreşim verileriyle oluşturulan kalite kontrol grafiklerinde verilerin bu sınırların dışında çıkması veya belirli bir trend izlemesi sonucu dişlide hata tespiti yapılabilmektedir.

### **1.1. Tez Çalışmasının Amacı**

Dişli çarklar güç ve hareket iletiminde endüstrinin her alanında, değişik ortam ve koşullarda kullanılan makine elemanları oldukları bilinmektedir. Makinelerin bu önemli elemanlarının zorlayıcı şartlar altında çalışması sonucu hasarlar meydana gelmekte ve daha büyük olumsuzlukları önleyebilmek için bu hasarların bilinmesi ve oluşum nedenlerinin tespit edilmesi gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmada kapalı devre güç iletim sistemine sahip bir dişli test düzeneği vasıtasıyla düz dişlilerdeki hataların sebep olduğu titreşimler kaydedilerek ve bu titreşimlerdeki değişimlerin istatistiksel proses kontrol metotları ile analiz edilerek farklı tipteki diş kusurlarının varlığının ve kusurun tipinin tespiti amaçlanmıştır.

### **1.2. Tarihsel Gelişim ve Literatür Özetleri**

Dişli çarklar, tarihi gelişimi çok eskilere dayanan makine elemanlarıdır. Günümüzden takriben 3000 yıl öncesine kadar dişli çark düzenlerinden yararlanıldığı bazı arkeolojik kalıntı ve varsayımlardan anlaşılmaktadır. Bu tarihlerde daha çok büyük taş blokların taşınmasında manivela ve eğik düzlem düzenleri



kullanılmaktaydı, çok primitife olmakla beraber dişli çark yöntemi de bu düzenlerle ortaklaşa kullanılmış, daha sonraları tahtadan yapılmış bu düzenler hareket ve yük iletiminde kullanılmıştır[1].

Bu düzenlerde belli bir diş profili tabiatıyla yok olmuştur, ancak çarklar üzerindeki girinti ve çıkıntıların birbirlerini öteleme ile etkilediklerini görebilmekteyiz, yine de geometrik bir büyüklük olarak çevre taksimatı yani dişler arası mesafe “adım”ı zorunlu olarak görmekteyiz. Bu tip düzenleri bugün dahi Anadolu’nun çeşitli yörelerinde görmek mümkün olmaktadır.

Klasik çağ Avrupa’sında “Galilei Galileo”nun ve Hint Arap yarımadalarında özellikle hareket için kullanılmış dişli çark düzenlerinde artık bir teknoloji görülebilmektedir. Daha sonraki sanayileşme hareketlerinde, ilk maden ocaklarında geniş çapta kullanılma alanı bulmuş ve sanayinin başlangıcı sayılabilecek buhar kuvvetinin makineye tatbiki ile çok karmaşık ve hassas işleme teknolojisine sahip olması ve kullanım alanlarına göre çeşitlilik arz etmesi ile beraber hemen hemen yaşantımızın bir parçası olarak en geniş anlamda günümüze kadar gelmiştir. Günümüzde dişliler üzerinde yapılan çalışmalar daha çok çalışma esnasında oluşabilecek hasarların tespiti yönündedir. Birbiri ile temas halinde olan dişlilerden birinde veya her ikisinde devam eden çalışma sonucu hasarlar meydana gelmekte ve dişliler fonksiyonlarını yerine getirememektedir. Birbiri ile temas halinde çalışan makine elemanlarında sonsuz ömür sağlamak, hasar oluşumunu önlemek mümkün değildir. Önemli olan zamanla meydana gelen hasarları en aza indirmek veya hasar oluşumunu önceden tespit ederek, hasarın tüm sistemi çalışmaz hale getirmeden, diğer elemanlara zarar vermeden dişlileri yenisi ile değiştirmektir.

Makinelerdeki içyapıyı en iyi yansıtan parametrelerden birisi olan titreşim, dişli hasarlarının tespiti konusunda da günümüze kadar birçok çalışmada ele alınmıştır. Dişli titreşimlerinin incelenmesi ile ilgili çalışmalar 1970'lerden itibaren başlamış ve bugünlere kadar gelmiştir. Welbourn dişli hatalarının titreşim analizi konusunda çalışmalar yaparak bu konudaki çalışmaların öncüsü olmuştur. Welbourn ile beraber 1970 ile 1990 yılları arasında dişli titreşimlerinin incelenmesi konusunda yapılan çalışmalar şunlardır;

Welbourn, dişli hasarlarının muhtemel türlerini ve bunların dişli spektrumu üzerindeki etkilerini tanımlamıştır[2,3,4]. Kohler, dinamik bir dişli modeli hazırlamış ve bazı dişli hatalarını simule etmiştir[5]. Badgley, titreşim sinyal analizi ile dişlilerde yanbantların tahmini üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır[6]. Houser ve Drosjack, dişli hasarlarından özel bir durum olarak dişlilerin yuvarlanma dairesinde oluşan pitting hasarını simule etmiştir[7]. Remmers, farklı yük ve temas oranı için dişli boşluk hatalarını simule etmiştir[8]. Mark, dişli model analizi ile ilgili analitik çalışmalar yapmıştır. Hatalı dişlilerden dolayı çıkan gürültüleri, frekans bileşenleri ve bunların büyüklükleri için türetilmiş analitik ifadeleri simule etmiştir[9,10]. Taylor, titreşim analizi ile dişli arıza teşhisi üzerine deneysel çalışmalar yapmıştır[11].

Randall, dişli titreşimlerini analiz etmiş ve frekans analiz metotları ile hata tespitini amaçlamıştır. Sinyal analiz yöntemi olarak kepstum tekniğini kullanmıştır. Bu yöntem ile spektrum analiz yöntemine ek olarak ayrıca bu yöntem ile hata tespiti elde edilebilmektedir[12,13,14]. Eshleman, dişli titreşimlerinin farklı frekans ve katlarında uyarı frekansları ve bunların görünümü arasında bir korelasyonun olduğunu göstermiştir[15]. Houser, Pearce, Lses, Kubo, dişli hasarlarının farklı etkilerini dikkate alarak simulasyon çalışmaları yapmışlardır[16,17,18]. Stewart, farklı dişli kusurlarından kaynaklanan frekans ve genlik modülasyonunu incelemiştir[19]. Chay, Yagishta, Fuzhi, Fujita, titreşim ve gürültü spektrumları ile dişli arıza tespiti üzerinde çalışmalar yapmışlardır[20,21,22,23]. M. C. Fadden ve J. D. Smith, sinyal ortalaması ile dişli kusurlarının tespiti için yeni bir teknik geliştirmiş ve yerel hataların ve üretilen düşük frekanslı titreşimlerin neden olduğu dişli etkileri üzerine deneyler yapmışlardır[24,25]. Lin, dinamik yükleme ve böylece iletim hatalarını en aza indirmek için profil değişikliklerini simule etmiştir[26,27]. G. Dalpiaz v.d., zaman frekans ve periyodiklik analizine dayalı yeni yaklaşımların sonuçları ile kepstum analizi, genlik ve harmoniklerin faz modülasyonu vasıtasıyla elde edilen verilerini karşılaştırmışlardır. Deneysel olarak dişli çatlağının iki farklı derinliğini dikkate alarak hata şiddetinin hassasiyetini değerlendirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre güç kepstum grafiği çatlak gelişimi tespiti için etkin bir yöntem olmadığını, bunun tersine spektral korelasyon yoğunluk fonksiyonu ile hata gelişimini izlemenin mümkün olduğunu ve bu yöntemin dönüştürücü pozisyonu değişiminden etkilenmediğini gözlemlemişlerdir[28].

M. Amabili ve A. Fregolent, model parametrelerini tanımlayan, yeni bir yöntem olan doğal frekans ile sönüm ikilisini ve düz dişli çiftinin eşdeğer dişli hatasını sunmuştur. Dişli burulma titreşimlerinin ölçümünü temel alan bu yöntemde test düzeneği, tek serbestlik dereceli bir sistem olarak modellenmiştir. Bu yaklaşımın, diğer yöntemlere göre bazı avantajları olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, gürültü etkisinin hassasiyeti araştırılmış ve yorumlanmıştır. Yöntemin uygulamaları doğal frekans, sönüm ve profil hatalarının tespiti için gösterilmiştir[29].

Dişli arıza teşhisi amacıyla Dalgacık Dönüşüm Metodu kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır; D. Boulahbal v.d., dişli arıza tespiti için genlik ve dalgacık dönüşümünün faz grafiklerini birlikte kullanmışlardır. Faz dalgacık grafiğinin bir çatlak dişin varlığında ayırt edici bir özellik olduğunu göstermişlerdir. Sağlam, yorulma çatlağı olan ve kırık dişliler üzerinde çalışmışlardır[30]. C. K. Sung, v.d., yüksek hassasiyetteki dişli sisteminde diş kusurlarını ortaya çıkarmak için dalgacık dönüşümünü kullanmış ve dişli hataları, dişli dinamiği ve dalgacık dönüşümü tekniği gözden geçirilerek, dişli hatası tespit edebilen bir düzenek tasarlanmış ve dalgacık dönüşüm tekniğini uygulamışlardır. Dişli hatalarını tespit eden dalgacık analiz sonuçlarını doğrulamak için bu test düzeneğinden ölçülen titreşim sinyallerini kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar ile dişli iletim sisteminin hata algılama tekniği olarak kullanılan bu yaklaşımın, özellikle hatalı dişliler diğer dişlilerin açısal hızına yakın hızlarda döndüğünde geliştirilebilir bir yöntem olduğunu göstermişlerdir[31]. S. J. Loutridis, yerel enerji yoğunluğunun hesaplanmasını temel alan dişli hataları gelişiminin izlenmesini temel alan yeni bir yöntem sunmuştur. Çatlak kökü olan bir dişli çifti için teorik bir model geliştirilmiştir. Test donanımından elde edilen deneysel sonuçlar, sürekli dalgacık dönüşümü kullanılarak analiz edilmiş ve enerji yoğunluğu titreşim sinyalleri ile birbirine geçen kusurlu dişlilerle ilişkilendirilerek ve hesaplanarak elde edilen sonuçlar, hata büyüklüğünü değerlendirmek için yerel enerjinin duyarlı bir özellik olduğunu göstermiştir[32].

Dişli arıza teşhisi amacıyla istatistiksel parametreler kullanılarak yapılan çalışmalar şunlardır; F. A. Andrade v.d., iki titreşim sinyalini karşılaştırarak istatistiksel olarak benzerliğini yani aynı olasılık dağılım fonksiyonuna sahip olup olmadığını gösteren zaman tanımlı bir sinyal işleme yöntemi olan Kolmogorov-Smirnov testi ile yük

altındaki düz dişlilerin normal, hatalı, aşınmış, çatlak ilerlemesi gibi durumlarını tespit etmişlerdir[33]. N. Baydar, v.d., çok değişkenli istatistiksel yöntemleri kullanarak helisel dişlilerdeki diş kusurlarının tespitini yapmışlardır. Bu amaçla iki aşamalı bir endüstriyel helis dişli kutusunun titreşim sinyallerini yerel hataları algılamak için çok değişkenli istatistiksel teknikler kullanarak araştırmış ve incelemişlerdir[34]. B. Birgören ve B. Koçer, istatistiksel proses kontrol sorunu tanı için yaklaşımlar şemaları çalışmasında istatistiksel proses kontrol çizelgeleri, süreci etkileyen özel nedenlerin varlığına işaret eden kontrol-dışı sinyalleri geleneksel tek değişkenli kontrol çizelgeleri, yapay sinir ağı uygulamaları ve çok değişkenli kontrol çizelgelerini kullanarak saptamaya çalışmıştır[35].

S. Zhang, v.d., mil eksen kaçıklığını, istatistiksel proses kontrol grafiklerinden Ağırlıklı Kayıp Fonksiyonu ile inceleyerek hata oluşumunu tespit etmişlerdir. Bu amaçla iki yatakla desteklenmiş deney düzeneğinden titreşim verilerini kaydetmişlerdir. Eksen kaçıklığı olmadığı durum ile değişik kaçıklık ölçülerindeki durumlarda titreşim değerleri alınarak kalite kontrol grafiklerinde karşılaştırılarak istatistiksel olarak hataların tespiti gerçekleştirilmiştir[36]. C. J. Stander ve P. S. Heyns, yükleme altında çalışan dişlilerde hata oluşumunu tespit etmek için Wigner–Ville dağılımının kullanımına olanak sağlayan titreşim dalga normalleşme yaklaşımını sunmuşlardır. Çeşitli hata durumlarının lineer ayrımını göstermek için titreşim dalga normalleşme yaklaşımını uygulandıktan sonra istatistiksel parametreler ve çeşitli diğer özellikleri dağılımdan çıkarmışlardır[37]. W. Li, T. Shi ve K. Ding, otomobil dişli kutusu üzerinde yaptıkları deneyler neticesinde dişlilerde oluşan çatlak ve kırılma hasarlarını, çekirdek fonksiyonu yaklaşımını kullanarak sağlam dişlilerden elde edilen özellik fonksiyonlarının oluşturduğu normal veri alanı ile deneylerden alınan verileri kıyaslayarak bunların veri alanının dışında kaldığını gözlemlemişlerdir. Bu şekilde dalga form, spektrum grafiklerinde de açıkça görülen çatlak ve kırılmış dişlileri istatistiki olarak incelemişlerdir[38]. Y. Zhan, V. Makis, değişen yük koşullarında, dişli titreşim sinyallerini kullanarak dişli hatalarının tespiti için sağlam tabanlı bir model geliştirmişlerdir. Önerilen hata tanı modelinde dişli kutusunun ömrü boyunca alınan titreşim sinyalleri kullanılarak yeni bir arıza oluşana kadar ölçümler yapılmıştır. Modelin üç standart sapma limitini aşan değerlerinin yüzdelerini alan temel istatistiksel ölçümler dişli durumunu değerlendirmek için

uygulanmıştır[39]. Y. Zhan v.d., sağlam bir dişlinin hata tespiti için değişik yük koşullarında çalıştırılması ile bir gürültü uyarlamalı kalman filtresi kullanarak dişli hareket sinyallerinin zamanla değişen bir otoregresif modelini kurmuşlar ve Kolmogorov-Smirnov testi ile istatistiksel olarak analizini gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar önerilen tekniğin değişik yük koşullarında çalışan dişlilerin hata başlangıcı tespitinde erken uyarıcı ve önemli bir niteliğe sahip olduğunu göstermiştir[40]. W. Q. Wang, F. Ismail ve M. F. Golnaraghi, son zamanlarda kabul görmüş olan faz ve genlik modülasyonu, beta basıklık ve dalga dönüşümü tekniklerinin hassasiyet ve güvenilirliklerini incelemişlerdir. Bunun için deneylerinde sağlam, aşınmış, çatlak ve kırık dişlileri kullanmışlardır. Titreşim sinyalleri dişli kutusu üzerinden genel sinyal ortalaması, genel artık ve baskın frekans kalanı olmak üzere üç filtreleme koşulları altında ölçülmüş ve elde edilen test sonuçları beta basıklık tekniğinin çok güvenilir bir zaman tanımlı hata tespit yöntemi olduğunu göstermişlerdir[41].

F. Djeddou ve R. Zegadi, tüm özel üretim hatalarını rastgele değişkenler olarak kabul ederek ve pratikte değişken olarak uygulanan tork ve diğer faktörleri, sabit şekilde alarak ISO-6336 standardına göre uygulanan ve izin verilen gerilmeler altında bir istatistiksel analiz yapmak için iki olasılık metodu geliştirilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen iki istatistiksel metodun, küçük adımlı dişli çiftlerin güvenilirlik ve yaşam süresi tahmininde önemli bir uyum gösterdiğini tespit etmişlerdir[42]. A. Raad, J. Antoni, M. Sidahmed, istatistik değerleri bazı genel değişkenler açısından periyodik olarak değişen titreşim sinyallerinin karakterizasyonu için periyodikliğin yeni ve basit göstergeleri üzerinde çalışmışlardır. Dişli hata teşhisi için bu göstergelerin nasıl kullanılacağını yaptıkları uygulamalarla göstermişlerdir. Sonuçlar farklı durumlar arasındaki ayırmadan dolayı bu uygulamaların etkinliğini kanıtlamıştır[43].

Dişli arızası tespitinde frekans ortamı analiz metodlarını kullanan bazı araştırmacıların yaptığı çalışmalar; M. F. Karahan, demir-çelik endüstrisinde kullanılan makinalarda titreşim analiz metodunu kullanarak kestirimci bakım uygulaması gerçekleştirmiştir. Bu amaçla makinalarda periyodik titreşim ölçümleri gerçekleştirmiş ve elde edilen titreşim verileri frekans analizi metodu ile değerlendirerek arızaları tespit etmeye çalışmıştır. Yapılan çalışmalar sırasında bir rulman arızası ve kaymalı yatak arızası tespit edilmiştir[44]. H. Jinying, v.d., dişli

titreşim sinyallerinin üst mertebe kümülatif spektrumunu ve güç spektrumunu incelemiştir. Hata tespitinde kümülatif spektrumun karakteristik vektörünü oluşturmuşlar ve analiz sonucu güç spektrumuna göre üst mertebe (yüksek mertebe) kümülatif spektrumdan elde edilen bu vektörün, hata teşhisinde sağlanan sayısal karakteristiği anlamak için çok daha kolay ve hassas olduğunu ve ayrıca dişli kutusunun hatasını teşhis edebileceğini göstermişlerdir[45]. T. Fakhfakh, v.d., dişli temas sertliğini etkileyen hataları sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Yerel ve dağılmış hatalar tarafından sırasıyla çatlak ve spalling başlangıcını spektrum ve dalgaform grafiklerinde modellemiştir. Sağlam ve hatalı dişlilerin spektrum ve dalgaform grafikleri ile sayısal sonuçları karşılaştırarak bu grafiklerin hata tespitindeki etkinliklerini göstermişlerdir[46]. S. Ai, H. Li, dişli çatlak analizi için yeni bir yaklaşım olan birleşik deneysel ayrışma modu ve Hilbert-Huang dönüşüm tekniğini kullanmışlardır. Önce çatlak hatasına sahip dişli kutusundan titreşim sinyalleri ölçülmüş, daha sonra deneysel ayrışma modu kullanılarak orijinal titreşim sinyalleri modlarına ayrılmıştır. Daha sonra Hilbert-Huang dönüşümü ile titreşim sinyallerinin spektrum grafiği elde edilebilmektedir. Bu yöntemlerle dişli çatlak hasarlarının karakterleri tanınabilmektedir[47]. H. Öztürk, İ. Yeşilyurt ve M. Sabuncu, dişli çark oyukçuk arızasının titreşim analizi ile tespit edilmesi konusunu incelemiştir. Bu amaçla endüstriyel bir dişli kutusu içindeki dişlilerin üzerinde oyukçuk hatası oluşturmuş ve bu dişli çarklardan titreşim ölçümleri almışlardır. Alınan titreşim verilerini dalga form, spektral analiz ve istatistiksel analiz metotlarını kullanarak arızanın tespit edilebilirliğini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak titreşim biçimi ve frekans spektrumuna bakılarak hatanın varlığını erken safhalarda belirleyebildiğini tespit etmişlerdir[48]

N. Baydar ve A. Ball, Wigner-Wille dağılımının dişli kutularında düzgün kullanılması ile akustik sinyallerin bazı yerel hataların ortaya çıkarılmasında etkin olup olmadığını incelemiştir. İlerleyen benzer yerel hataların üç tipi, kırık diş, çatlak dişli ve sınırlı dayanaklıktır. Titreşim sinyalleri ile akustik sinyaller karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar, dişli kutularında birkaç tip ilerleyen hataların erken algılanmasında akustik sinyallerin geçerli bir yöntem olduğunu göstermiştir. [49]

W. Wang, diş çatlaklarının erken algılanması için rezonans çözme tekniğinin, eşzamanlı sinyal ortalama tekniği olarak geçerliliğini kanıtlamıştır. Bir analitik sinyal modeli, ayrıca dişli kavrama sinyali ve onun uygulamasını anlatmak için, sinyal modelini temel alan Rezonans çözme tekniğini sunmuştur. Sonuçlar rezonans çözüm tekniğinin; dişlinin diş çatlaklarını erken algılamada etkin bir araç olduğunu göstermiştir[50]. C. Park ve J. M. Lee, farklı hasarlara sahip olan helisel dişlileri kullanarak, dişli ve rulmanların frekans karakteristiklerini karşılaştırarak dönme hızı ve uygulanan torkun titreşim artışıındaki rollerini deneysel olarak incelemişlerdir[51].

Dişli arızası tespitinde durum izleme metotlarının kullanıldığı çalışmalar şunlardır; S. J. Loutridis, dişli hataları gelişiminin izlenmesi için yeni geliştirilmiş bir metot olan deneysel ayrışım modundan bahsetmiştir. Çatlak diş kökleri olan bir dişli çifti için teorik bir model geliştirilerek, bu test düzeneğinden alınan deneysel titreşim sinyallerini, kendine özgü mod fonksiyonları olarak adlandırılan salınımlı fonksiyonların içindeki bileşenlerine ayrılmıştır. Değişik çatlak büyüklüğüne özgü tipik enerji bileşenleri ile ilgili yasa, deneysel olarak kanıtlanarak, tipik enerji dişli durumunda kötüleşme ile ilişkilendirilebileceği ve bu modelden sistem hata tahminde faydalanılabileceği gösterilmiştir[52]. M. C. Fetvacı ve C. E. İmrak, çalışmalarında dişli çarklarda meydana gelen hataların durum izleme metotlarıyla tespit edilmesini incelemişlerdir. Durum izlemesi metodunun makine hasarlarının önlenmesinde en etkili ve optimum maliyetli metot olarak kabul edildiğini ifade ederek, dişli kutusu hasarlarını ses sinyallerinin bilgi tasıma özelliklerinden faydalanarak belirlenebileceğini tespit etmişlerdir[53]. C. K. Tan ve D. Mba, dişli hata tespiti için akustik emisyon uygulamalarında yapılan yeni gelişmeler üzerinde çalışmışlardır ve yaptıkları deneylerle bu yöntemin etkinliğini göstermişlerdir. Dişlilerde suni hata tespiti için akustik emisyon uygulamalarının zorluklarla dolu olduğu sonucuna varmışlardır. Dişlilerin doğal aşınmalarının izlenmesi için uygulanan bu tekniği referans olarak sunmuşlardır[54].

Dişli hata tespiti çalışmalarında yapay sinir ağları yöntemini kullanan bazı araştırmacıların çalışmaları ise şunlardır; Y. Kang, C. C. Wang ve Y. P. Chang, dişli hata tespitinde geri yayılım sinir ağlarının gizli katmanında aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılan dalga sinir ağları ve Morlet dalgası yöntemini kullanmışlardır. Her

iki yöntem içinde tanı sonuçları dört dişli durumu(paralel millerin eşit yükseklikte bulunmadığı mil-dişli sistemi, paralel olmayan mil-dişli sistemi, kırık dişli ve aşınmış dişli) için karşılaştırılmıştır[55]. J. Rafiee, v.d., çok katmanlı sinir ağları yöntemini kullanarak dişli ve rulman hatalarının teşhisi üzerinde çalışmışlardır. En uygun yapay sinir ağını tasarlamak için en önemli parametre olan özellik vektörünü, titreşim sinyalleri ve dalgacık katsayısının standart sapmasını kullanarak oluşturmuşlardır. Çalışmada hafif, orta aşınmış dişliler ile kırık dişliler ve çıkış katmanının 5 adet nörondan oluştuğu kabul edilmiştir[56]. H. Li, Y. Zhang ve H. Zheng, dişli hata tespitinde kepstrum ve radyal taban fonksiyonlu(RBF) yapay sinir ağları tekniklerini kullanmışlardır. Bu çalışmada öncelikle dişli kutusundan alınan titreşim sinyalleri sabit zaman aralıklarında örneklendirilmiş ve sonra sabit açılı artışlarında yeniden örneklendirilmiştir. İkinci aşamada bu örneklendirilmiş sinyaller normal, aşınma ve çatlak hasar türlerini ayıklamak için kepstrum analizi ile işlenmiştir. En son aşamada bu ayıklanan özellikler radyal taban fonksiyonunda hata tespiti için girdi olarak kullanılmıştır. Fonksiyon, bilinen makine koşulları için deneysel verilerin bir alt kümesine sahip olup, yapay sinir ağı kalan veri setleri kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar dişli hasar durumunun tespit ve teşhisinde kepstrum ve radyal taban fonksiyonunun etkinliğini göstermiştir[57].

A. Parey ve N. Tandon, dişlideki diş kusuru büyüklüğünü, ölçülebilir titreşim sinyali ile ilişkilendirilerek bir çarpma hızı modeli sunmuş ve analitik modeli deneysel olarak doğrulamıştır. Deneysel sonuçlar, kusur büyüklüğünü tahmin eden analitik modelin geçerliliğini desteklemiştir[58]. Y. Wang ve W. J. Zhang, zamanla değişen rijitlik, yük ve dişli hatalarının etkisinin göz önünde bulundurulması ile dişli aktarma sisteminin titreşim analizi için dinamik ve stokastik(rastlantıya bağlı) simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Dişli aktarma sistemi; lineer olmayan, zamana bağlı ve sabit stokastik sistem olarak incelenmiştir. Dişlilerde aktarma hataları spektral analize bağlı olarak harmonik ve rastgele bileşenler içinde ayrıştırılmıştır. Rastgele bileşeni simüle etmek için dönme hızını dikkate alarak, zaman değişkenli parametreler ile ikinci bir markov süreci önerilmiş ve ölçülmüş dişli aktarma rastgele hatasına bağlı olan model parametrelerini saptamak için bir yöntem geliştirilmiştir. İleri sürülen modeli doğrulamak için deneyler gerçekleştirilmiştir. Titreşim ivmesi üzerindeki rastgele hatanın etkileri, geliştirilmiş benzetim sistemi kullanarak incelenmiştir[59].



C. Wang, Z. Fang ve H. Jia, dişli titreşim ve gürültüsünü azaltmak, iletim verimliliğini arttırmak ve pinyon profilini değiştirmek için üç segment yöntemini önermişlerdir. Kesici kenar şeklini değiştirerek ve hat için üç segment parabolunun konulmasını sağlayarak kesici yüzey denklemleri elde etmişlerdir. Diş yüzeyi yük dağılımında boyuna diş değişikliklerinin etkilerini incelemişlerdir. İletim hata minimizasyonu ve diş yüzeyi yük dağılımının benzerliği optimizasyon amacı olarak seçilmiş ve uygulanan kompleks metotlar tarafından değiştirilen parametreler elde edilmiştir. Değişikliklerden önce ve sonra yükleme iletim hatası, titreşim ve gürültüleri karşılaştıran bir deney gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar değiştirilen tasarımların güvenilir olduğunu göstermiştir[60].

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Dişli çarklar, eksenleri birbirine yakın, birbirini kesen veya birbirine paralel miller arasında hareket ve güç ileten, üzerinde eşit aralıklı ve özel profiller bulunan silindirik veya konik yüzeyli elemanlardır. Dişli çarklar, tarihi gelişimi çok eskilere dayanan makine elemanlarıdır. Kaynaklarda dişli çarkların kullanılmaya başlanmasının milattan önce 330 yılına kadar uzandığı bildirilmektedir. Farklı boyut, malzeme ve uygulamalarda olsalar da dişli çarklar hemen her makinede miller arasında şekil bağıyla kuvvet ve hareket ileten elemanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Mekanik gücün iletiminde mühendislik ve maliyet avantajlarını bir arada sunan dişli çarklar, saat mekanizmaları gibi hassas cihazlardan, otomobil, takım tezgahları ve uçak-uzay teknolojisine kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır[61].

### 2.1. Dişli Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Dişliler; Düz Dişli, Helisel Dişli, Konik Dişli, Kramayer Dişli, Sonsuz Vida ve Dişlisi, Zincir Dişli olmak üzere altı çeşit olarak imal edilmektedir. Birçok çeşidin farklı şekillerde imal edilmesinin nedeni ise endüstride her türlü mekanik sistemlerde konstrüksiyon gereği kullanılma ihtiyacından kaynaklanmaktadır.



a) Düz dişli



b) Helisel dişli



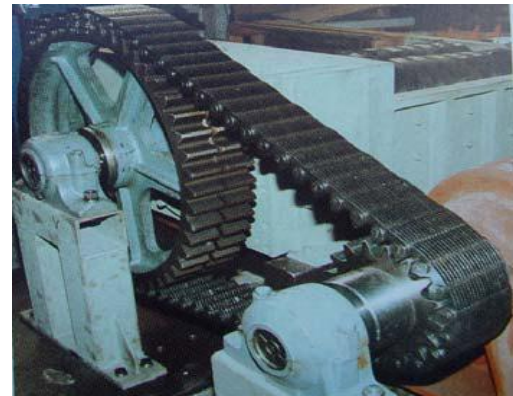
c) Konik dişli



d) Kramayer dişli



e) Sonsuz vida ve dişlisi



f) Zincir dişli

Şekil 2.1. Dişli Çeşitleri

### **2.1.1. Düz Dişli Çarklar**

Eksenleri paralel olan miller arasında hareket ileten, dişleri mil eksenine paralel açılmış dişlilere “düz dişli çark” denir.

Düz dişlilerin kavrama kabiliyetinin yüksek olması sebebiyle hareket halinde hız değiştirmek için çok kullanılmaktadırlar. Eksenel yönde kuvvet olmadığından yataklama bakımından daha basit konstrüksiyonlar şeklinde kullanılabilirler. Düz dişliler genel olarak; Hız değişimi için motorların vites kutularında, dişli pompalarda, dönme hareketinin doğrusal harekete dönüştürüldüğü kramayer dişli sistemlerinde, kaldırma ve taşıma araçlarında ve benzer şekilde endüstrinin birçok yerinde kullanılır[62].

### **2.1.2. Helisel Dişli Çarklar**

Helis dişli çarklar; birbirine yakın olan paralel, dik veya herhangi bir açıda çalışan millerde, hareketi veya kuvveti bir milden diğer mile aktarmak için kullanılan dişli çarklardır. Düz dişli çarklara göre birbirlerini daha iyi kavradıkları için düz dişlilerde görülen vuruş ve ses olayı bu dişlilerde görülmemektedir. Helisel dişliler, tatlı ve sessiz çalışması gerekli yerlerde kullanılır. Diş kavramaları iyi olduğu için yüksek devirlerde gürültüsüz çalışırlar ve aynı anda birden fazla diş kavrama kabiliyetine sahip olmaları sebebiyle büyük kuvvetleri iletebilirler. Motorların vites kutularında ve büyük güç ileten dişli mekanizmalarında yaygın olarak kullanılırlar. Çalışma esnasında dişlerin açılı olmasından dolayı aksel yönde de bir kuvvet oluştuğu için bu kuvveti taşıyabilecek şekilde desteklenmeleri gerekmektedir.

### **2.1.3. Konik Dişli Çarklar**

Eksenleri kesişen millerde kuvvet ve hareket iletmek için kullanılan ve yanal yüzeylerinin çevresine dişler açılmış olan kesik koni şeklindeki dişli çarklardır.

Genellikle hareket ve güç aktarmalarının, eksenleri kesişen miller aracılığı ile yapıldığı sistemlerde kullanılır. Oldukça büyük kuvvetlerin iletilmesinde, takım tezgahları, taşıtların dişli kutularında ve diferansiyel kutularında yaygın olarak kullanılır.

#### **2.1.4. Kramayer Dişli Çarklar**

Üzerinde düz veya helisel dişler açılmış doğrusal şekilde olan dişlilere kramayer dişli denir. Pinyon dişlisi ile birlikte bir dişli çifti oluşturarak çalışırlar. Dönme hareketini doğrusal harekete veya doğrusal hareketi dönme hareketine çevirmek için kullanılır. Büyük güç iletiminde az kuvvet uygulanması amacıyla sonsuz vida ve karşılık dişlisi ile birlikte kullanılır.

Kramayer dişli sistemi, matkap tezgahlarında milin aşağı yukarı hareket ettirilmesi, torna tezgahında arabanın kayıtlar üzerinde sağa sola hareket ettirilmesinde, kayar kapılarda, vinçlerin ileri geri hareketlerinde, asansörlerde, krikolarda yük kaldırımı amacıyla kullanılır.

#### **2.1.5. Sonsuz Vida ve Dişlisi**

Eksenleri birbirine dik veya çapraz olan bir sonsuz vida ile karşılık dişlisinden oluşan dişli çiftidir. Sonsuz vida bir trapez vidadır. Karşılık dişlisi, sonsuz vida tarafından döndürülmektedir ve üzerinde ona uygun dişler bulunmaktadır. Sistemde sonsuz vida çeviren, karşılık dişlisi ise çevrilen olarak çalışmaktadır. Yani hareket tek yönlüdür. Hareketin çarktan, sonsuz vidaya geçmesi mümkün değildir. Aksi takdirde bu dişli sistemlerinde diş kilitlenmesi meydana gelmektedir.

Bu sistem birbiriyle kesişmeyen miller arasında güç iletiminde kullanılır. Genel olarak dönme hızının yüksek oranlarda düşürülmesi gereken yerlerde kullanılır. Örnek olarak; divizörlerde, döner tablalarda, vinçlerde, kaldırma makinelerinde, taşıma araçlarında, direksiyonlarda vb. sistemlerde kullanılır.

### **2.1.6. Zincir Dişliler**

Zincir dişliler, millerin birbirine yakın olmadığı yerlerde, zincir vasıtası ile dairesel hareket ve güç ileten dişlilerdir. Bu dişli sisteminde, hareket iletiminde kayma olmamaktadır. Sessiz bir şekilde çalışmaktadırlar.

Zincir dişliler şekline göre motorlu araçlarda, vinçlerde, asansörlerde, tarım makinelerinde, tekstil sanayisinde, bisiklet, iş tezgahları gibi endüstrinin bir çok alanında kullanılmaktadır.

### **2.2. Dişlilerde Görülen Hasar Türleri**

Dişli tasarım ve imali ile ilgili çalışmalar yapanların, dişli çarklarda görülen pek çok hasarı detaylı olarak bilmesi gerekmektedir. Amerikan Dişli Üreticileri Birliği (AGMA) ulusal standardında diş hasarları beş temel sınıfa ayrılmıştır.

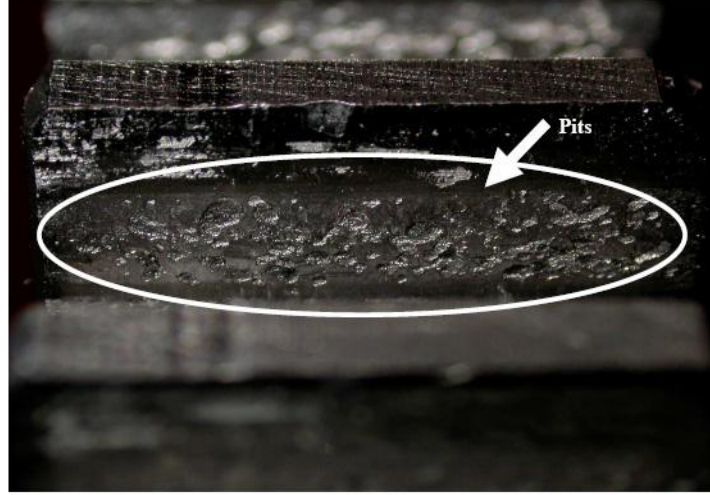
- |                           |                                    |
|---------------------------|------------------------------------|
| 1-Yüzey Yorulma Hasarları | 4-Kırılma                          |
| 2-Aşınma                  | 5-İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar |
| 3-Plastik Akma            |                                    |

Bu beş temel bozukluk alt gruplara ayrılmaktadır. Bir dişli tasarlanırken dişlinin çalışma şartlarında muhtemelen hangi tür hasarlarla karşılaşacağı bilinmelidir. Tasarımcı dişlileri uygun kuvvet, aşınma direnci gibi faktörleri dikkate alarak tasarlamalıdır[61].

#### **2.2.1. Yüzey Yorulması Hasarları**

Bu yorulma, dişli malzemesinin dayanım sınırı ötesindeki tekrarlı gerilmeleri sonucunda yüzey veya yüzey altında çatlak şeklinde oluşan bir hasar türüdür. Uygun yağlama şartlarında bile görülebilmektedir.

Aşırı basınç altında fazla sayıda yük tekrarının(çevriminin) ardından, diş yüzeyinde veya yüzey altında oluşan küçük çatlaklarının gelişip, birleşmesiyle meydana getirdikleri çatlak şebekesinin çevirdiği malzeme parçacığının kopup ayrılması sonucu ortaya çıkar ve oyuklaşma ya da pullanma adı ile anılır[63].



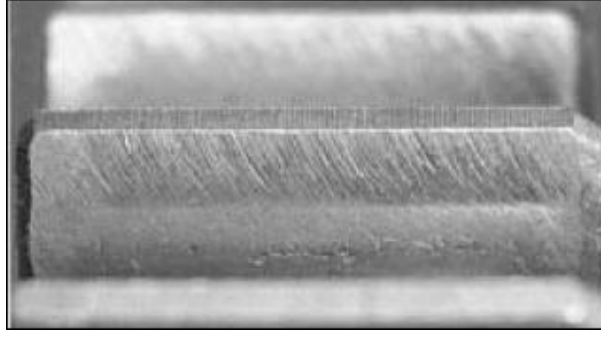
**Şekil 2.2.** Oyuklaşma Hasarı

### **2.2.1.1. Oyuklaşma**

Başlangıç, İlerleyen ve normal oyuklaşma olmak üzere 3 şekilde görülmektedir.

#### **1. Başlangıç Oyuklaşma Hasarı**

Yeni dişlilerin kullanılması esnasında bu dişlilerin pürüzlü yüzeylerinin sebep olduğu yüksek gerilmeler neticesinde oluşur. Çok kısa bir zamanda bu gerilmeler gelişir, fakat devam eden çalışma sırasında yüzeyin parlamayıp cilalanması ile etkisini kaybeder. Genellikle yuvarlanma dairesinin tam üzerinde veya biraz altında yer alan dar bir alan içinde oluşmaktadır. Başlangıç oyuklaşması oldukça küçük boyutlarda ve en çok tamamen sertleştirilmiş dişlilerde görülmektedir.

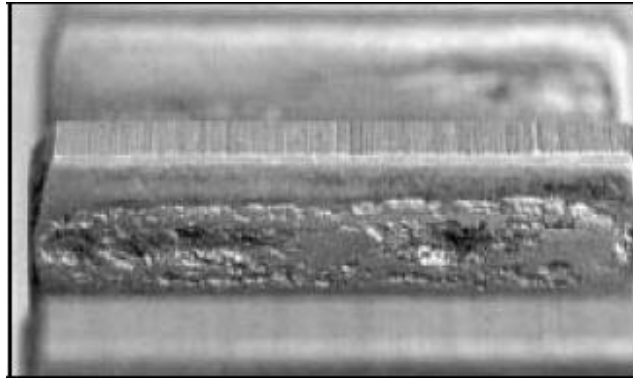


**Şekil 2.3.** Başlangıç Oyuklaşma Hasarı

## **2. İlerleyen (harap edici) Oyuklaşma Hasarı**

Genelde yuvarlanma çizgisi altında, yani dişin taksimat ve temel daireleri arasında kalan bölgesinde başlar. Çukurcuklar, hem boyut hem de sayı bakımından yüzey hasar görene kadar artış gösterir[61].

İlerleyen oyuklaşma, başlangıç oyuklaşmasının giderek kötüleşmesiyle beraber yüzey pürüzlülüğünün sebep olduğu aşırı gerilmeler sonucu oluşur. Dişliler aşırı derecede yüke maruz kaldıkları takdirde genellikle küçük çaplı olan döndüren dişlinin (pinyon) daha fazla çevrim yapması sonucu bu dişliler daha fazla gerilme tekrarına maruz kalır. Bunun neticesinde pinyon dişli, döndürülen dişliye nazaran daha fazla yıpranmaktadır.

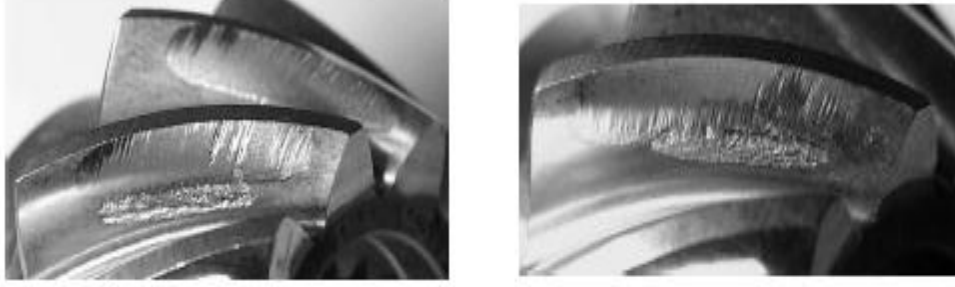


**Şekil 2.4.** İlerleyen Oyuklaşma Hasarı



### 3. Normal Oyuklaşma Hasarı

Tam kapasite ile yüklenmiş, tamamen sertleştirilmiş dişlerde yuvarlanma dairesi altında kalan bölgede öncelikle çatlak şeklinde kendini göstermektedir. Devam eden çalışma sonucu bu çatlaklar, içine yağlayıcı hapsolması sonucu çukurcuk haline dönüşmektedir ve dişlide aşınma oluşana kadar ilerlemektedir.



Şekil 2.5. Normal Oyuklaşma Hasarı

#### 2.2.1.2. Pullanma Hasarı

Pullanma, diş yüzeyinden kopan bir parçanın arkasında kalan büyükçe alanın oluşturduğu yüzey yorulma hasarıdır. Geniş çukurcukların bir araya gelmesi şeklinde ortaya çıkar. Diş yüzeyinin pürüzlü kısımları ile kopmaya eğilimli bölgelerindeki yüksek temas gerilmeleri, yüzey altı hataları, yanlış ısıl işlemler pullanma hasarına neden olmaktadır.



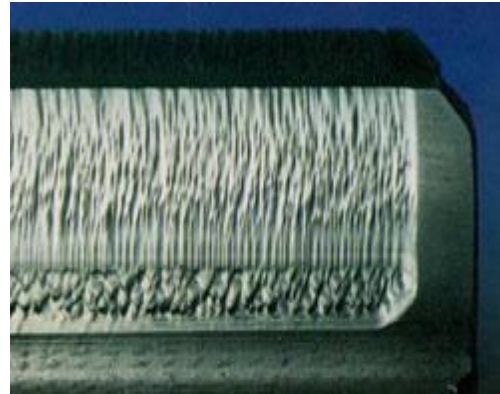
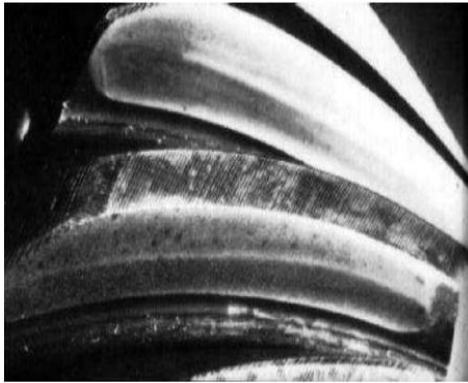
Şekil 2.6. Pullanma Hasarı

### 2.2.2. Aşınma

Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde malzemenin, istenilmediği halde kopup ayrılmasıdır. Bu şekilde, yüzeyler ilk şekillerini kaybederler; parçalar arasındaki boşluklar büyür ve buna bağlı olarak: maksimum hassasiyet azalır, dinamik kuvvetler büyür, gürültü ve titreşimler meydana gelir, verim azalır. Genel olarak aşınma, dış etkiler altında, temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişmelerin sonucudur[63]. Aşınma hasarı abrasif ve adhesiv aşınma olarak iki sınıfa ayrılabilir.

#### 2.2.2.1. Aşındırıcı Aşınması

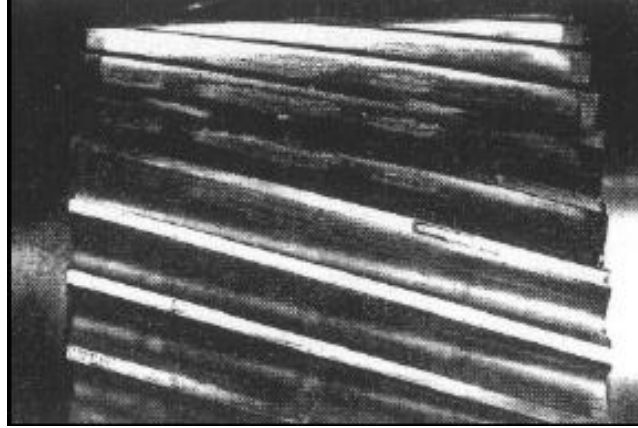
Sert yabancı parçacıkların diş yüzeyine teması sonucu oluşan aşınma türüdür. Bunlar; dişli kutularından gelen kirler, dökümden gelen çapak, dişlerden veya yataklardan dökülen parçacıklar, yağlayıcı ile taşınan parçacıklar olabilir. Dişli imalatı sonrası sertleştirilme ısı işlemine tabi tutulan dişli yüzeyleri çok kaba olabilmekte ve bunun sonucunda dişli çifti olarak beraber çalıştıkları diğer dişlinin yüzeylerini aşındırabilmektedirler.



Şekil 2.7. Abrasiv Aşınma

#### 2.2.2.2. Adhesiv(Yapışma) Aşınma

En çok rastlanan aşınma türüdür ve dişlilerin temas yüzeylerindeki yüksek mekanik gerilmeler sonucu mikro kaynakların oluşarak malzeme geçişine sebep olması şeklinde kendini gösterir. Elastik ve plastik deformasyonlar sonucu büyüyen mikro temas yüzeylerinin toplamı, gerçek temas yüzeyini meydana getirir. Gerçek temas yüzeyinin küçük olması, birbirine temas eden noktalarındaki gerilmeleri küçük yüklemelerde dahi akma mukavemeti değerine, hatta onun da üzerindeki değerlere eriştirir. Bunun sonucunda moleküler yapışma kuvvetleri etkisini gösterir ve bir dişli yüzeyinden diğerine malzeme geçişi yani, mikro soğuk kaynaklar oluşmaya başlar. Çalışma esnasında bu mikro kaynakların kopup başka noktalarda yeni birleşmeler meydana getirmesi malzeme geçişine ve aşınmanın devamına neden olur.



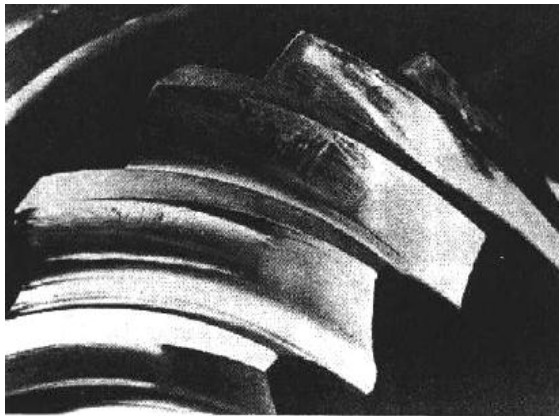
**Şekil 2.8.** Adhesiv Aşınma

Scuffing (çizilme), diş yüzeyinde kayma yönündeki hafif, radyal çizikler şeklinde görülen bir adhesiv aşınma türüdür. Bu aşınma türüne, dişler arasındaki yüksek basınç, yağ filminin yetersizliği, yüksek temas sıcaklıklarının oluşmadığı düşük devir hızlı çalışma şartları neden olur. Scuffing aşınması, yağlayıcı viskozitesinin artırılması veya yükün azaltılmasıyla önlenebilir.



**Şekil 2.9.** Scuffing

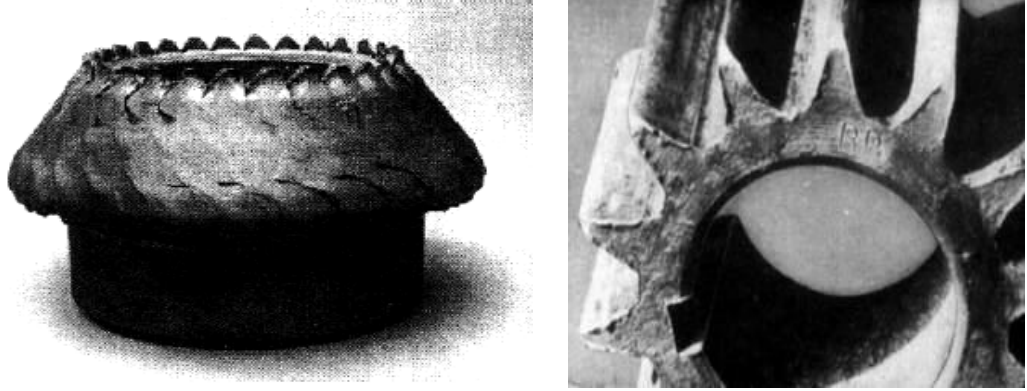
Scoring, adhesiv aşınmanın şiddetli formudur ve eş çalışan dişlilerde yağ filminin bozularak görevini yerine getirmemesi sonucu metal metale, yüksek sıcaklık altındaki teması ile mikro kaynakların oluşması sonucu diş yüzeyinden kalkan parçacıkların hızlı kaybı olarak tanımlanmaktadır. Çalışma esnasında kayma olayının sebep olduğu kuvvetler eş çalışan, temas halinde olan yüzeylerden birinde çok hafif bir oyuk ve karşı yüzeyde de bu oyuğun izdüşümünü oluşturarak aşınmaya neden olurlar. Aşınma mikroskobik olarak başlayıp bununla beraber çok hızlı gelişir. Scoring oluşmasına doğrudan sebep olan faktörler; yüksek temas sıcaklığı, yüksek temas basıncı, yağ filmi yetersizliği, yağ filmi bozulması ve pürüzlü diş yüzeyleridir.



**Şekil 2.10.** Scoring

### 2.2.3. Plastik Akma

Plastik akma, dişli malzemesinin temas alanına akma gerilmesinin üstünde yük uygulanması sonucu meydana gelen istem dışı soğuk şekillenmedir. Eğer basma kuvvetleri çok yüksekse veya titreşim yüksek yüklere neden oluyorsa (özellikle dişli yumuşaksa) diş yüzeyleri ezilmiş ve yuvarlanmış hale gelir. Bu hasar çizgilerinin nedenleri malzeme ve yükler olmasına rağmen daha yüksek viskoziteli yağ, darbeleri azaltmada ve plastik akmayı önlemede yardımcı olur[64]. Yumuşak malzemelerde ve ağır yük altındaki dişli yüzeylerinde daha sık görülmektedir.



Şekil 2.11. Plastik Akma

### 2.2.4. Kırılma

Kırılma en kötü, en istenmeyen dişli hasarıdır. Dişlilere uygulanan eğilme kuvvetleri, diş kökündeki kavislerde maksimum gerilmelere neden olur. Bir diş, çalışma esnasında temas yüzeyinde çekme ve basma gerilmelerine maruz kalmaktadır. Çekme gerilmesinin dişli malzemesinin mukavemet sınırını aşması sonucu yorulma çatlakları oluşmakta ve çalışma ile beraber dişin çark gövdesinden ayrılmasına kadar bu çatlaklar ilerlemektedir. Çatlak, kök kavislerinde başlayıp dişe paralel veya dik yönde tamamen kırılmaya sebep oluncaya kadar ilerlemektedir. Kırılma, çatlakların ve yüzeydeki dairesel dalga şeklindeki izlerin gözlenmesiyle takip edilebilir.

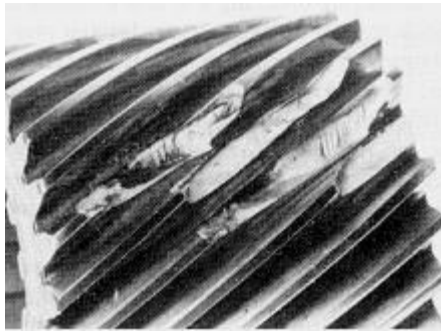
Yorulma kırılmaları fazla yükleme, kök birleşim yerlerinde çentik oluşumu, ısıtım işlem çatlakları gibi nedenlerle malzemenin mukavemet sınırı üstündeki tekrarlı eğilme gerilmelerinden kaynaklanır. Hatalı tasarım sonucu fazla yükleme, eksen kaçıklığı ve eksenler arası paralellikten sapma, aşırı yük sonucu çentik oluşumu, yüzey veya yüzey altı hataları gibi etkenler yorulma kırılmasına sebep olmaktadır.



**Şekil 2.12.** Diş Dibi Kırığı

#### **2.2.4.1. Az Çevrimli Kırılma (Darbe Kırılması)**

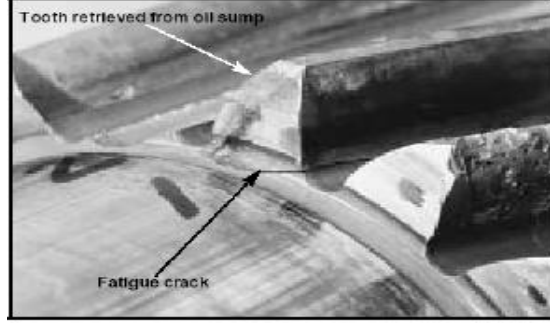
Aşırı yük altında az çevrimli çalışma sonucu ortaya çıkar. Bir grup dişin tek yükleme bölgesinde aşırı yüke maruz kalarak plastik akmaya uğraması ve dişin kök bölgesinde kırılması şeklinde görülür. Bu tip hasarlar, ani ve aşırı yüklemelerin, eksen kaçıklıklarının ve dişliler arasına kaçan yabancı parçacıkların engellenmesiyle ortadan kaldırılabılır.



**Şekil 2.13.** Darbe Kırılması

#### 2.2.4.2. Bükülme Yorulması Kırığı

Oldukça çok sayıda yük tatbik edilmesi esnasında, çatlağın yayılmasıyla birlikte görülen kırığa denilir. Kırılma yüzeyi, yorulma ve son kırılma yüzeyleri olmak üzere iki ayrı bölgeye sahiptir. Yorulma bölgesinde görünür herhangi bir plastik deformasyon belirtisi yoktur. Yüzey düz, hasır görünüşüne sahiptir. [61]

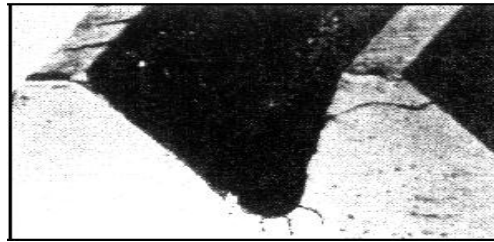


Şekil 2.14. Bükülme Yorulması Çatlağı ve Kırığı

#### 2.2.5. İmalat Sırasında Oluşan Hasarlar

##### 2.2.5.1. Sertleştirme (Su Verme) Çatlakları

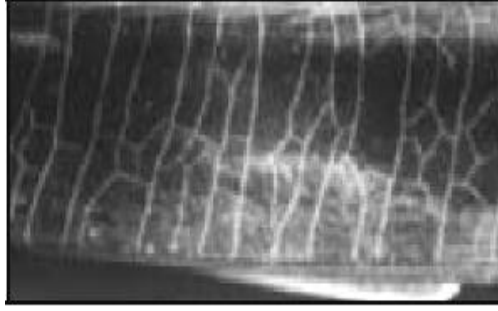
Isıl işlem çatlakları, östenitleşme sıcaklığından soğutma sırasında oluşan martenzit yapı ile aşırı gerilmeler sonucu ortaya çıkar. Çatlaklar dişin tepe bölgesinde boydan boya veya diş kenarında radyal doğrultuda olabilirler. Tamamen sertleştirmeye nazaran alevle veya endüksiyonla sertleştirmede daha fazla görülür. Bu çatlaklarla karşılaşıldığında kullanılan malzeme ve ısıl işlem yöntemi kontrol edilmelidir.



Şekil 2.15. Sertleştirme Çatlağı

### 2.2.5.2. Taşlama Çatlakları

Dişli imalatı sırasında diş yüzeylerinin taşlanması sonucu ortaya çıkar. Genellikle belirli bir alanda gruplanmış model şeklinde ve birbirine paralel olan kısa çatlaklar olarak görülmektedir. Taşlama taşının dişli yüzeyine aşırı basınç uygulaması veya dişli malzemesinin metalografik yapısından kaynaklanan çatlak oluşumuna meyilli özelliği sebebiyle bu çatlaklar oluşmaktadır.



Şekil 2.16. Taşlama Çatlağı

### 2.3. Makine Performanslarının İzlenmesi ve Hata Teşhis Yöntemleri

Makinelerin çalışma şartlarının ve performanslarının izlenmesi için çeşitli parametrelerden faydalanılmaktadır. Performansı gözlemlenecek makinede çalışma şartları ve ölçüm yapılacak noktaların özelliklerine bağlı olarak seçilen bu parametreler yardımıyla makinenin performansı, belirli bir zaman aralığında gözlemlenebilmektedir. Makinelerin çalışma şartlarının belirlenmesinde kullanılan parametreler;

1. Sıcaklık
2. Yağ Analizi
3. Akıntı ve Sızıntılar
4. Basınç
5. Gürültü
6. Titreşim olup, bunların izlenmesi ile performans hakkında objektif değerlendirme yapılabilmektedir[65].



**Çizelge 2.1.** Makinelerin çalışma şartlarının belirlenmesinde kullanılan parametrelerin hata türlerini belirlemesi [44]

<b>Makinalardaki Arıza Nedeni</b>	<b>Sıcaklık</b>	<b>Basınç</b>	<b>Sızdırma</b>	<b>Yağ Analizi</b>	<b>Titreşim</b>
<b>Dengesizlik</b>					X
<b>Eğik Mil - Eksen Kaçıklığı</b>	X				X
<b>Rulmanlı Yataklarda Hasar</b>	X			X	X
<b>Kaymalı Yataklarda Hasar</b>	X	X	X	X	X
<b>Dişlilerde Hasar</b>				X	X
<b>Mekanik Gevşeklik</b>					X

Çizelge 2.1. de makinelerde görülen çeşitli hasarların belirlenmesinde kullanılan parametrelerin etkinliği görülmektedir. Bu parametrelerden hata tespitinde en fazla bilgiyi veren ve en etkin olanı titreşim analizidir.

### **2.3.1. Sıcaklık Kontrolü**

Makine üzerinde önceden belirlenen kritik noktalarda örneğin yataklar üzerinde yağ sıcaklığı ya da soğutma suyu sıcaklıklarından alınan ölçümlerin, başlangıçta normal çalışma şartlarında yapılan ölçümlerden alınan referans sinyallerinin karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Aradaki farkın, belirlenen sınır değeri aşması halinde makinede bir hasar olduğu böylelikle tespit edilmektedir.

### **2.3.2. Yağ Analizi**

Yağ ve filtre kontrolü ile makinelerde oluşan hasarlar tespit edilebilmektedir. Yağ içinde metalden dökülen parçacıkların miktarı ve tane büyüklüğünün analizi, yağın

renginin koyuluğu, su karışık olması, köpüklenmesi makinelerin çalışma şartları hakkında bilgi vermektedir.

### **2.3.3. Akıntı ve Sızıntıların Kontrolü**

Makinelere akıntı sebebiyle oluşan basınç düşmelerinin oluşturduğu yüksek frekanslı ses sinyallerinin ultrasonik cihazlarla tespit edilerek akıntı ve sızıntıların kontrolü mümkündür.

### **2.3.4. Basınç Kontrolü**

Makinelerin çeşitli yerlerine yerleştirilen manometre vb. türde analog ya da dijital okuyucularla yağ, hava, soğutma suyu gibi akışkanların basınç ölçümleri ile makinelerin çalışma performansı ölçülebilmektedir[65]. Akışkan basıncındaki düşüş makine parçaları arasındaki boşluk toleransının artmasına ve mil, yatak gibi makine elemanlarının aşınmasına neden olmaktadır.

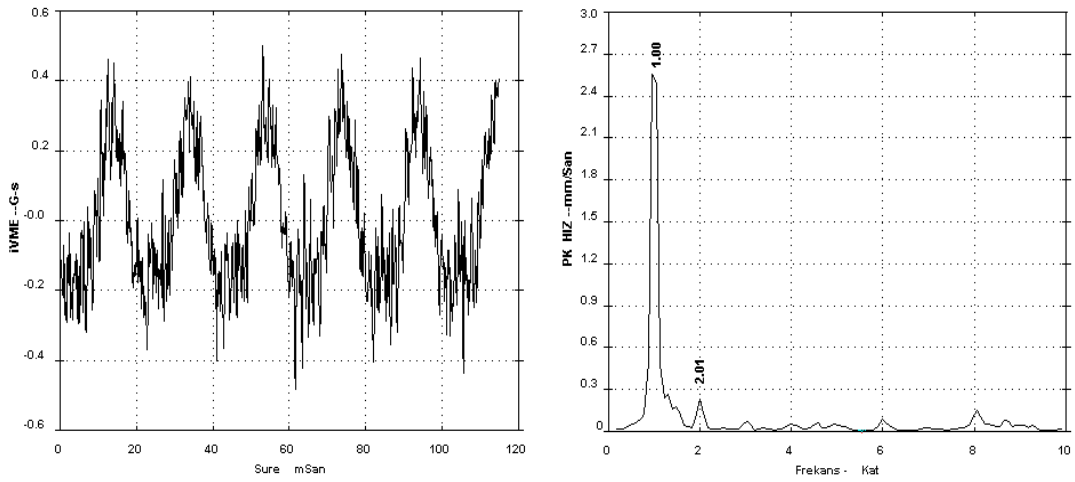
### **2.3.5. Gürültü Kontrolü**

Makine ve elemanlarında oluşan titreşimlerden doğan gürültü sinyallerinin frekansları ölçülüp, analiz edilmesi ve normal çalışma şartlarındaki değerlerle karşılaştırılmasıyla makinelere oluşan hasar türlerini belirleyebilmek mümkündür.

### **2.3.6. Titreşim Kontrolü**

Titreşim, makinelerin içyapısında oluşan olayları en iyi yansıtan parametre olduğu için günümüzde kestirimci bakım, titreşim ölçümü ve analizi ile gerçekleştirilmektedir[66]. Bu yöntemde öncelikle yatak gibi makine elemanlarının üzerine yerleştirilen sensörler vasıtasıyla makinelerin ilk çalışma şartlarındaki titreşim ölçümleri veri toplama cihazı ile alınmakta ve titreşim ölçümleri dijital

analog çevirici ile bilgisayara kaydedilmektedir. Böylelikle referans titreşim ölçümleri belirlenmektedir. Makinelerdeki titreşim seviyesi periyodik veya sürekli olarak ölçülerek bilgisayar programları vasıtasıyla dalgaform (genlik-zaman) ve spektrum (genlik-frekans) grafikleri ile takip edilmektedir. Makine elemanlarında arıza oluşmaya başladığı zaman artan titreşim ölçümleri, referans ölçümlerle karşılaştırılarak ve hesapla belirlenen arıza frekanslarının, ölçülen titreşim değerlerinde olup olmadığının, varsa şiddetinin kabul edilebilirlik sınırları içinde kalıp kalmadığının analiziyle makinelerde oluşan arızaların tehlikeli bir hal almadan önce belirlenmesi mümkün olmaktadır.



**Şekil 2.17.** Dalgaform ve Spektrum Grafiği

#### **2.4. Dişli Çarklarda Frekans Analizi ile Hata Tespiti**

Dişlilerdeki hata ve arızaların tespitinde titreşim sinyallerinin yorumlanması, dişli kutularının kompleks ve bir çok parçanın etkileşiminden oluşmasından dolayı oldukça zordur. Dişli hataları (aşınma, dengesizlik, gevşeklik, kırılma v.b.) hata türüne özgün belirgin titreşimler oluşturmaktadır. Bu sebeple diğer makine elemanlarında olduğu gibi dişli hataları da titreşim analizi ile yan bantların oluşması ve yan bantların aralıklarını yorumlayarak hangi dişte arıza oluştuğu belirlenebilmektedir.

Dişli arızaları oluştuğu zaman düşük genlikli fakat yüksek frekanslı titreşimler oluşmakta ve bu titreşimler dişli kavrama frekansında ve harmoniklerinde görülmektedir. Diş kavrama frekansı, giriş dişlisin diş sayısı ile giriş dişlisi devir sayısının çarpımına eşittir. Dişli kavrama frekansı,  $GMF=Diş\ sayısı \times dişli\ dönme\ devri$  ifadesinden hesaplanır.

#### **2.4.1. Frekans Analizi**

Frekans analizi ile hatanın tespiti ve neden kaynaklandığı hakkında bilgi edinilebilmektedir. Frekans analizi, önemli titreşim seviyelerinin oluşturduğu frekansları işaret etmekle birlikte bunların mekanik bir olayla; örneğin bir milin dönme hızı, balanssızlık, eksen uyuşmazlığı, diş kavrama frekansı bağlantılarını da ortaya koyar[65]. Frekans analizi ile karmaşık bir yapıdaki titreşim sinyali değişik frekanslarda bileşenlere ayrılmaktadır.

Frekans analizi yapılırken incelenen frekans aralıkları üç kategori altında değerlendirilmektedir. Bunlar;

- a) Düşük Frekans Aralığı
- b) Orta Frekans Aralığı
- c) Yüksek Frekans Aralığı olarak ele alınır.

Bu üç frekans aralığı bir frekans spektrumunda bulunmaktadır ve bunların içinde yer alan frekansların titreşim genlikleri vasıtasıyla makinelerin dönen parçalarının hata tespitinde kolaylıklar sağlamaktadır. Düşük frekans aralıklarında yapılan çalışmalarda herhangi bir makinenin mil dönme hızında balanssızlık, eksen kaçıklığı, mil eğriliği gibi hataların belirlenmesine yardımcı olur. Orta düzeyde frekans aralığında dişlilerde aşınma ya da dişlilerden birinde çatlak oluşumu gibi hatalar tespit edilebilmektedir. Yüksek frekans aralığında ise bir rulmanlı yatağın herhangi bir elemanında oluşan hatanın tespit edebilmesi mümkündür.

## 2.4.2. Dişli Arızaları

Diş profilindeki yanlışlıklar, dişler arasındaki boşluk hataları ve dişlerdeki sehimler hareket iletiminde hatasına sebep olmaktadır. Hareket esnasındaki iletim hataları da dişlilerin titreşimine yol açmakta ve dişli hatalarına sebep vermektedir.

Dişlilerdeki titreşimin en önemli sebebi üretim ve montaj hataları kadar dişli kavramaları esnasında rijitliğin sabit olmamasıdır. Tüm makine elemanları çalışmaları esnasında yorulmaya maruz kalmaktadır. Yorulma tüm çalışan makine elemanlarında olduğu gibi dişlilerde de hasarlar oluşturmaktadır. Dişlilerde yorulma sebebiyle oyuklaşma ve kabarma hasarları oluşmaktadır. Oyuklaşma, diş yüzeyinden çok az miktarda malzemenin koparak ayrıldığı, yüzey yorulma hasarıdır. Kabarma, büyük yüzey gerilmeleri ve büyük kayma gerilmelerinin beraber etki etmesi sonucu oluşur. Bir dişte oyuklaşmış bölge kavramaya girerse darbeleri temastan dolayı gerilme dalgaları oluşur. Bu dalgalar düşük genliklidir, etkili bir şekilde kullanılırsa hasarın erken belirlenmesinde bundan yararlanılabilir[67].

Dişlilerde çatlak oluşumu ile tamamen arızanın meydana gelmesi arasında önemli bir zaman farkı vardır. Hasar oluşmaya başladıktan sonra hasarın ilerlemesi ilk aşamalarda oldukça yavaştır. Hasar ilerleyip tamamen arızalanma safhasına geldiğinde ise hasar şiddetindeki artış hızlanmaktadır. Bu sebeple hasarın ilk aşamalarda belirlenmesi sağlıklı çalışma şartlarının sürekliliği açısından oldukça önemlidir.

Sağlam dişlilerde, dişli kavrama frekansında titreşimler görülmektedir. Dişli kavrama esnasında doğrusal olmayan durumlardan dolayı kavrama frekansı ile birlikte onun harmonikleri de oluşmaktadır. Dişli kavrama frekansı ve harmoniklerindeki titreşim genliği değişimine bakarak kavrama halindeki dişliler hakkında, hasar tespiti hususunda önemli veriler elde edilebilmektedir. Örneğin dişlilerdeki eksen kaçıklığını, aşınma, dengesizlik, gevşeklik, kırılma vb. hasarları belirlemede genlik modülasyonu önemli bilgiler içerir. Diş aralığının değişken olması bölüm dairesinde sıkı olmayan, gevşek bir temas noktasını oluşturur ve bu yapı frekans modülasyonlarına neden olmaktadır. Diş temas yüzeylerindeki düzensizlikler, dişlere

etki eden yük miktarında değişmelerine neden olur ve bu da genlik modülasyonunu oluşturmaktadır.

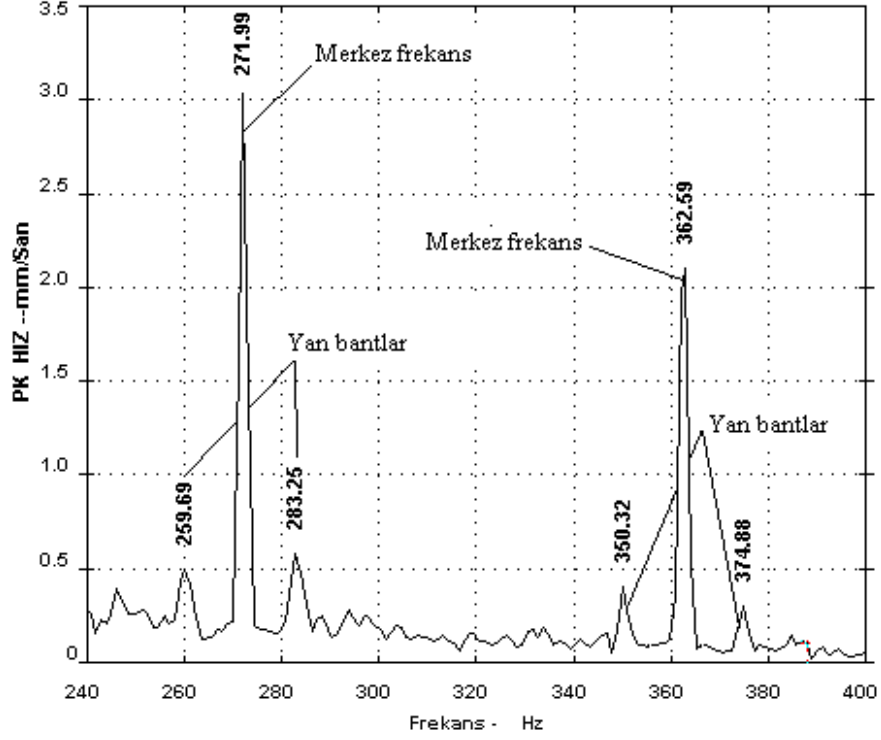
Dişliler sağlam durumda çalışırken, spektrum grafiğinde yan bant frekanslarındaki titreşim genlikleri zamanla değişmeyerek, sabit bir Şekilde görülmektedir. Grafikte alışma sonucu yan bantların sayısı ve Şiddetindeki değişmeler bir bozulmaya işaret etmektedir. Dişlilerde genellikle mil devrinin bir katında oluşan genlik ve frekans modülasyonu sağlıklı olmayan bir çalışmanın varlığını gösterir.

Dişli zerindeki bir dişte hasar meydana geldiğinde bu dişin kavramaya her girişinde bir vuruuntu oluşmaktadır. Bu vuruuntu helisel dişlilerde aksenel yönde doğal frekansları, düz dişlilerde ise radyal yönde doğal frekanslarının oluşmasına neden olmaktadır. Vuruuntu tekrarlanma hızının etkisiyle bu frekanslar modülasyona uğramaktadır. Vuruntuların Şiddeti zamanla değişmektedir. Spektrum grafiğinde oluşan frekans, sönümlenmesi yüksek, geniş bir banda yayılmıştır durumdadır ve dişli kavrama frekansından daha düşük bir seviyede seyretmektedir. Bu frekans, problemlili dişe sahip dişlinin hızında modülasyona uğramaktadır.

Bir dişlide kırılma hasarı oluştuğunda, bu diş kavrama esnasında diğer dişe temasında darbe sinyaline sebebiyet vermektedir. Kırık dişliden sonra sağlam dişlinin kavramaya girmesiyle darbeden kaynaklanan titreşim genliği azalır. Kırık dişli sayısı kadar darbe sinyali oluşmaktadır. Bu durum titreşim spektrumunu çok karışık hale getirmektedir.

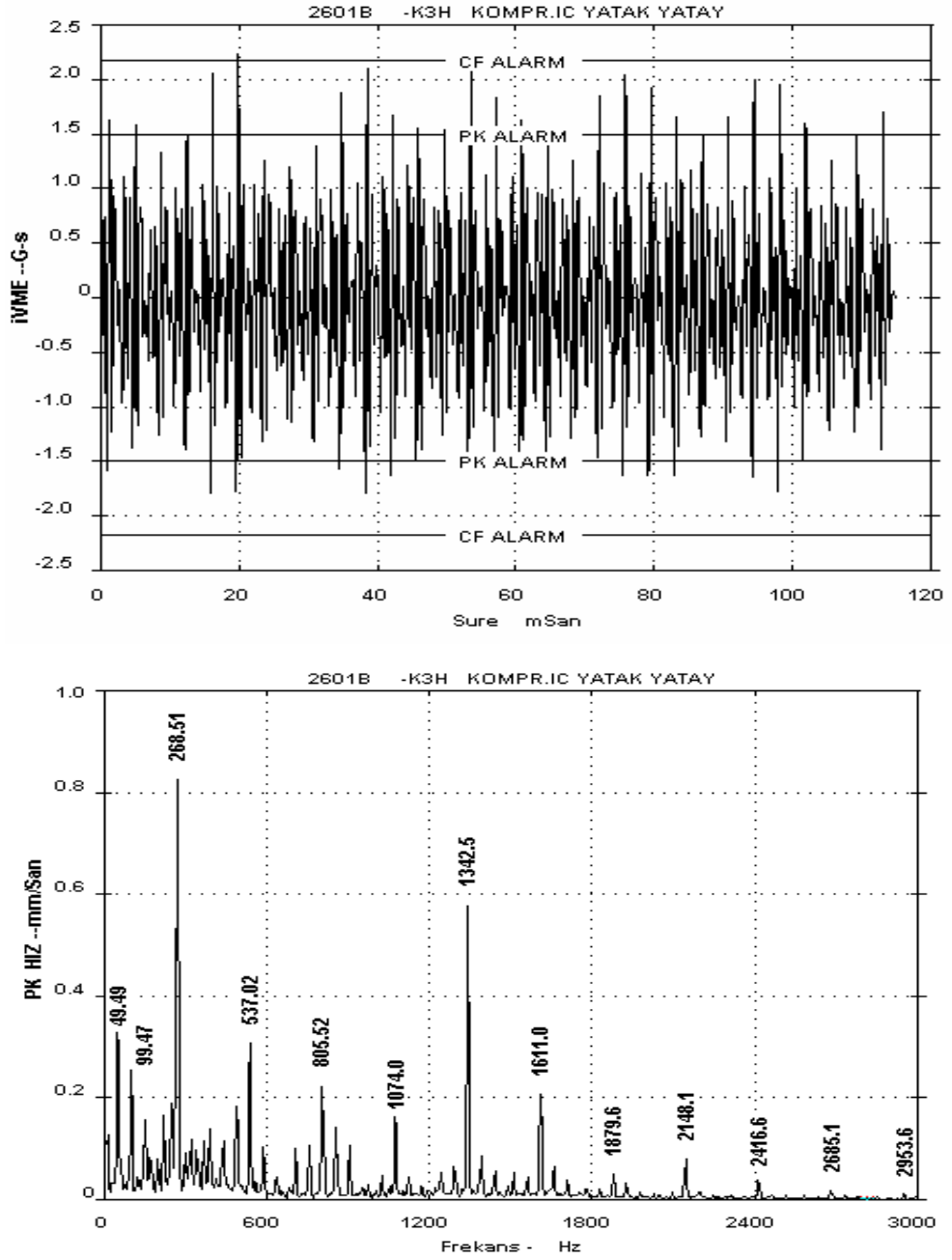
Dişli kavrama frekansının sağ ve sol tarafındaki yan bantlar dişlinin eksantrik ve gevşek olduğunu gösterir. Kavrama frekansının sağ tarafındaki yan bantların titreşim genliği, sol taraftaki yan bantların titreşim genliğinden daha büyükse eksantriklik hatasının ilerlediği anlaşılmaktadır. Eğer kavrama frekansının sol tarafındaki yan bantların genliği, sağ tarafındakinden daha büyükse gevşeklik hasarının oluştuğu anlaşılmaktadır. Yük miktarındaki değişimler, eksen kaçıklığı, mil ve dişlideki eksantriklikler, dişli kavrama frekansındaki titreşimlerin artmasına sebep olmaktadır. Bu durumlar, dişli frekansındaki titreşimleri genlik ve frekans modülasyonuna

uğratmaktadır. Modülasyona uğramış olan dişli kavrama frekansındaki titreşimler, spektrum grafiğinde dişli frekansında ve yan bant frekanslarında görülebilmektedir.



**Şekil 2.18.** Tipik yan bant oluşumu

Mil üzerinde gevşek olan helisel bir dişliden elde edilen dalga form ve spektrum grafikleri şekil 2.19’da görülmektedir. Spektrum grafiğinde Kavrama frekansının 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 katları ve bunların mil devri ile oluşturdukları yan bantlar görülmektedir. Dalgaformunun da düzensiz bir yapıya sahip olması bu teşhisi doğrulamaktadır[66].



Şekil 2.19. Gevşek takılı helisel dişlinin oluşturduğu titreşim grafikleri

Dişlilerde dengesizlik (balanssızlık) sebebiyle oluşan hasarlar dişlinin devir sayısındaki frekansta kendin göstermektedir. Titreşim tepeleri bu frekansta oluşmaktadır. Dişli eksenlerinde kaçıklık ve sonucunda oluşan dişli uyumsuzluğu titreşimin ana kaynaklarından biridir. Bundan kaynaklanan belirgin titreşim sinyalleri mil devir sayısının bir ve ikinci katlarında bazen de üçüncü ve dördüncü katlarında



gözlemlenmektedirler ve ayrıca dişli kavrama frekansını da aksel ve radyal doğrultuda titreşimler yaratarak tahrik edebilmektedirler[65].

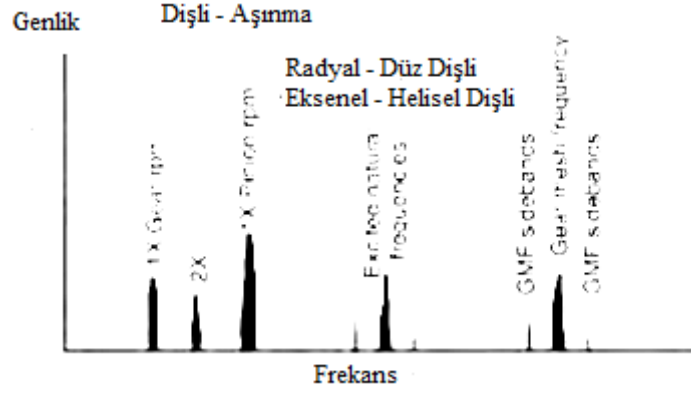
Dişlilerde hata oluştuğu zaman, spektrum grafiğine bakılarak dişli kavrama frekansı ve katlarında tepeler şeklinde titreşim genliklerine rastlanmaktadır.

Dişli sistemlerinde titreşim ölçümü ile durum izleme yapılırken ölçümlerin radyal ve aksel yönde alınması gerekmektedir. Alın dişli çarklarda hasarlar genellikle radyal doğrultuda ki ölçümlerde tespit edilebilmektedir. Helisel dişlilerde ise problemler ve hatalar genelde aksel doğrultuda oluşmaktadır.

Dişler arasındaki boşluk hatası gibi dişli geometrisi sebebiyle oluşan hatalarda düşük devir hızlarında büyük bir sorun oluşmazken, yüksek devir hızlarında dinamik faktörlerin etkisiyle büyük sorunlar çıkarabilmektedir. Dişler arasında oluşan hasarlar ile diş profil hatalarının birleşmesi sonucu yüksek frekanslı titreşimler oluşmakta ve bunlar dişli ömrünü kısaltmaktadır. Dişli çarkların ağır bir şekilde yüklemesi sonucu dişli kavraması sırasında elastik deformasyonlar oluşmaktadır. Kavramaya giren yüksüz diş karşı dişe çarparak hasarın oluşmasına neden olmaktadır. Bunu önlemek için diş profilinde uçlara doğru modifikasyon yapılmaktadır.

Diş aralığı ve profil sebebiyle oluşan bütün hasarlar dişlilerin dönel hareketinde düzensüzlüğe yol açmaktadır. Örneğin dişlinin helis açısındaki bir hata dişte yükün küçük bölgelere yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Diş eğer üniform yük taşımak üzere tasarlanmışsa bu düzensüzlük dişlide diş kırılması ile sonuçlanacaktır.

Dişli aşınmasının en önemli karakteristik göstergesi dişli doğal frekansının ve çevresinde yanbantların oluşmaya başlamasıdır. Bunlar bozuk dişlinin çalışma hızı ile aralanmışlardır. Aşınma varken, yüksek genlikli yanbantlar dişli kavrama frekansını çevrelemesine rağmen, dişli kavrama frekansı genlikleri değişebilir veya değişmeyebilmektedir. Yanbantlar, dişli kavrama frekansından daha iyi bir aşınma göstergesine sahiptir[68].



**Şekil 2.20.** Dişli Aşınma Hasarının Frekans Genlik Grafiği

**Çizelge 2.2.** Dişli Hataları ve Spektrum Grafiğindeki Frekans Değerleri

<b>HATA TİPİ</b>	<b>HATA SONUCU OLUŞAN FREKANSLAR</b>
Mükemmel Dişli	DKF ve harmonikleri
Dişteki aşınma ve boşluk	DKF ile onun yan bantları
Milin eksantrikliği (dağınık hata)	DKF' ye yakın yüksek genliğe sahip yan bantlar ve harmonikler
Çatlak diş (bölgesel hata)	Spektrum grafiğinde geniş alana yayılan yan bantlar
Boşluk ya da millerin paralel olmayışı (motordan gelen kaplin ile sisteme ait milin paralel olmayışı)	DKF' ye yakın yüksek genlikli yan bantlar
Aşırı boşluk	DKF ve dişli doğal frekanslar ve frekanslarda 1*Devir sayısı kadar yan bantlara sahip olur. Dişli boşluğu varsa DKF genlikleri genellikle yük arttıkça azalır.
Dişli eksen kaçıklığı	Dönme devri ile yan bant oluşturan DKF'nın 2 veya daha yüksek harmonikleri (2, 3, 4 *DKF gibi) görülür.
Kırık diş	Dişin 1*Devir sayısı (milin takılı olduğu)'de yüksek genlikler ve dişli doğal frekansı ve yan bantlarında

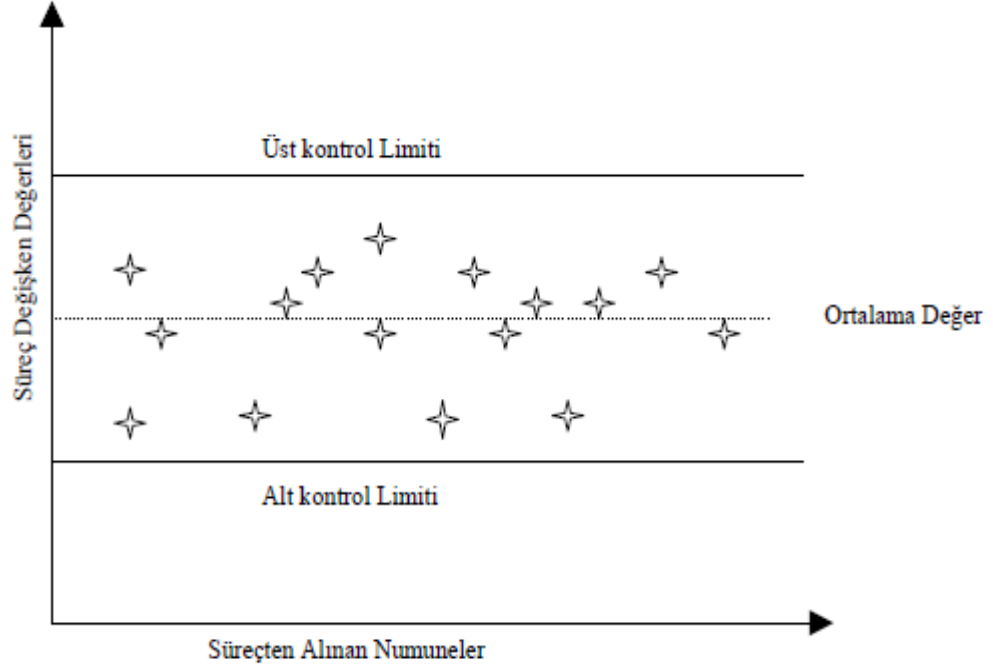
## 2.5. İstatistiksel Proses Kontrol

İstatistiksel proses kontrol, bir ürünün üretim sürecinde (proses) istenilen kalite şartlarının sağlamak, süreç içerisinde ürünlerde hata oluşumunu tespit etmek ve süreci iyileştirmek amacıyla kullanılan istatistiksel yöntemleri içermektedir. İstatistiksel proses kontrol, bir ürünün süreç içerisinde kalite göstergesi olan çap, boy, ağırlık, açı, titreşim genliği gibi değişkenlerin İPK grafiklerinde çizelgenerek sürecin gözlemlenmesinden ibarettir.

Kontrol çizelgelerinin kullanım amaçları şunlardır;

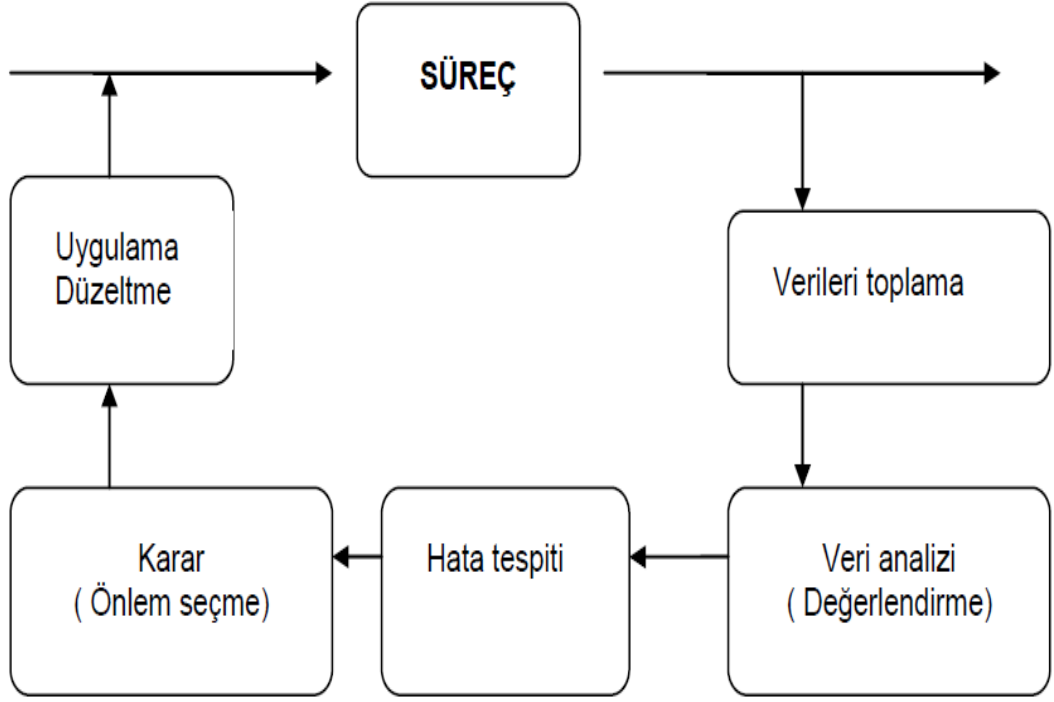
1. Mevcut bir sürecin kontrol edilebilirliğinin (yeterliliği) hangi sınırlar içinde olduğunu belirlemek,
2. Süreç değişikliklerinin analizini yapmak,
3. Bir sürecin istatistiksel olarak kontrol altına alınıp alınamayacağının kontrolü,
4. Kararlı olmayan süreci gözlemek ya da süreçte bir değişiklik olduğunda, erken uyarı sağlamak amacıyla kullanılır.

Bir proses kontrol çizelgesi genel olarak, bir merkezi hat olan proses ortalaması ile bunun altına ve üstüne çizilen alt kontrol ve üst kontrol limitlerinden oluşur. Merkezi hat, karakteristiğin hedef değerini; limitlerle sınırlanmış alan ise müsaade edilen kontrollü alanı gösterir. Süreç devam ettikçe elde edilen değerler çizelgeye işlenir.



**Şekil 2.21.** Örnek Süreç Kontrol Grafiği [69]

Çizelgelerde üründen alınan ölçüm değerleri ya da bunlardan üretilen bir istatistik değer kullanılır. Bu değer, kontrol bölgesi olarak adlandırılan bir değer aralığındaysa sürecin kontrol altında olduğu kabul edilir. Değer kontrol bölgesi dışında ise bu durum bir kontrol-dışı sinyal olarak nitelenir ve süreçte hataya yol açan bir özel nedenin (hata kaynağının) etkili olduğuna hükmedilir. Süreç, mümkünse durdurularak, bu neden araştırılır, saptanır ve ortadan kaldırılması için gerekli önlemler alınır[35]. Bu şekilde sürecin istatistiksel özellikleri görsel biçimde sunulmuş olur. Bu işlem süreç esnasında operatörün denetimine kolaylık sağladığı gibi, aynı zamanda çizelge değerlerinin analiziyle sürekli bir proses iyileştirmesine gidilebilir.



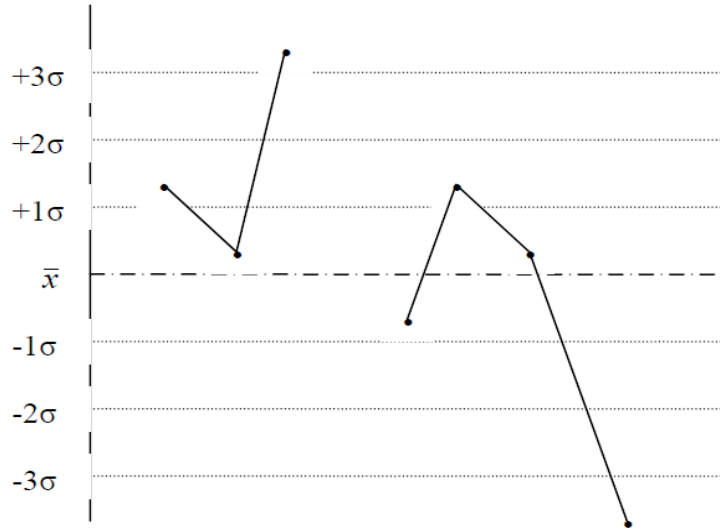
Şekil 2.22. İPK uygulamasında kullanılan klasik kontrol sistemi[70]

#### Sürecin Kontrol Altında Olduğu Durumlar;

1. Sınırlar dışında nokta yok,
2. Noktaların çoğu süreç ortalaması civarında,
3. Proses ortalama çizgisinin altında ve üstünde eşit sayıda nokta,
4. Noktalar rasgele sıralanmış yani şüpheli bir davranış yok ise süreç kontrol altında demektir.

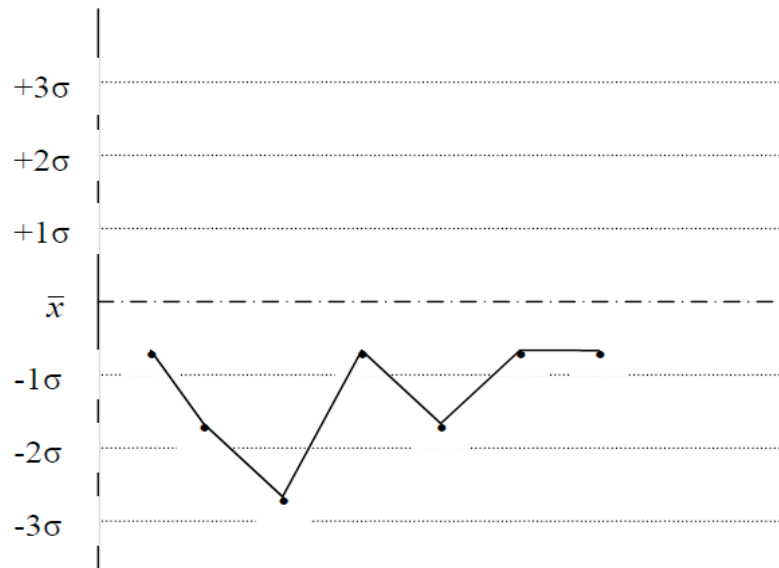
## Sürecin Kontrol Dışına Çıktığı Durumlar;

1. Bir veya daha fazla noktanın kontrol limitleri dışına çıkması,



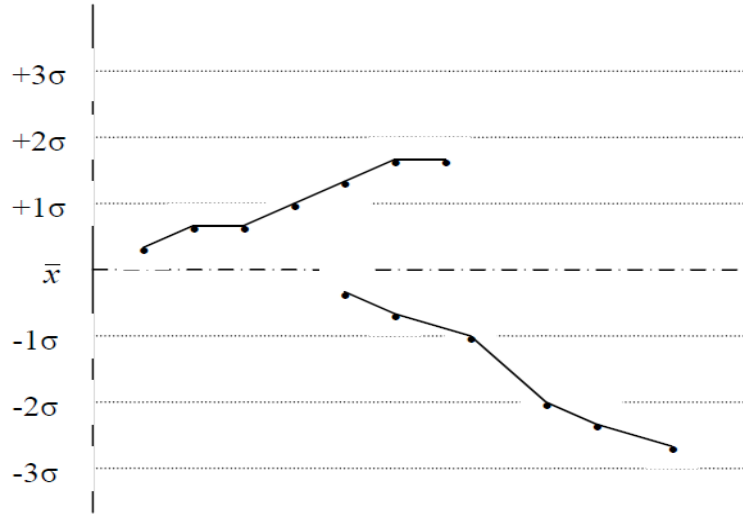
Şekil 2.23. Kontrol limiti dışındaki nokta durumu[70]

2. Ard arda 7 noktanın hepsinin merkez çizginin altında ya da üstünde kalması



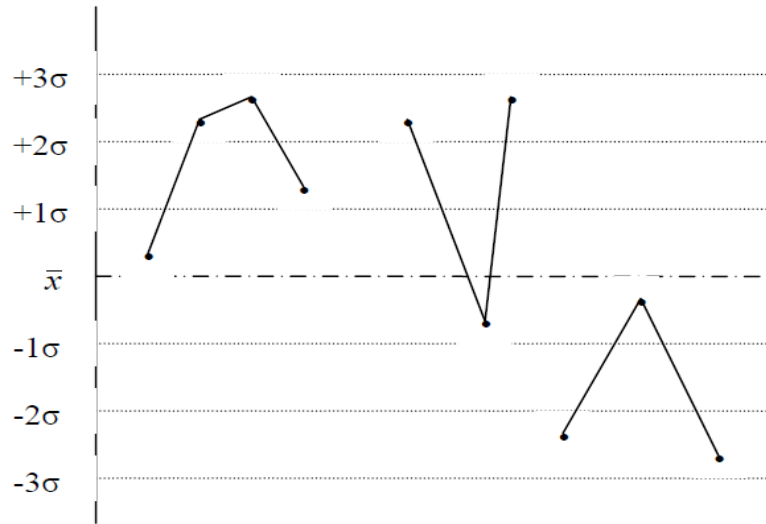
Şekil 2.24. Proses ortalama çizgisinin altında eşit olmayan sayıda nokta durumu

3. Ard arda 7 noktanın artan veya azalan eğilim göstermesi



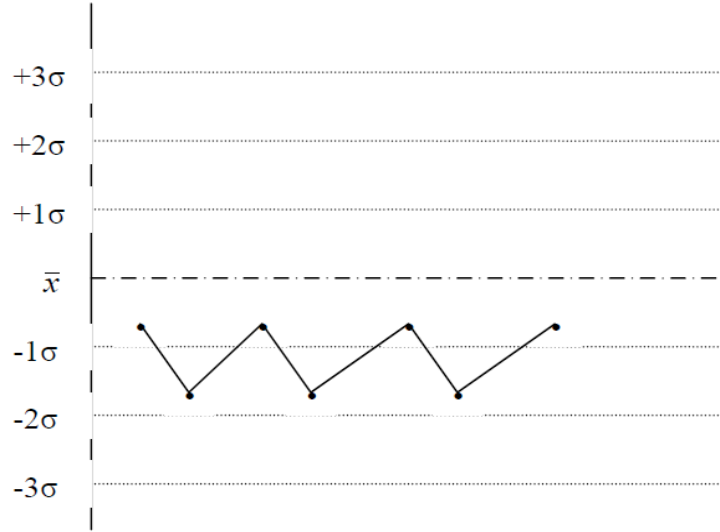
Şekil 2.25. Noktaların artan ya da azalan bir trend gösterdiği durum

4.  $3\sigma$  çizgisi yakınındaki her 3 noktadan 2 sinin  $2\sigma$  çizgisi dışına taşması



Şekil 2.26.  $3\sigma$  çizgisi yakınındaki her 3 noktadan 2 sinin  $2\sigma$  çizgisi dışına kalması

## 5. Noktaların periyodik olarak değişim göstermesi



Şekil 2.27. Noktaların rasgele olmayan, periyodik bir şekilde sıralanması durumu

Kontrol grafikleri, incelenen veri türünün ölçülebilir veya ölçülemeyen kalite karakteristiği olmasına göre iki ayrı grupta değerlendirilir.

### 1. Ölçülebilen Kalite Özelliği;

Bunlar çap, boy, ağırlık, aç, titreşim genliği, sertlik, uzunluk, hacim v.s gibi alet ve cihaz yardımıyla ölçülebilen ve rakamsal olarak ifade edilebilen özelliklerdir.

### 2. Ölçülemeyen Kalite Özelliği;

Bunlar ise ürünlerdeki kırık, çatlak, kusurlu, bozuk, lekeli, pürüzlü, v.s gibi duyu organlarıyla değerlendirilebilen özelliklerdir.



### 2.5.1. Ölçülebilir Veriler için Kontrol Grafikleri

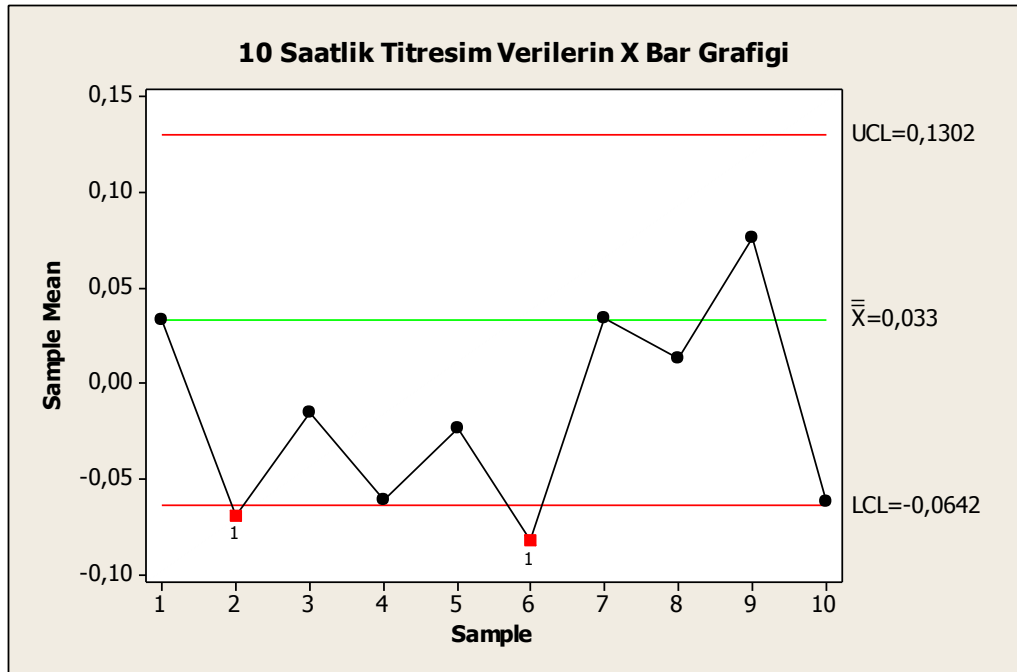
Bu tip özellikler için süreç ortalamasındaki farklılıkları ölçen  $\bar{X}$ , değişkenlikteki farklılıkları ölçen R ve süreç standart sapmasını ölçen S grafikleri kullanılmaktadır.

#### 1. $\bar{X}$ ve R Grafikleri

Örnek hacmi küçükse ( $n \leq 10$ ) ortalama ile birlikte değişkenlik farkı çifti şeklinde uygulanır. Bu uygulama ile hem ortalama hem de değişkenlik bakımından sürecin kontrol altında olup olmadığı incelenebilmektedir.

##### a) $\bar{X}$ Grafikleri

Ortalamalarla ilgili  $\bar{X}$  kontrol grafiği sürekli değişkenlik gösteren yani ölçülebilen örneklerin ortalamalarında meydana gelen değişimleri izlemektedir ve izlemede değişkenlik sadece tesadüfi nedenlerden kaynaklanmakta ise ana kitle ortalamasının orta çizgi ile ifade edilebileceği varsayılmaktadır[71].



Şekil 2.28.  $\bar{X}$  Grafiği

Ana kitle ortalamasının bilinmediği veya kesin olarak belirlenemediği durumlarda yeterli sayıda örnek yardımıyla ana kitle ortalamasının deneysel olarak bir tahminini yapmak mümkündür. Deneysel örnekleme bölünmesinin de ortalaması olan ve  $\bar{\bar{X}}$  ile ifade edilen bu tahmin k sayıda örnek ortalamasının ortalaması ile yani,

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} \quad (2.1)$$

eşitliği ile belirtilmekte ve bu değer ana kitle ortalamasını temsil etmek üzere kontrol grafiğinin orta çizgisini belirtmektedir. Ana kitle standart sapması biliniyorsa normal bölünmeye uygun olarak orta çizgiden  $\pm 3\sigma_x$  yani 3 standart hata uzaklıklar içinde örnek ortalamalarının % 99.73'ünün bulunması beklenecektir.

Alt ve üst kontrol limitlerinin belirlenmesinde standart tablolarındaki  $A_2$  değeri ile örneklerle ilgili olarak hesaplanmış olan değişim aralıklarının ortalamasından yani  $\bar{R}$  'den yararlanılmaktadır.

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (\text{ölçülen değerlerin en büyüğü ile en küçüğü arasındaki fark}) \quad (2.2)$$

$\bar{R}$  değeri ise k sayıda örneğe ait R değerlerinin ortalaması alınarak bulunur.

$\bar{R} = \frac{\sum R}{k}$  formülü yardımıyla elde edilmektedir.  $A_2R$  değeri  $3\sigma_x$  'nin uygun bir tahmini olduğundan, yani,

$$3\sigma_x = A_2\bar{R} \quad \text{olduğundan,} \quad (2.3)$$

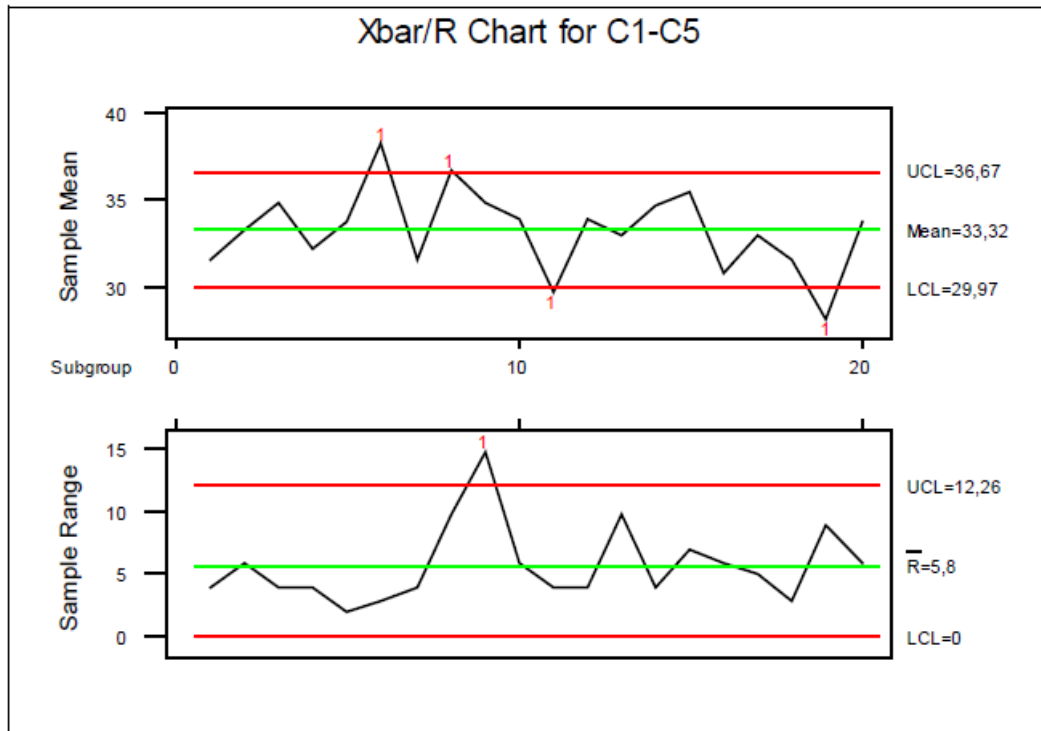
$$\text{Üst Kontrol Limiti: ÜKL} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad (2.4)$$

$$\text{Alt Kontrol Limiti: AKL} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad (2.5)$$

## b) R Grafikleri

R grafiği örneklere ait değişim aralıklarındaki değişkenliği incelemek amacıyla kullanılmakta olup kalitedeki dağılmanın araştırılmasında en yaygın olarak başvurulan araçtır.

Bu tür kontrol grafiklerinde orta çizgi  $\bar{R}$  ile gösterilmektedir. Kontrol sınırları ise orta çizgiden  $\pm 3\sigma_R$  uzaklıkta olacaktır ki  $\sigma_R$  burada örnekleme değişim aralığı ile ilgili standart hatayı belirtmektedir. Ancak  $\bar{X}$ 'den farklı olarak R'lerin örnekleme bölünmesi normal olmayıp pozitif asimetriye sahiptir. Bu durum ise küçük örnekleme kullanıldığında alt kontrol sınırının negatif olması sonucunu çıkarır. Ancak R değerleri negatif olamayacağından böyle bir durumda alt limit sıfır (0) olarak alınır[71].



şekil 2.29.  $\bar{X}$  ve R Grafiği

R için kontrol grafiğinde orta çizgi  $\bar{R}$  olarak belirtildikten sonra;

$$\text{Üst Kontrol Limiti : } \quad \text{ÜKL} = \bar{R} + 3\sigma_R \quad (2.6)$$

$\sigma_R$ 'nin hesaplanmasına gerek duyulmadan ve doğrudan,

$$\text{ÜKL} = D_4 \bar{R} \quad (2.7)$$

$$\text{Alt Kontrol Limiti : } \quad \text{AKL} = \bar{R} - 3\sigma_R \quad (2.8)$$

Benzer şekilde  $\sigma_R$ 'nin hesaplanmasına gerek duyulmadan ve doğrudan,

$$\text{AKL} = D_3 \bar{R} \quad (2.9)$$

Olarak elde edilecektir.

$\bar{R} \pm 3\sigma_R$  sınırları dağılımın araştırılmasında iyi sonuçlar vermekte ve kaliteyi saptıracak herhangi bir özel durum bulunmadığı hallerde R değerleri bu sınırlar içinde kalmaktadır. Çeşitli örnek mevcutları için  $D_3$  ve  $D_4$  tabloları hazırlanmıştır.

## 2. $\bar{X}$ ve S Grafikleri

$\bar{X}$  ve R kontrol grafiklerine benzeyen  $\bar{X}$  ve S kontrol grafikleri alt grup ortalamaları ve alt grup standart sapmalarını gösteren iki grafikten oluşur.  $\bar{X}$  kontrol grafiği uzun dönemli, S kontrol grafiği ise kısa dönemli değişkenliği tespit eder. S kontrol grafiğinin alt gruptaki değişkenliği belirleme özelliği,  $\bar{X}$  kontrol grafiğinin daha doğru çalışmasını sağlar[70].

Aşağıdaki durumlarda  $\bar{X}$  ve S kontrol grafikleri alternatifi olan  $\bar{X}$  ve R kontrol grafiklerine tercih edilir.

1. Örnek hacmi n' in,  $n > 10$  veya  $n > 12$  gibi orta büyüklükte olması durumunda
2. Örnek hacminin örnekten örneğe değişkenlik gösterdiği durumlarda

$\bar{X}$ -S kontrol grafikleri; çok sayıda örnek hacmi içeren süreçlerde süreç değişkenliğini daha verimli ve etkili bir şekilde göstermektedir. Bu avantajına rağmen hesaplanması daha zor ve değişkenliklerin özel nedenlerini ortaya çıkarmakta daha az duyarlıdır.

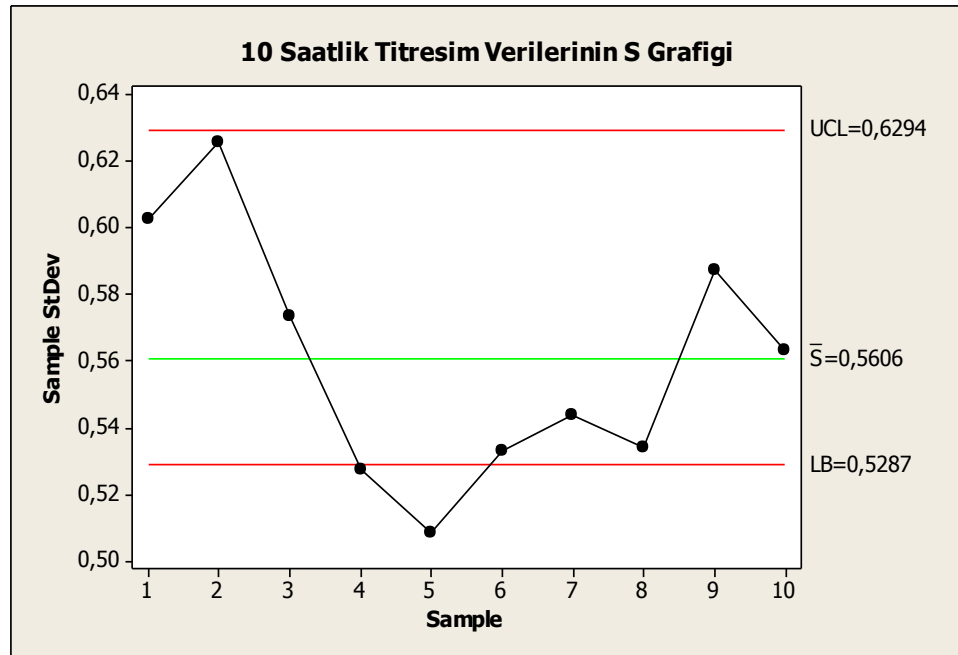
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.10)$$

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i \quad (2.11)$$

$$\text{Üst Kontrol Limiti : } \text{ÜKL} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S} = B_4 \bar{S} \quad (2.12)$$

$$\text{Merkez Çizgi : } \text{MÇ} = \bar{\bar{X}} = \bar{S} \quad (2.13)$$

$$\text{Alt Kontrol Limiti : } \text{AK} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S} = B_3 \bar{S} \quad (2.14)$$



**Şekil 2.30.** S Grafiği

## 2.5.2. Ölçülemeyen Veriler İçin Kontrol Grafikleri

Değişimleri sayısal olarak ölçüm aletleriyle ölçülemeyen, örneklerin kırık, çatlak, bozuk, lekeli, kusurlu v.s. gibi duyu organlarımız aracılığıyla değerlendirilebilen özellikler için kontrol grafikleri oluşturularak üretim sürecini izlemek mümkündür. Bu grafiklerde ya kusurlu parça sayısı ya da bir parçadaki kusur sayılarının analizi yapılır. Bu tür grafiklerin başlıcaları örnekteki kusurlu oranını baz alan p ve örnekteki kusur sayısını baz alan c kontrol grafikleridir.

### 1. P Kontrol Grafiği

Ürünlerin kusurlu olup olmadıklarının araştırılması ve süreçten alınan örneklerin ortalaması yerine kusurlu oranlarının kontrol edilmesi durumunda p grafiği kullanılmaktadır. Burada gruptaki her ürün ya kusurlu ya da değildir ve şemaya gruptaki kusurlu yüzdesi işaretlenmektedir.

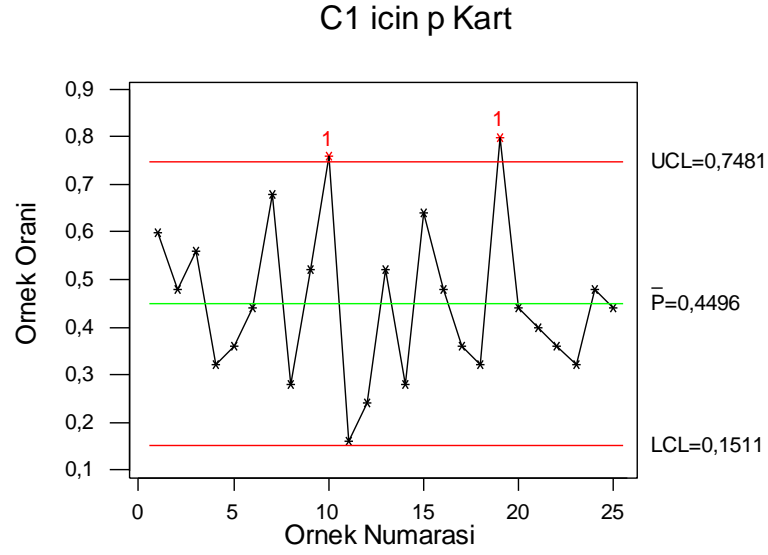
$$\bar{p} = \frac{\text{Toplam Kusurlu Adeti}}{\text{Muayene Edilen Toplam Birim Adeti}}$$

$\bar{p}$  : Ortalama Kusur Yüzdesi

$$\text{Üst Kontrol Limiti :} \quad \text{ÜKL} = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2.15)$$

$$\text{Alt Kontrol Limiti :} \quad \text{AKL} = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2.16)$$

Ölçülebilen verilerin kontrol grafiklerinde olduğu gibi herhangi bir noktanın veya noktaların limitler dışında kalması halinde ilgili örnekler analiz dışı bırakılarak kontrol limitler yeniden belirlenir ve daha sonra muayene edilecek olan örneklerin bu limitler içinde olup olmadığı araştırılarak üretimde ortaya çıkabilecek sorunlar önceden çözümlenebilir.



**Şekil 2.31.** P Grafiği

## 2. C Kontrol Grafiği

Bu tür grafikler bir örnek veya birim başına kusur sayısının kontrol altında olup olmadığının araştırılması için kullanılmaktadır. Bir üründe aynı tür birçok kusur oluşabilmektedir. Burada bir üründeki kusur sayısı belirlenerek kontrol grafiğine noktalar halinde işaretlenir.

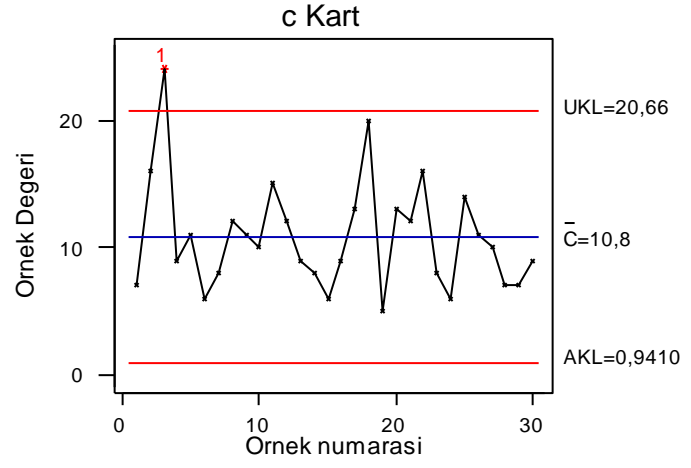
Ortalama Kusur Sayısı =  $\bar{c}$

$$\bar{c} = \frac{\sum c_i}{k} \quad (2.17)$$

Üst Kontrol Limiti :  $\text{ÜKL} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.18)$

Alt Kontrol Limiti :  $\text{AKL} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.19)$

1	7	16	9
2	16	17	13
3	24	18	20
4	9	19	5
5	11	20	13
6	6	21	12
7	8	22	16
8	12	23	8
9	11	24	6
10	10	25	14
11	15	26	11
12	12	27	10
13	9	28	7
14	8	29	7
15	6	30	9



**Şekil 2.32.** 30 Örnekteki Kusurlu Değerleri İçin C Kartı



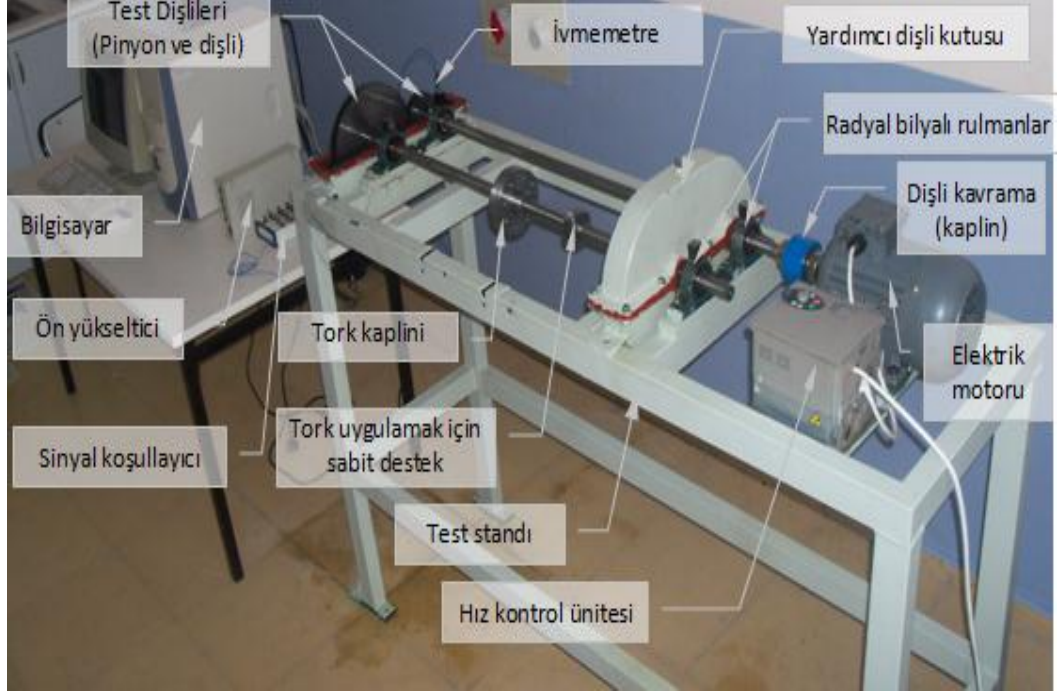
### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. Deney Düzenegi

Kapalı devre güç iletim sistemine sahip dişli test düzenekleri, dişlilerin deneysel çalışmalarında çok yaygın olarak kullanılan bir cihazdır. Yapılması planlanan deneyleri gerçekleştirebilmek için dişli aşınma deney düzenegi imal edilmiştir.

Düzenekte dişliler, kama ve pim ikilisi ile mile bağlanır. Daha sonra mil, rulmanlı yatak kanalının içinden geçirilir ve yatak pimleri sıkılır. Böylece dişli arızaları, rulmanlı yatak üzerinden ölçülebilir. Dişli kutusu açılmadan yapılan bu ölçümler ile kusurların belirlenmesi, tahribatsız erken uyarıcı metot olan kestirimci bakım metodudur. Bu yaklaşımla deney düzenegi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ölçüm grafiklerinin elde edilmesi için bilgisayar destekli mekanik düzenek haline getirilmiştir. Deney düzenegi, montaj sırasına göre aşağıda belirtilen parçalardan oluşur.

1. Kontrüksiyon
2. Motor
3. Kaplin
4. Miller
5. Yataklar
6. Dişliler
7. Dişli Kutuları
8. Yük Uygulama Mekanizması
9. Hız Kontrol Cihazı
10. İvmemetre
11. Titreşim Analiz Cihazı
12. Dijital-Analog Çevirici



**Şekil 3.1.** Deney Düzenegi

Konstrüksiyon, yükleme düzeneğinin motorun alt hizasından daha aşağı konumda olması sebebi ile yere monte edilemez. Bu nedenle konstrüksiyon, düşey olarak belirli bir yükseklikte olmalıdır. Bu yükseklik miktarı, ergonomik şekilde olmalıdır.

Deney düzeneğinin montajı için ilk olarak konstrüksiyonun ayak kısımlarındaki lama delikleri denk gelecek şekilde, deneyin yapılacağı laboratuvarın beton zeminine her bir ayak için 1 adet olmak üzere matkapla toplam 4 adet delik açılır. Her bir deliğe çelik dübel çakılır. Konstrüksiyon ile zemin arasında sönümleme etkisi göstermesi için lamanın temas yüzeyi ölçülerinde kauçuk parça konulur. Daha sonra çelik dübellerin somunları sıkılarak Şekil 3.2’de görüldüğü gibi konstrüksiyon zemine sabitlenmiş olur.



**Şekil 3.2.** Konstrüksiyonun zemine montajı

Motor, kaplin ile mile bağlanır. Mil üzerindeki pinyon dişliler, çevrilen dişlileri ters yönde döndürerek diğer milin de hareket etmesini sağlamaktadır. Miller, yataklara bağlı olduğu için motorun tahriki ile hareket başlar ve çalışma sistemi olarak adlandırılır. Motor ve yataklar konstrüksiyona titreşim sinyalleri iletir. Motor, konstrüksiyona monte edilirken benzer şekilde konstrüksiyon ve motor arasına temas yüzeyi ölçüsünde kauçuk parça konulur. Yataklar, konstrüksiyona monte edilirken de motor ile konstrüksiyon arasına konulan kauçuğun kalınlığında ve temas yüzeyi ölçüsünde kauçuk parça konulmuştur. Böylece konstrüksiyon ve dişli çalışma sistemi arasına sönümleyici etkisi olan kauçuk parçalar konularak, çalışma sistemi titreşimlerinin konstrüksiyona iletilmemesi amaçlanmaktadır.

Piyasada satılan rulmanlı yataklarda titreşim ölçümü yapılacak ivme metre temas yüzeyinin oluşması için genellikle yatay ve düşey doğrultularda talaş kaldırılır. Daha sonra talaş kaldırılan bu yüzeylere taşlama yapılır. Eksenel yönde de ölçüm yapılması, deneysel çalışmanın boyutu için önem taşımaktadır. Bu nedenle küp parçalar, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, rulmanlı yataklar üzerine bazik kaynak yapılarak birleştirilmiştir.



**Şekil 3.3.** Üzerine kúp parça kaynatılmış rulmanlı yatak

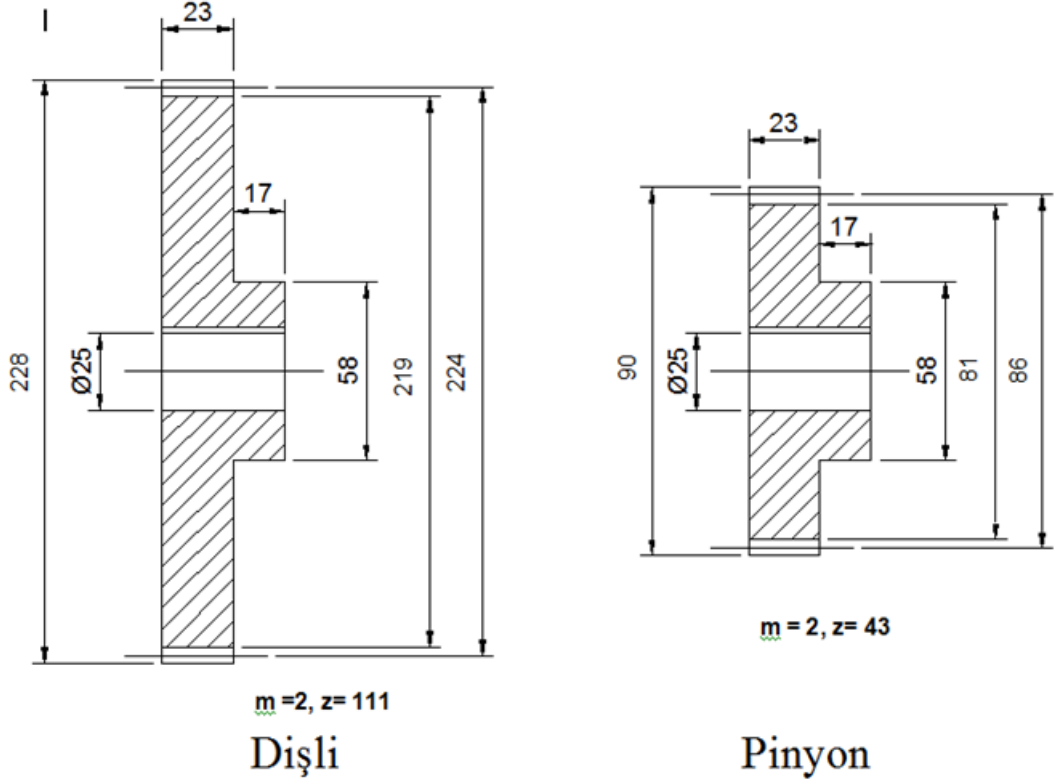
Deney düzeneğinde sadece motor ile mil arasına kaplin konulmuştur. Montajı zor olduğu halde titreşim ölçümlerinin değeri açısından kaplin sayısının mümkün olduğu kadar az sayıda olması gerekmektedir. Bu sebeple miller de yekpare olarak imal edilmiştir.

Dişlilerin çalışma esnasında yağlanması gerekir. Yağlanmayan dişliler, arızalanmaya çok yakındır. Bu sebeple, daldırma yağlama yöntemi ile dişliler yağlanmıştır. Dişli kutularında yağ olarak aşınmaya karşı, korozyona karşı koruma, soğutma özelliği ve yağ filmi oluşturma kabiliyeti bakımından 90 numara dişli yağı kullanılmıştır.

Deney düzeneğinde 220-240 Volt ve 50-60 Hz koşullarında çalışabilen 1.1 kw gücünde, hızı 1460 d/d ya kadar çıkabilen üç fazlı(trifaze) AC doğru akım motoru kullanılmıştır. Bu tahrik motoru, TELEMKANIQE marka hız kontrol cihazına bağlı olup, hız kontrol cihazı ile devir sayısı hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir. Deneyde kullanılan pinyon ve çevrilen dişliler ile ilgili özellikler çizelge 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Deneyde kullanılan dişlilerin özellikleri

	Pinyon Dişli	Çevrilen Dişli
<b>Diş Üstü Çapı (mm)</b>	90	228
<b>Diş Sayısı</b>	43	111
<b>Modül (mm)</b>	2	2
<b>Diş Genişliği (mm)</b>	23	23
<b>Malzeme</b>	GG25 Pik Dökme Demir	GG25 Pik Dökme Demir
<b>Isıl İşlem</b>	Yok	Yok

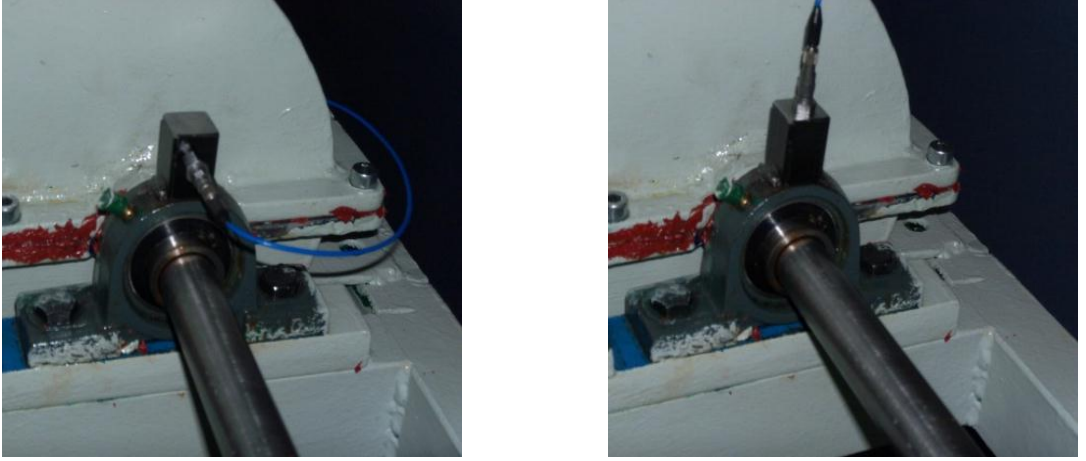


**Şekil 3.4.** Deneyde Kullanılan Dişlilerin Yapım Resimleri

### 3.2. DeneYlerin Yapılışı

Deneyde ölçülecek olan titreşim, dişli titreşimdir. Dişli titreşimleri radyal ve eksensel olmak üzere 2 yönde ölçülmektedir. Dişlilerin rulmanlı yataktaki küp üzerinden yapılan titreşim ölçümlerinde eksensel yön x, radyal yön y ile belirtilmiştir.

Şekil 3.5. te görüldüğü gibi giriş dişli kutusu pinyon dişli yatağının üzerine manyetik olarak sabitlenebilen radyal ve eksensel yönde titreşimi algılayabilen piezo-elektrik ivme alıcısı yerleştirilmiştir. İvme alıcısı, titreşimin oluşturduğu basınç yüzünden elektrik sinyalleri üretmekte ve bu sinyaller şarj yükselticisinde yükseltilerek buradan A/D veri toplama kontrol kartına aktarılmaktadır. A/D veri toplama kontrol kartına elektrik sinyali(analog) olarak gelen ölçüm değerleri burada bilgisayar yazılımı vasıtasıyla ivme değerlerine dönüştürülmektedir. Zaman tanım bölgesindeki bu titreşim sinyalleri daha sonra Fourier analizi kullanılarak frekans tanım bölgesine aktarılmıştır. Fourier analizini gerçekleştirmek için sinyal, farklı merkez frekanslara sahip bir dizi analog filtreden geçirilmiştir.



**Şekil 3.5.** İvme metrenin bilyalı rulman üzerine radyal ve eksensel olarak sabitlenmesi

Dişli titreşimleri ölçülürken algılayıcının doğru yerleştirilmesi önemlidir. Bazen hatalı dişliler darbeler üretebilir ve algılayıcı doğru yerde yerleştirilmezse, bu darbeler kaydedilemez. Algılayıcının yerinin doğruluğu, kullanılan dişlinin tipi, makinenin yapısı ve tipine bağlı olarak değişir. Dişli kutusunun belirli bir

noktasından kaydedilen veriler dişli kutusunda yer alan dişli tarafından etkilenmektedir. En iyi sinyal ölçme konumu algılayıcının yük bölgesinde yerleştirilmesi ve dişliye en yakın rulmanlı yatak üzerinden elde edilmesi ile mümkündür.

Deney düzeneğinde aynı çevrim oranına sahip iki dişli kutusu bulunmaktadır. Sisteme yükleme, dişli kutuları arasındaki çıkış milinin burulmasıyla yapılmaktadır ve bu işlem sırasında düzenek hareketsiz konumdadır. Test dişli kutusu ve yardımcı dişli kutusu arasında 2 parça halinde bulunan ve tork kaplini ile birbirine bağlanan milin yardımcı dişli kutusu tarafında bulunan parçasının üzerine metal bir bilezik ve bu bileziğin üzerine açılmış olan deliğe bir cıvata takılması ve cıvatanın boyu, konstrüksiyona yerleştirilen ayarlanmış sabit desteğe getirilmesi suretiyle sistem hareketsiz kılınmaktadır. Daha sonra iki parça halinde olan milin, test düzeneği tarafında bulunan parçasına bir moment kolu vasıtasıyla ağırlık asılır. Böylece söz konusu mil parçası burulmuş olur. Deneylerde 200 Nm burulma momenti çalışılacağından moment koluna 20 kg ağırlık asılmaktadır. Ağırlık asılı haldeyken, tork kaplini üzerinde bulunan cıvatalar sıkılarak kapalı devre tamamlanır. Ardından sabitleme cıvatası çıkarılır. Bu sayede burulan milin uğradığı açısız deformasyon kapalı devredeki tüm millere ve dolayısıyla dişlilere iletilmiş olmaktadır. Yükleme için uygulanan burulma momentinin yönü, motorun dönüş yönünün aksi istikametindedir. Deneylerde motor devri 1000 d/d olarak sabit devirde çalıştırılmıştır.

### **3.3. Deneylerde Kullanılan Dişlilerin Aşınmasının Teorik Olarak Hesabı**

Deneyde kullanılan dişlilerin teorik olarak ne zaman aşınmaya başlayacağını tespit etmek amacıyla dişlilerin boyutları, malzeme özellikleri, dişlilere etki eden kuvvetler ve burulma momenti, motorun güç devri gibi veriler dikkate alınarak mukavemet hesabı yapılmıştır. Aşınma diş yanaklarında meydana gelmektedir. Dişlinin yanaklarında pitting başlaması, dişinin yüzeyine yakın yerlerde çatlaklara ve bu çatlaklarda kayganlığı önleyerek parça kopmalarına sebep olmaktadır.

Büyük dişli çarka etki eden kuvvet aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$$\sum M = 0 \quad (3.1)$$

$$F_1 \times 0.112 - 200Nm = 200Nm$$

$$0.112 \times F_1 = 200Nm$$

$$F_1 = 1785.71N$$

$$W = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (3.2)$$

$$w = \frac{2 \times \pi \times 1000}{60} = 104,7 \text{ rad/s}$$

Pinyon dişliye etki eden kuvvet ise motor gücü dikkate alınarak hesaplanmıştır.

$$P = T \times w \quad (3.3)$$

$$1000 = T \times 104.7$$

$$T = 9.55Nm$$

$$T = F_2 \times 0.043$$

$$F_2 = 222.1N$$

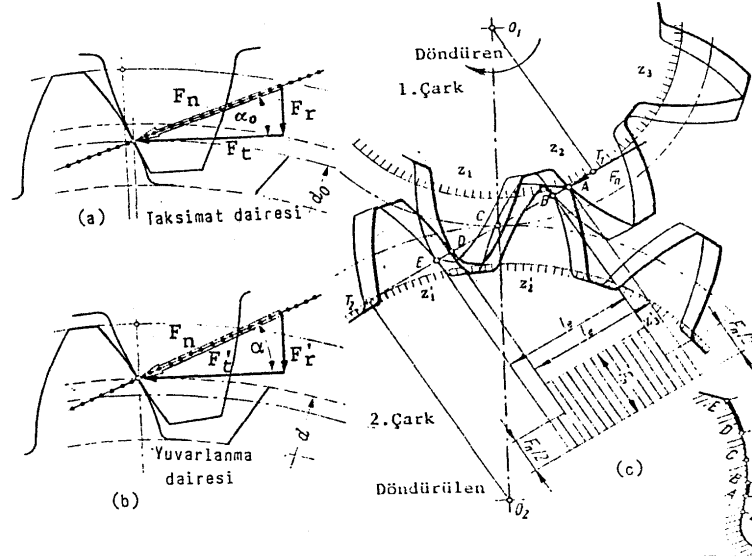
Bir dişe etki eden toplam kuvvet F ise;

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 1785.71 + 222.1$$

$$F = 2007.81N \quad \text{olarak bulunur.}$$





**Şekil 3.6.** Dişlilerin Yükleme Durumu[1]

Çizgisel hız  $V$ ;

$$V = w \times \frac{d}{2} \quad (3.4)$$

$$V = 104.7 \times 0.043$$

$V = 4.5 \text{ m/s}$  olarak hesaplanır.

**Çizelge 3.2.** Aşırı Yük Faktörü ( $K_0$ ) Tablosu[72]

Aşırı Yük Faktörü $K_0$			
Güç Kaynağı	Üniform	Orta Şok	Aşırı Şok
Üniform(aynı,düzgün) Yapı	1.00	1.25	1.75
Hafif Şok(darbe)	1.25	1.50	2.00
Orta Şok(darbe)	1.50	1.75	2.25

Aşırı yük faktörü  $K_0$ , dişlerin uniform yapıda olmaları sebebiyle 1.00 olarak seçilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Yük Dağılım Faktörü ( $K_m$ ) Tablosu[72]

<b>Yük Dağılım Faktörü <math>K_m</math>, Yüzey Genişliği <math>b</math> (mm)</b>				
<b>Destek Özellikleri</b>	0 - 50	150	225	400 up
Doğru montaj, küçük rulman açıklıkları, minimum sapma, hassas dişliler	1.3	1.4	1.5	1.8
Az rijitlikte montaj, az hassas dişliler, bütün yüzey üzerinde temas	1.6	1.7	1.8	2.2
Bütün yüzey temaslarından daha az hassasiyetlik ve montaj	2.2 üzerinde	2.2 üzerinde	2.2 üzerinde	2.2 üzerinde

Yük dağılım faktörü  $K_m$ , diş genişliğindeki değişik yük dağılımının diş aşınmasındaki etkisini göstermektedir ve hassas dişliler ve diş genişliğinin 23 olması sebebiyle tablodan 1.3 olarak seçilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Yüzey Yorulma Dayanımı ( $\sigma_{sf}$ ) Tablosu[72]

<b>Metalik Düz Dişliler için Yüzey Yorulma Dayanımı <math>\sigma_{sf}</math> (MPa) (107 ömür çevrimi 99% güvenilirlikte ve sıcaklık <math>&lt; 1200\text{ C}^0</math>) Material</b>	<b><math>\sigma_{sf}</math> ( MPa )</b>
Çelik	2.8 ( Bhn ) – 69 MPa
Küresel Dökme Demir	0.95 [ 2.8 (Bhn ) – 69 MPa ]
Pik Dökme Demir, GG 20	379
Pik Dökme Demir, GG 30	482
Pik Dökme Demir, GG 40	551
Kalay bronz, AGMA 2C (11% Sn)	207

**Çizelge 3.5.** Lamel Grafitli Dökme Demir Gereçleri

<b>LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR GEREÇLER DIN 1691</b>			
<b>İşareti</b>	<b>Çekme dayanımı Kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>Brinell sertliği HB 30 Kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>Kullanıldığı yerler</b>
<b>GG - 10</b>	-	160	Az zorlanan, kalite şartnamesi olmayan parçalar, gövde, temel tablası, iskelet vb.
<b>GG - 15</b>	30	170	Zorlanan ve sürtünerek aşınan parçalar, gövde, kızak, buhar silindiri, pistonu ve segmanı, vb.
<b>GG - 20 (DDL 20)</b>	36	200	
<b>GG - 25 (DDL 25)</b>	42	220	Isıya dayanıklı ve sürtünerek aşınan parçalar, piston, silindir, segman, v.b.
<b>GG - 30</b>	48	240	
<b>GG - 35</b>	54	260	Çok fazla zorlanan parçalar ve özel haller için
<b>GG - 40</b>	60	280	

Yüzey yorulma dayanımı tablosu ile lamel grafitli dökme demir gereçleri tablosuna beraber bakıldığında, malzemelerin  $\sigma_{sf}$  değerleri ile çekme dayanımları arasında bir yakınlık bulunmaktadır. Bu yakınlıktan yararlanılarak GG25 dökme demir malzemesinin  $\sigma_{sf}$  değeri, 420 MPa olarak hesaplamalarda seçilmiştir.

$K_v$ , dişli çiftlerinin çevresel hız ve imalat hassasiyetinin bit göstergesidir. Frezelenmiş ve şekillendirilmiş dişli çarklar için kullanılan hız veya dinamik faktör formülü şu şekildedir:

$$K_v = \sqrt{\frac{78 + \sqrt{200V}}{78}} \quad [73] \quad (3.5)$$

$$K_v = \sqrt{\frac{78 + \sqrt{200 \times 4.5}}{78}}$$

$K_v = 1.177$  olarak hesaplanır.

**Çizelge 3.6.** Elastik Katsayısı (Cp) Tablosu[72]

Düz Dişliler için Elastik Katsayısı Cp, (MPa <sup>0.5</sup> ) Pinyon Dişli Malzemeleri (μ=0.3)	Dişli Malzemeleri			
	Çelik	Dökme Demir	Al Tunç	Kalay Tunç
Çelik, E=207 GPa	191	166	162	158
Dökme Demir, E=131 GPa	166	149	149	145
Alüminyum Tunç, E=121 GPa	162	149	145	141
Kalay Tunç, E= 110 GPa	158	145	141	137

Dökme demir malzeme için Elastik katsayısı (Cp) değeri tablodan 149 olarak seçilmiştir.

$$I = \frac{\sin \phi \cos \phi}{2} \times \frac{R}{R+1} \quad [73] \quad (3.6)$$

$$R = \frac{dg}{dp} \Rightarrow R = \frac{224}{86} = 2.6 \quad (3.7)$$

$$I = \frac{\sin 20 \cos 20}{2} \times \frac{2.6}{3.6} = 0.116 \quad \phi = 20^\circ$$

Yukarıda hesaplanan ve yorulma analizinde kullanılan bu değerler, aşağıdaki formülde yerine konarak dinamik temas gerilmesi elde edilir.

$$\sigma = C_p \sqrt{\frac{F}{bd_1 I} K_v K_o K_m} \quad [73] \quad (3.8)$$

$$\sigma = 149 \sqrt{\frac{2007.81}{23 \times 86 \times 0.116} K_v K_o K_m}$$

$$\sigma = 545.21 \text{ Mpa}$$

**Çizelge 3.7.** Emniyet Katsayısı Tablosu ( $C_R$ ) [72]

Emniyet Katsayısı $C_R$ (%)	CR
50	1.25
99	1.00
99.9	0.80

Emniyet Katsayısı  $C_R$ , %50 güvenilirlikte olmak üzere 1.25 olarak seçilmiştir.

Dinamik temas gerilmesinin başka bir ifade ediliş türü, aşağıda verilen formül şeklindedir. Yukarıda hesaplanan ve tablolardan seçilen yüzey yorulma mukavemeti ve emniyet katsayısı değerleri formülde yerine konarak, dişli ömür katsayısı ( $C_{li}$ ) bulunur.

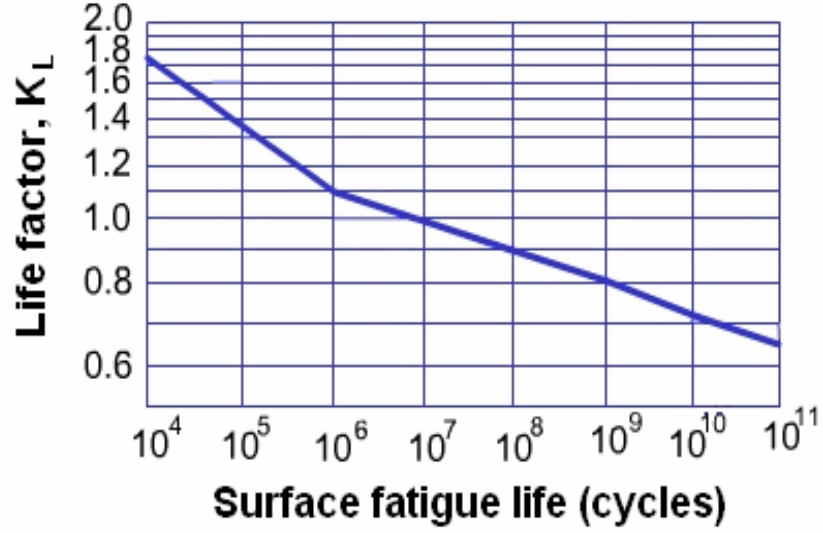
$$\sigma = C_{li} \times S_{fe} \times C_R \quad [73] \quad (3.9)$$

$$\sigma = C_{li} \times S_{fe} \times C_R$$

$$\sigma = C_{li} \times 420 \times 1,25$$

$$545.41 = 420 \times 1.25 \times C_{li}$$

$$C_{li} = 1.039$$



**Şekil 3.7.** Dişli ömür katsayısı ve yüzey yorulma ömür devri grafiği[72]

Yukarıdaki grafikte, dişli ömür katsayısı değeri 1.039'a karşılık gelen dişli yüzey yorulma ömrü 5490000 devir olarak bulunur. Bu devir sayısına karşılık gelen dişli aşınma saati;

$$t = \frac{5490000}{60 \times 1000} \quad (3.10)$$

$t = 91,5$  saat olarak bulunur.

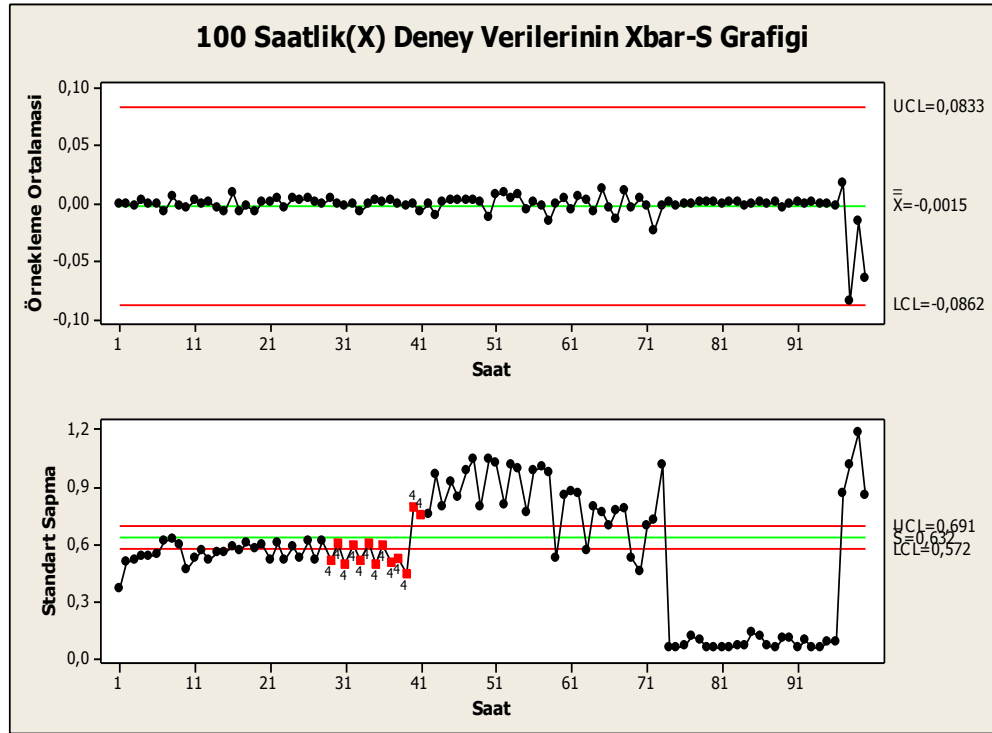
### 3.4. Deneysel Yöntem

Sağlam düz dişli çarkların kullanıldığı kapalı devre güç iletim sistemine sahip deney düzeneği, 200 Nm burulma momenti ve 1000 d/d motor devri ile çalıştırılarak titreşim genlikleri sensörler ve dijital analog çevirici ile bilgisayara kaydedilmiştir. Sistem toplamda 194 saat kadar çalıştırılmıştır. Dişliler, uygulan burulma momentiyle hataya zorlamalı bir şekilde çalıştırılmaları sebebiyle süreç içerisinde aşınmaya maruz kalmış ve neticesinde titreşim genliklerinde artış gözlemlenmiştir.

Titreşimlerdeki bu değişimler, MINITAB programı ile örnekleme hacmi olarak her saatin ilk 500 verisi alınarak istatistiksel proses kontrol grafiklerinden süreç

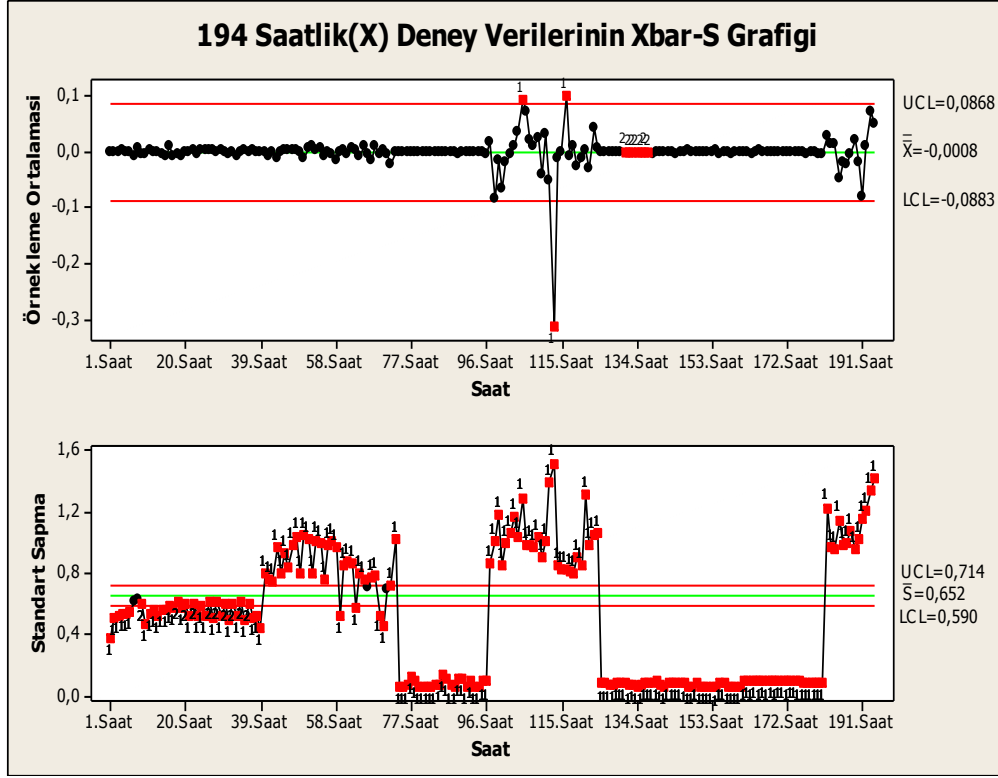
ortalamasındaki farklılıkları ölçen  $\bar{X}$  ve süreç standart sapmasını ölçen S grafiklerinde analiz edilmiştir. Sağlam dişlilerden elde edilen verilerle alt ve üst kontrol limitleri belirlenmiş ve deney verilerinin süreç içerisinde rastgele davranış gösterip göstermediği, kontrol sınırları arasında olup olmadıkları gözlemlenmiştir. Kontrol grafiklerinde süreç izlenerek aşınma hasarı tespit edilmiştir.

### 3.5. $\bar{X}$ - S Grafiği ve Yorumları



Şekil 3.8. Eksenel Yön(X)'den Alınan 100 Saatlik Verilerin  $\bar{X}$  - S Grafiği

Yapılan deneyler sonucu 96 ile 97. saatler arasında dişlilerde aşınmanın başlangıcı gözle tespit edilmiş ve ilk 100 saatlik deney verileri kullanılarak MINITAB programında X-bar ve S grafiği çizdirilmiştir (Şekil 3.8). Bu grafik sonucunda ortalama değer -0,0015 ve standart sapma değeri 0,632 olarak bulunmuştur. 97. saatten sonraki titreşimlerin ortalamasının ve standart sapmasının 97. saatten önceki ile aynı olması, dişlilerde aşınma olmadığını farklı olması aşınma olduğunu gösterecektir.



**Şekil 3.9.** Eksenel Yön(X)'den Alınan 194 Saatlik Verilerin  $\bar{X}$  - S Grafığı

Sistem, toplamda 194 saat çalıştırılarak eksenel ve radyal yönden alınan titreşimlerden her saatin ilk 500 verisinden oluşan veri dataları elde edilmiştir. Şekil 3.9'da eksenel yönden alınan titreşim verileriyle, ortalaması -0,0008 ve standart sapması 0,652 değerleri kullanılarak X-bar ve S grafığı çizdirilmiştir.

Örnekleme ortalaması ve standart sapma grafiklerine beraber bakıldığında 40. saatte örnekleme ortalamasının değişimi çok fark edilir şekilde olmasa da standart sapma grafığında net bir şekilde görülmektedir. Her 40 saatte bir dişli kutusu içindeki yağ boşaltılıp yerine yeni yağ ilavesi yapılmıştır. İlk 40. saatte yağ değişimi yapılmış ve bu ortalamayı ve standart sapmayı Şekil 3.9 da görüldüğü üzere bir miktar değiştirmiştir. Bu aşınmanın başladığı anlamına gelmemektedir.

Makinelerde yağ, metal yüzeylerin birbiri ile olan temaslarını ortadan kaldırıp makine elemanlarının yağ filmleri üzerinde hareket etmesini sağlayarak sürtünmeyi önlemeyi, soğutma işlemini gerçekleştirerek çalışma sıcaklığının kontrolünü ve



malzeme üzerinde biriken kirli maddelerin atılmasını sağlayarak aşınma ve diğer hasar türlerinin oluşmasını önlemek, geciktirmek amacıyla kullanılır.

Deney süresince kullanılan yağın miktarı sızıntılar nedeniyle azalmış ve yeterli yağ filmi tabakası oluşmadığı için dişli yüzeyleri arasındaki sürtünme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır. Yağın sıcaklığı çalışma esnasında zamanla artarak viskozitesi düşmüştür ve yağın basınç altında dayanımının azalması ile diş yüzeyleri arasındaki yağ filmi tabakası işlevini yerine getiremeyerek sürtünmenin artmasına neden olmuştur. Ayrıca çalışma süresince kullanılan yağın kimyasal özellikleri zamanla bozularak işlevini yerine getirememiştir ve dişli yüzeylerinden koparak ayrılan ve yağ kutusuna dökülen metal parçacıklarının dişli temas yüzeylerine nüfuz etmesi sonucu sürtünme kuvveti artmıştır. Bunların neticesinde dişli yüzeylerinde aşınma hasarının oluşum süreci etkilenmiş ve dişli titreşim genliği değerleri artmıştır.

Bu nedenlerden dolayı her 40 saatte bir dişli kutusu içerisindeki yağ boşaltılıp yerine yeni yağ ilavesi yapılarak yağın sürece etkisi azaltılmaya çalışılmıştır. Kalite kontrol grafiklerinde bu durum yağın değiştirildiği zamana kadar titreşim genliklerinde artış ve standart sapma değerlerinin birbirine yakın değerlerde seyrettiği görülmektedir. Yeni yağ ilavesi ile titreşim genlikleri azalmakta ve bu durum standart sapma değerlerinde ani değişim şeklinde gözlemlenmektedir.

41. saat ile 73. saatler arasında yeni yağ ilavesi sonrası çalıştırılan dişlilerde X-bar grafiğindeki değişim belli olmakla birlikte net görülmemekte fakat standart sapma grafiğinde net bir şekilde aşınmanın başladığı görülmektedir. Bu saatler arasındaki aşınma gözle görülemede ama istatistiksel olarak grafiklerle belli olmaktadır. Dişli aşınması sonrası yüzeyden koparak ayrılan metal parçacıkları yağa karışmakta ve dişlilerin çalışması esnasında dişli yüzeylerine temas ederek aşınmayı hızlandırmaktadır.

73. ve 93. saatler arasında ortalama ve standart sapma grafikte de görüldüğü üzere değişmemektedir. Bunun nedeni aşınmanın başlamasıyla birlikte artan titreşim genlikleri devam eden çalışma neticesinde, aşınan dişli yüzeyleri birbirlerine alışmakta ve titreşim genliklerinde düşüş görülmesidir.

Hata oluşumu sonucunda titreşim genliklerinde bir artışın görülmesi olası bir durum olup, makinenin ilk çalışmasında titreşimlerinin makine parçalarındaki alışmadan dolayı önce düşer, daha sonra arıza durumunun oluşmasına göre artacaktır[74].

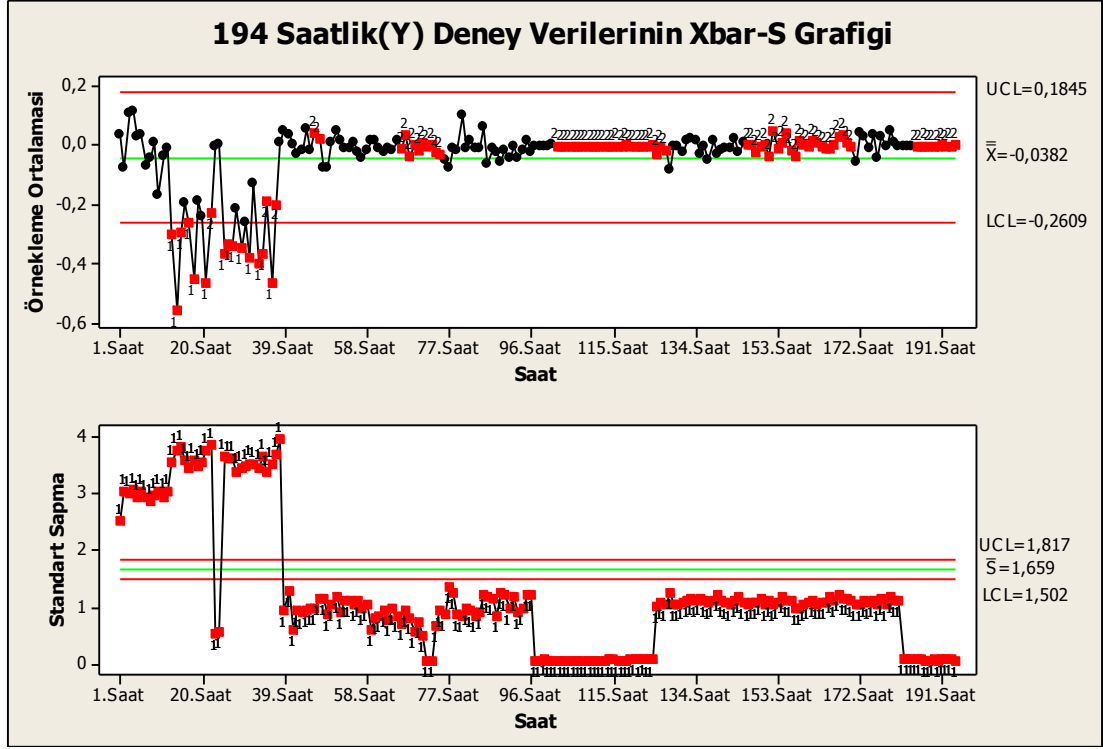
Hata oluştuğu anda meydana gelen en büyük genlikler hatanın alışmasıyla yani üzerinden yuvarlanma elemanları geçmesiyle birlikte darbenin şiddeti azalacak şekilde yuvarlak hatlara kavuşmasıyla azalmakta ve ortalama ve standart sapmadaki değişimin düzenli bir şekilde yol izlediği görülmektedir[74].

93. saat ile 123. saat arasında ortalama ve standart sapma grafiklerinde, kontrol sınırlarının ihlali olarak net bir şekilde görüldüğü üzere dişlilerdeki aşınmalar gözle görülür bir şekilde oluşmuştur.

Bölüm 3.3 de hesaplandığı üzere, deneyde kullanılan dişlilerin teorik olarak 91.5. saatte aşınmaya başlayacağı tespit edilmişti. Bu durumun istatistiksel proses kontrol grafiklerinde de beklentimize yakın bir şekilde 93. saatte çıkmış olması, teorik ve pratik açıdan dişli aşınmasının tespiti açısından büyük bir önem arz etmektedir.

94. saat ile 181. saatler arasında ortalama ve standart sapma grafiklerinde net bir değişim görülmemektedir. Bunun nedeni 73. ve 93. saatler arasında olduğu gibi dişli yüzeyleri arasında adaptenin oluşmuş olmasıdır.

181. saat ile 194. saatler arasına bakıldığında ortalama ve standart sapma değerleri periyodik olarak artmaktadır ve kontrol sınırlarını ihlal etmeye başlamaktadır. Bunun anlamı; dişli yüzeylerinde oluşan aşınma artık şiddetli bir hale gelmektedir ve dişlilerde kırılma gibi daha büyük hasarların oluşabileceğinin sinyalini vermektedir.



Şekil 3.10. Radyal Yön(Y)'den Alınan 194 Saatlik Verilerin  $\bar{X}$  - S Grafiği

Şekil 3.10. da radyal yön(Y) den alınan titreşim verileriyle X-bar ve S grafiği çizdirilmiştir ve ortalama -0,0382 ve standart sapma 1,659 olarak bulunmuştur. Titreşimlerde ilk 17 saat içerisinde gözle görülür bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

19. saat ile 40. saatler arasında, yağın ısınarak viskozitesinin düşmesi sonucu sürtünmelerin artması dolayısıyla küçük değişiklikler X-bar ve S grafiklerinde eş zamanlı gözlemlenmiştir.

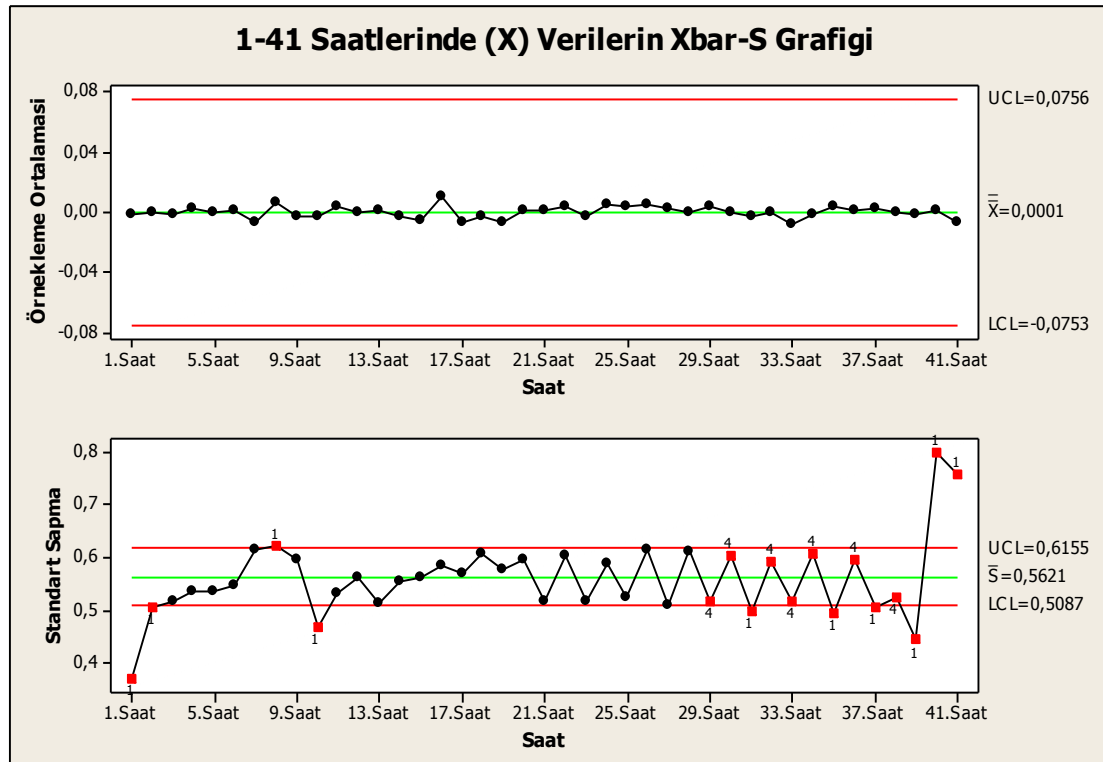
41. saat ile 73. saatler arasında yeni yağ değişimi yapılmıştır. Bu değişim sonucunda grafiklerde küçük değişimler gözlemlenmiştir.

73. saat ile 93. saatler arasında titreşimdeki değişimler artmış aynı zamanda 93. saatte dişli yüzeylerindeki aşınma gözle görülür hale gelmiştir.

94. saat ile 124. saat arasında dişli aşınmaya başlamış olmasına rağmen, radyal yön (Y) den alınan verilerle oluşturulan X-bar ve S grafiğine bakıldığında, net bir değişim görülmemektedir. Bunun sebebi dişli yüzeylerinin aşınmaya başladıktan sonra yüzeylerin birbirine alışmasıdır.

125. saat ile 181. saatler arasında aşınma devam etmektedir. 181. saat ile 194. saatler arasında standart sapma grafiğine bakıldığında ise aşınmanın ileri bir seviyeye geldiği ve dişlilerde kırılma gibi daha büyük hasarların ilerleyen çalışmalarda oluşabileceği görülmektedir.

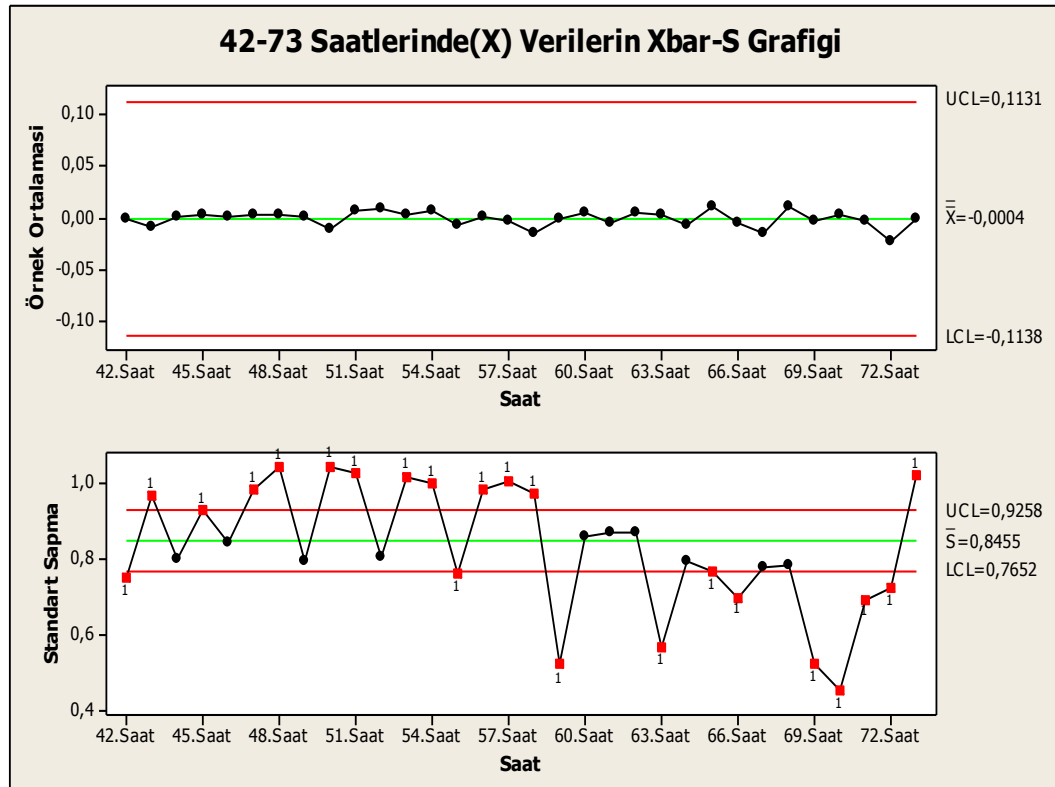
Sonuç olarak eksene (X) yönünden alınan verilerle oluşturulan X-bar ve S grafiklerinde aşınma daha net gözlemlenmiş, eş zamanlı olarak radyal (Y) yönünden alınan verilerle oluşturulan X-bar ve S grafiklerinde ise aşınma gözlemlenmiş olmasına rağmen netlik, eksene yön grafiklerine göre daha az olmaktadır.



**Şekil 3.11.** Eksene Yön(X) Verilerinin 1. Saat ile 41. Saatler Arası  $\bar{X}$  - S Grafiği

Şekil 3.11. de 1. saat ile 41. saatler arasında ekstenel yönden alınan verilerin ortalama ve standart sapma grafiğine baktığımızda dişli frekansları arasında ortalamadan sapma çok gözlenmemektedir. Standart sapmadaki değişim ise 40. Saat itibari ile başlamıştır. Bu değişim yağın ısınarak, viskozitesinin düşmesi ve sürtünmelerin artması neticesinde titreşim genliklerinde artış görülmesinden kaynaklı bir değişimdir.

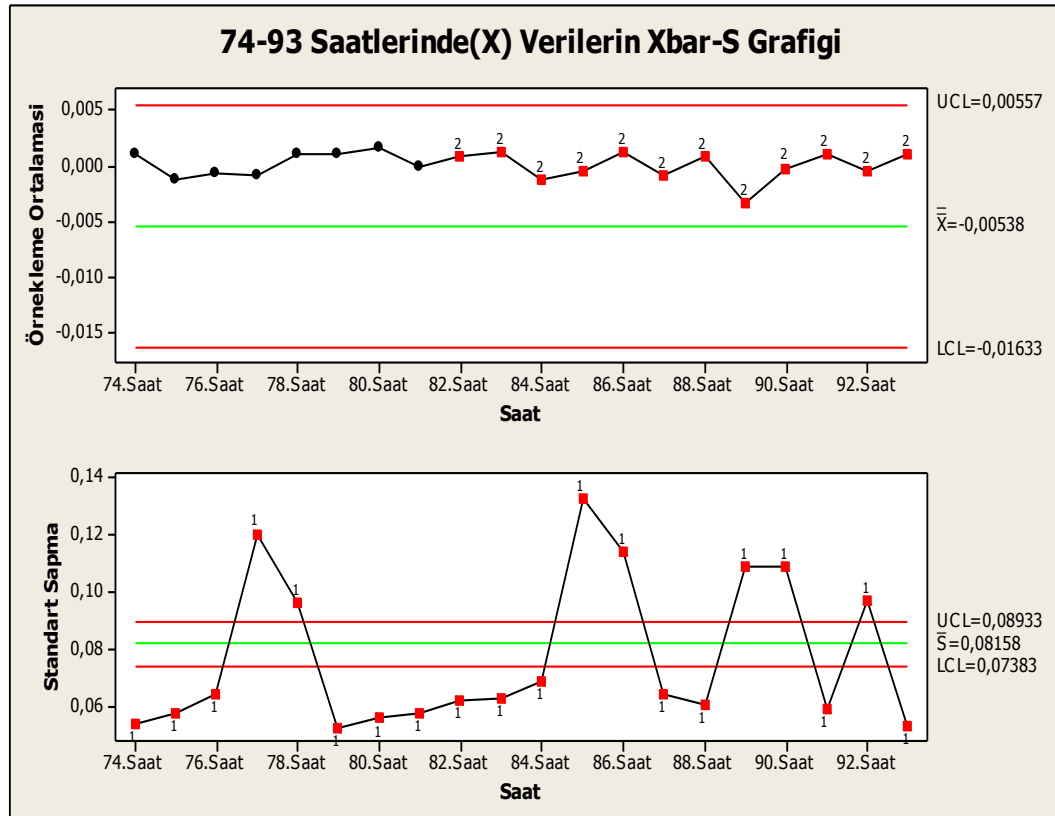
41. Saatin sonunda yağ değişimi yapılmıştır. Standart sapma grafiğinde 1. 2. ve 8. saatteki alt sınır ve üst sınır ihlali, çalışma başlangıcında deney düzeneğinin kararlı bir yapıya ulaşma sürecinde olması sebebiyle az da olsa sağlıklı veri alabildiğini ve yeni dişlilerin yüzeylerindeki pürüzlülükten kaynaklandığını göstermektedir. Aynı şekilde 32, 35, 37, 39. saatlerdeki sınır ihlalinin sebebi de aynıdır.



Şekil 3.12. Ekstenel Yön(X) Verilerininin 42. Saat ile 73. Saatler Arası  $\bar{X}$  - S Grafığı

Şekil 3.12.'de 42. ve 73. saatler arası için yağ değişiminden sonraki dönem olduğundan standart sapmadaki değişimden dolayı bu saatler arası yeniden ortalama ve standart sapma değeri alınmış ve grafik çizdirilmiştir. Ortalamadaki değişim ilk saatlerde gözlenmemekteyken 70. saatlerden sonra ortalama sapma başlamıştır.

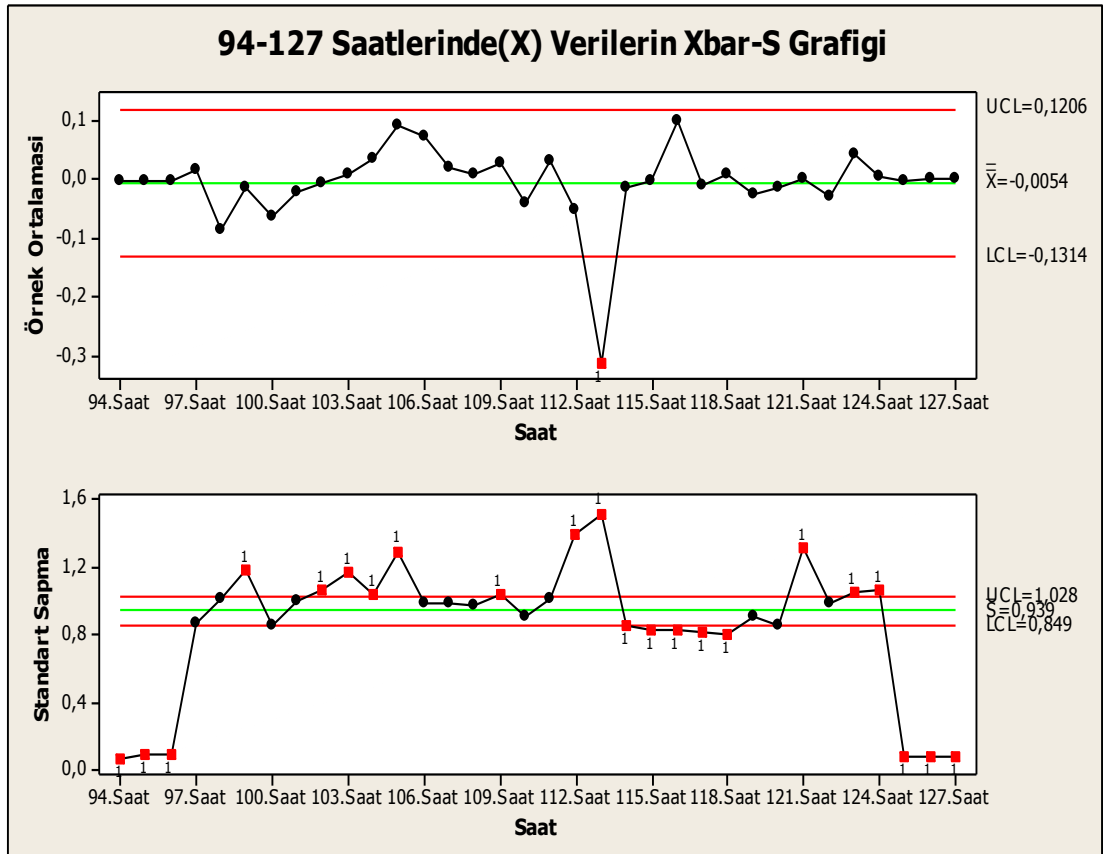
41. saatte ortalama değeri ciddi bir şekilde sapsınmış 42. saatte ise ortalamadaki dalgalanma azalmıştır. Bunun sebebi dişlilerin yeni yağ ile çalışması sonucu, sürtünmelerin azalması ve yağ filminin dişli yüzeylerine alışmış olmasındandır. Standart sapmadaki alt ve üst sınır ihlali tek başına bakıldığında, yağ değişiminden dişli çarklarının etkilendiği görülmektedir.



**Şekil 3.13.** Eksenel Yön(X) Verilerinin 74. Saat ile 93. Saatler Arası  $\bar{X}$  - S Grafığı

Şekil 3.13'te  $\bar{X}$  - S grafiğinde görüldüğü gibi dişli frekanslarının ortalamaları merkez çizgi değerinin üzerinde fakat ortalama değerler sınırlar içinde kalmıştır.

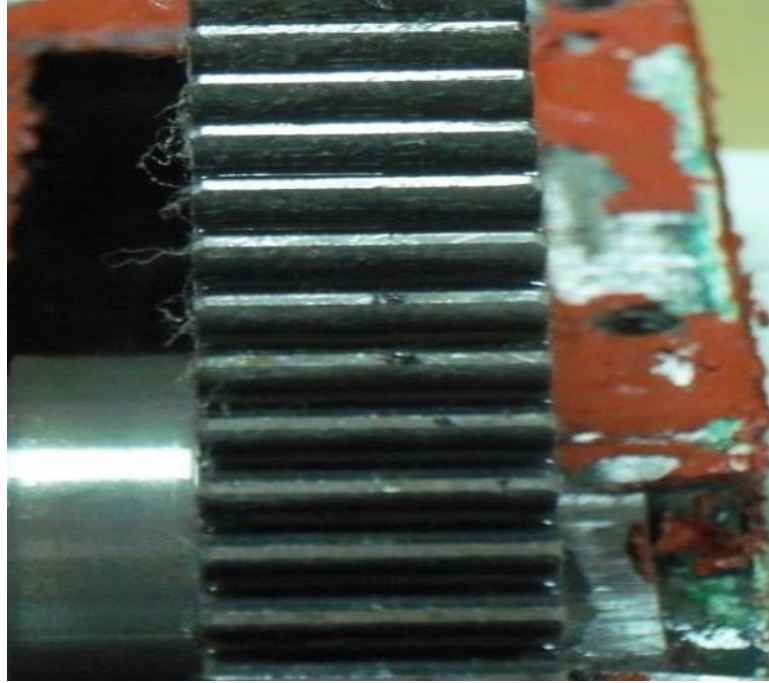
Sınırlar içinde olmasına rağmen ortalamanın üst kontrol sınırına yaklaşmış olması, dişli yüzeyinden kopup yağa karışan metal parçacıklarının aşınmayı hızlandırdığı standart sapma grafiğinde daha net görülebilmektedir. Standart sapmanın sınırlar içerisinde olmadığı net bir şekilde görülebilmektedir. Aşınma bu saatler arında gözle net görülememiş ama standart sapma grafiğinden ve ortalama değer grafiğinden aşınmanın başladığı anlaşılmıştır. Ayrıca dişlilerin teorik olarak 91,5 uncu saatte aşınmaya başlayacağı mukavemet hesaplamaları ile tespit edilmişti. Bu durumun istatistiksel proses kontrol grafikleri ve mukavemet hesaplamaları ile yaklaşık olarak aynı saatlerde örtüşmesi, teorik ve pratik açıdan dişli aşınmasının tespiti açısından büyük bir önem arz etmektedir.



**Şekil 3.14.** Eksenel Yön(X) Verilerin 94. Saat ile 127. Saatler Arası  $\bar{X}$  - S Grafiği görülmektedir.

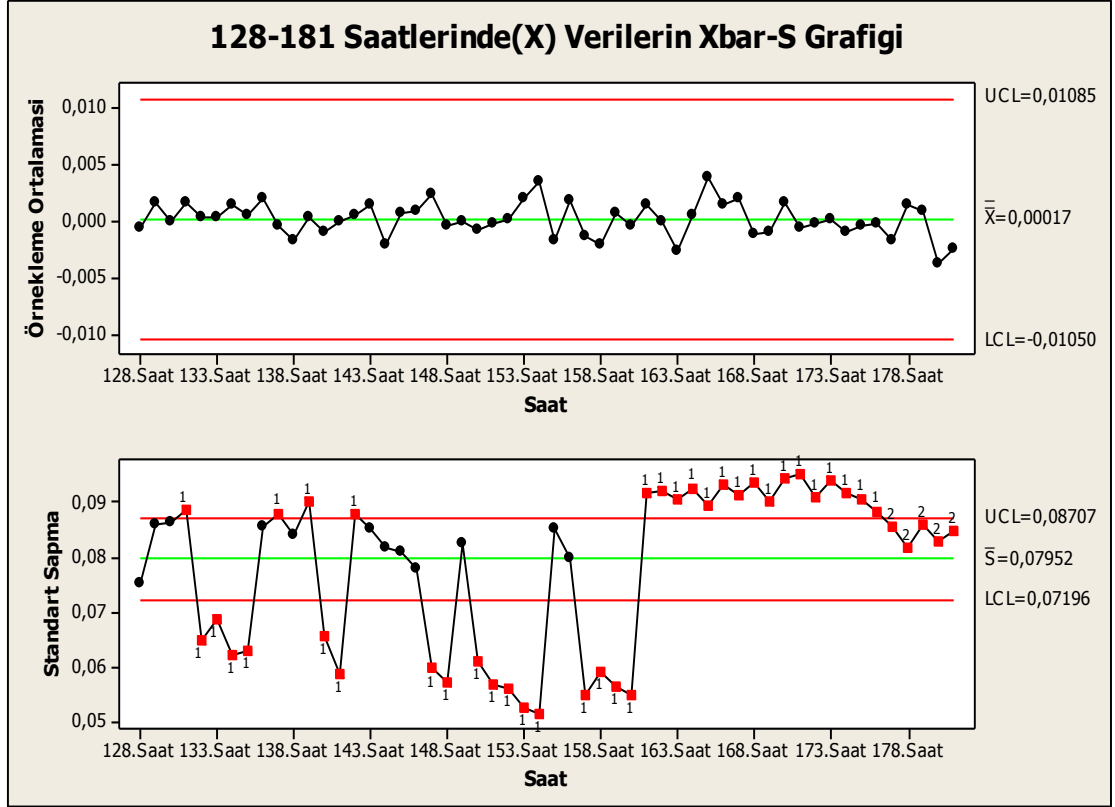
Şekil 3.14. e göre 94-97. Saatler arasında ortalama bir değışiklik saptanamamış, 95. saatten sonra ortalama değerler arasında inişli çıkışlı bir dalgalanma görölmektedir. Bu saatler arasında aşınma tüm dişlilerde gözle görölür olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.15). Aşınmanın tam olarak gerçekleştiğinde ve tüm diş yüzeylerinde olduğunda standart sapma uç değerlerin dışına çıkmıştır.

Bu dalgalanma karşılıklı gelen her dişlideki aşınma birbirine alışına kadar devam etmektedir. Standart sapma grafiğindeki 94. ve 97. saatler, 113. ve 118. saatler arası, dişli yüzeylerindeki aşınmanın birbirine alışma dönemini temsil etmiştir.



**Şekil 3.15.** 95. Saatteki Dişli Aşınması

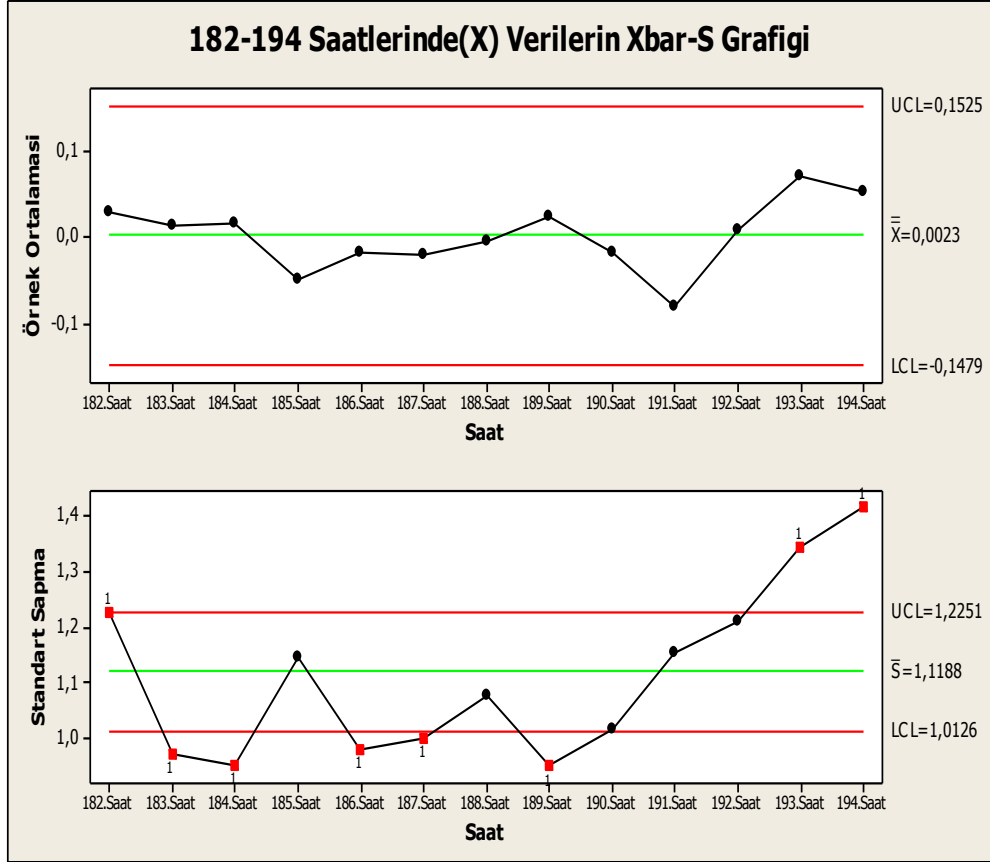




**Şekil 3.16.** Eksenel Yön(X) Verilerinin 128. Saat ile 181. Saatler Arası  $\bar{X}$  - S Grafiği

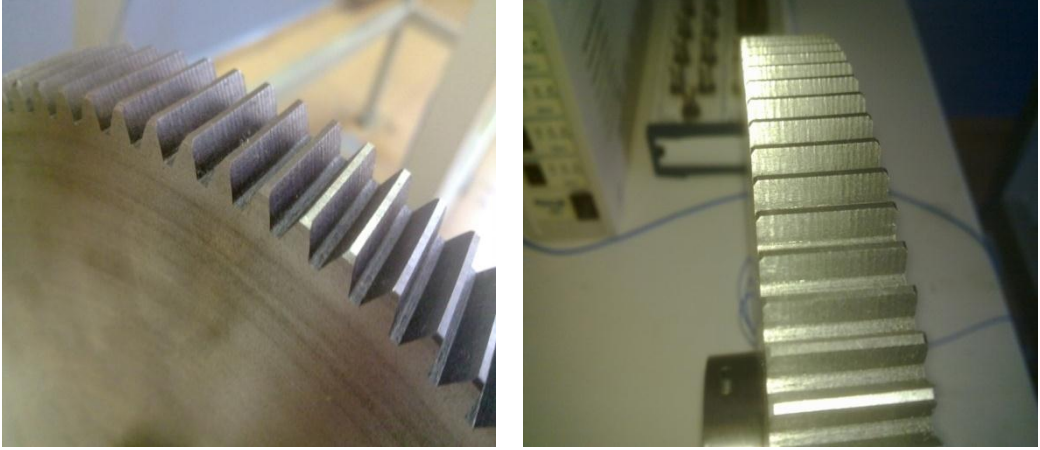
Şekil 3.16. da örnek ortalaması grafiğinde görüldüğü gibi dişli frekanslarının ortalama değerleri, merkez çizgi değerine yaklaşmış ve daha az dalgalanma oluşmuştur. Bunun sebebi aşınan dişli yüzeylerinin her turda aşınan noktalarının birbirine denk gelmesi sonucu yüzeylerin birbirine alışmış olmasıdır. Yüzeyler, ortama değerden çok fazla sapmadan turu tamamlamışlardır. Bu süreç dişli yüzeyindeki aşınma miktarı artıp kırılma noktasına gelene kadar devam edecektir.

128-181 saatler arasında dişlilerdeki aşınma alışmasının yeni başladığını standart sapma grafiğine bakılarak daha iyi görülebilmektedir. 128. ile 165. saatler arasında alışma noktaları daha azken 165. ile 175. saatler arası daha uzun süreli alışma süresi gözlemlenmiştir. 175. Saatten sonra standart sapma uç sınırlar arasına girmiştir.

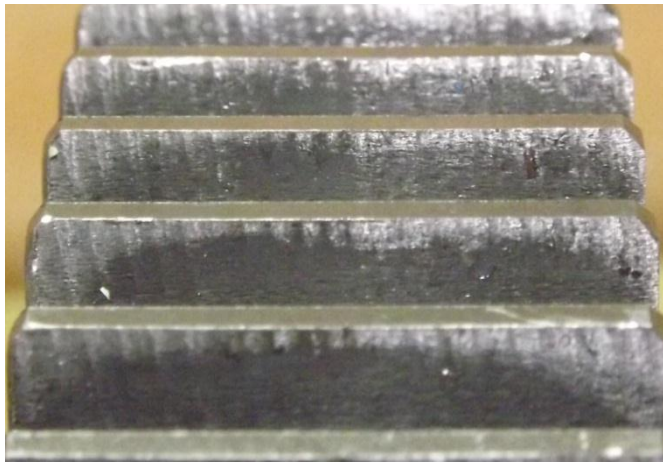


**Şekil 3.17.** Eksenel Yön(X) Verilerin 182. Saat ile 194. Saatler Arası  $\bar{X}$  - S Grafigi

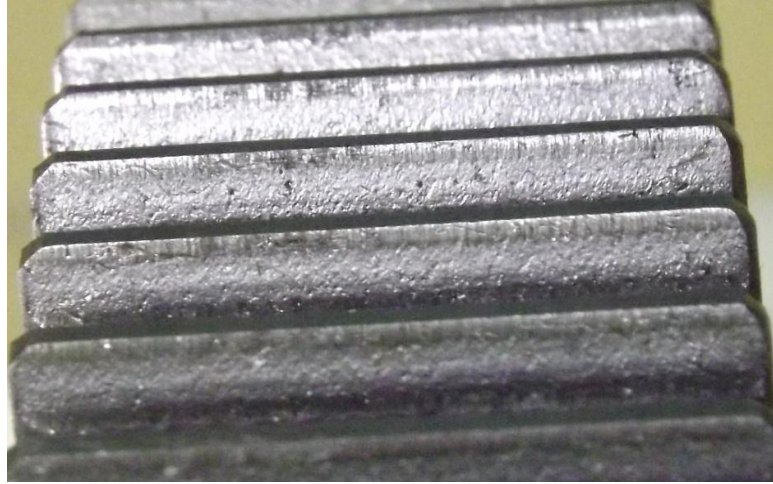
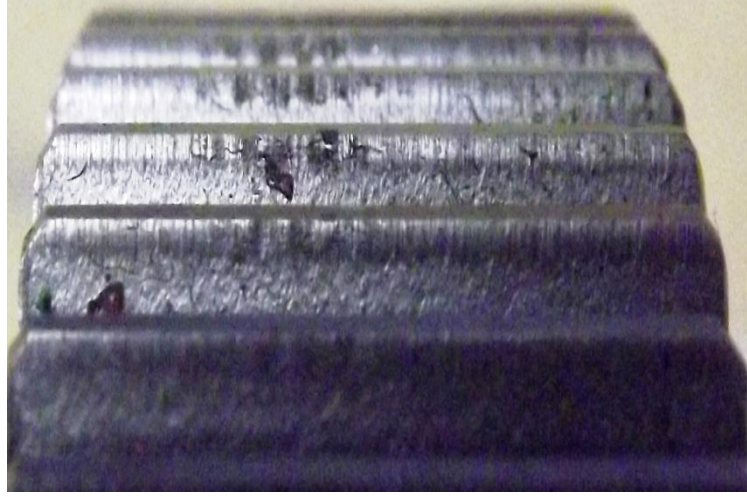
182. saat ile 194. saatler arasına bakıldığında ortalama ve standart sapma değerleri periyodik olarak artış göstermektedir ve kontrol sınırlarını ihlal etmeye başlamaktadır. Bunun anlamı; dişli yüzeylerinde gözle görülür şekilde oluşan aşınma artık şiddetli bir hale gelmektedir ve dişlilerde kırılma gibi daha büyük hasarların oluşabileceğinin sinyalini vermektedir. İlerleyen çalışmalarda dişli yüzeylerindeki bu aşınmalar, diş kökünde maksimum çekme gerilmelerine neden olacaktır ve bu gerilmeler malzemenin mukavemet sınırlarını aşması sonucu yorulma çatlaklarını meydana getirecektir. Çalışma ile beraber bu çatlaklar dişin çark gövdesinden ayrılmasına kadar ilerleyecektir. Bu durum istatistiksel proses kontrol grafiklerinde, 194 saatlik çalışma sonucu  $\bar{X}$ -S grafiğinde de görüldüğü üzere giderek kontrol sınırlarının ihlalinin gerçekleşmesi ve rastgele olmayan bir sürecin gözlemlenmesi şeklinde kendini gösterecektir.



**Şekil 3.18.** Sağlam dişlilerin deneyler öncesindeki görünüşü



**Şekil 3.19.** 194 saat çalışma sonucunda dişli yüzeylerindeki aşınma



**Şekil 3.20.** 194 saat çalışma sonucunda dişli yüzeylerindeki aşınma

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 4.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, düz dişlilerde çalışma esnasında kaydedilen titreşimlerdeki değişimler incelenerek, dişlilerde en çok rastlanan hasar olan aşınma hasarının istatistiksel proses kontrol metotları ile analiz edilerek tespiti gerçekleştirilmiştir.

Deneyle gerçekleştirilebilmek için kapalı devre güç iletim sistemine sahip bir dişli test düzeneği kurulmuş ve sistem toplamda 194 saat çalıştırılmıştır. Deney düzeneği üzerinden aksel (X) ve radyal (Y) yönlerden alınan titreşim genliklerinin, süreç ortalamasındaki farklılıkları ölçen  $\bar{X}$  ve süreç standart sapmasını ölçen S grafikleri MINITAB programında çizdirilmiştir.

194 saatlik deneylerden elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Her 40 saatte bir dişli kutusu içerisindeki yağ boşaltılıp yerine yeni yağ ilavesi yapılmasının etkisi, kalite kontrol grafiklerinde yağın değiştirildiği zamana kadar titreşim genliklerinde artış ve standart sapma değerlerinin birbirine yakın değerlerde seyretmesi şeklinde görülmektedir. Yeni yağ ilavesi ile titreşim genlikleri azalmakta ve bu durum standart sapma değerlerinde ani değişim şeklinde gözlemlenmiştir.
2. 93. saat ile 123. saatler arasında  $\bar{X}$  ve S grafiklerinde kontrol sınırlarının ihlali net bir şekilde görülmüş ve dişlilerdeki aşınmalar 93. saatte gözle görülür bir şekilde oluşmuştur.
3. Deneyde kullanılan dişlilerin teorik olarak 91.5 uncu saatte aşınmaya başlayacağı mukavemet hesaplamaları ile tespit edilmiştir. Bu durumun istatistiksel proses kontrol grafiklerinde de beklentimize yakın bir şekilde 93. saatte çıkmış olması,

teorik ve pratik açıdan dişli aşınmasının tespiti açısından büyük bir önem arz etmiştir.

4. 94. saat ile 181. saatler arasında ortalama ve standart sapma grafiklerinde net bir değişim görülmemiştir. Bunun nedeni aşınmanın başlamasıyla birlikte artan titreşim genliklerinin devam eden çalışma neticesinde, aşınan dişli yüzeylerinin birbirlerine alışması ve titreşim genliklerinde düşüş görülmesidir.
5. 181. saat ile 194. saatler arasına bakıldığında ortalama ve standart sapma değerleri periyodik olarak artmış ve kontrol sınırlarını ihlal etmeye başlamıştır. Bunun anlamı; dişli yüzeylerinde oluşan aşınma artık şiddetli bir hale gelmiş ve dişlilerde kırılma gibi daha büyük hasarların oluşabileceğinin sinyalini vermektedir.

Bu tez çalışmasının sonucunda sağlam dişlinin ne zaman aşındığının tespiti, gerçek zamanlı deneysel çalışma ve istatistiksel proses kontrol metotları ile analiz edilip, grafiksel olarak gösterilebilmiştir. Arızanın başlangıç aşamasında tespit edilmesi ile gerçek zamanlı çalışan bir erken uyarı sistemi gerçekleştirilebilir. Arızanın ne zaman sistemi işlemeze hale getireceğinin hesaplanması ve bu zaman dilimi içerisinde tedbirlerin alınarak, arızanın en az maddi ve zaman kaybıyla aşılması, ekonomik bir katkı sağlayacaktır.

## 4.2. Öneriler

Gelecekte bu konuda yapılacak çalışmalarla ilgili öneriler aşağıda sıralanmıştır;

1. Kapalı devre güç iletim sistemine sahip bir dişli test düzeneği ile gerçekleştirilen deneylerde, sisteme uygulanan burulma momenti ve sistemin devir sayısı sabit alınmıştır. Sisteme uygulanan burulma momenti ve devir sayısı, kademeli olarak değiştirilerek dişlilerde aşınma sürecine etkileri ve istatistiksel proses kontrol grafiklerinde bu durumun sebep olduğu değişimler incelenebilir.
2. Deneylerde sürtünmeyi önlemek ve soğutma işlemini gerçekleştirmek amacıyla dişli kutularında kullanılan yağ, belirli periyotlarla değiştirilmiştir. Bu periyot

değiştirilerek, deneylerde kullanılan yağdan farklı viskoziteye sahip bir yağ kullanılarak veya yağ sıcaklığını çalışma süresince sabit kılacak düzenekler ile deneyleri gerçekleştirerek süreç izlenebilir ve yağın aşınmaya olan etkisi istatistiksel proses kontrol şemalarında analiz edilebilir.

3. Deneylerde dökme demir malzemedan imal edilen ve ısıl işleme tabi tutulmamış düz dişli çarklar kullanılmıştır. Farklı malzemelerle imal edilmiş olan ve ısıl işleme tabi tutulan dişliler kullanılarak deneyler gerçekleştirilebilir ve etkileri incelenebilir.
4. Deney düzeneğinin daha fazla saat çalıştırılması ile dişlilerde aşınma hasarının bir sonraki safhası olan kırılma hasarı istatistiksel proses kontrol grafiklerinde incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Akkurt, M., Makine Elemanları. İstanbul, (2000).
- [2] D. B. Welbourn, "Gear Errors and Their Resultant Noise Spectra", Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 184, pt. 30, pp.131-139, (1969-1970).
- [3] D. B. Welbourn, "Gear Noise Spectra-A Rational Explanation", American Society of Mechanical Engineers, ASME Paper 77-DET - 38, (1977).
- [4] D. B. Welbourn, " Fundamental Knowledge of Gear Noise - A. Survey", Conference on Noise and Vibrations of Engines and Transmissions, Cranfield Institute of Technology, (1979).
- [5] H. K. Kohler, A. Prat, A. A. M., "Dynamics and Noise of Parallel - Axis Gearing ", Proc. I. Mech E. Vol. 184, Pt.30, pp. 111-121, (1970).
- [6] A. L. Gu ve R. H. Badgley, "Prediction of Vibration Sidebands in Gear Meshes", ASME Paper, No. 74-DET-95, pp. 1-9, (1974).
- [7] M. S. Drosjack, D. R. Houser "An Experimental and Theoretical Study of the Effects of Simulated Pitch Line Pitting on the Vibration of Geared System", ASME Paper No. 77 - PET -123, PET Conf, Chicago, pp. 1-11, (1977).
- [8] E. P. Remmers, "Gear Mesh Excitation Spectra for Arbitrary Tooth Spacing Errors, Load and Design Contract Ratio", J. of Mech Design, Vol. 100, pp. 715-722, (1978).
- [9] W. D. Mark, "Analysis of the Vibratory Excitation of Gear Systems: Basic Theory", Journal of Acoustical Society of America. Vol. 63, No. 5, (1978).
- [10] W. D. Mark, "Gear Noise Excitation", Engine Noise: Excitection. Vibration and Radiation Editors: R. Hickling and H.M. Kamal., Plenum Publishing Corp., New York, pp. 55-93, (1982).



- [11] I. T. Taylor, "Identification of Gear Defects by Vibration Analysis", Proc. Mech. Vib. Mon and Anal. Sem. Vibr. Inst, New Orleans, pp. 93-105, (1979).
- [12] R. B. Randall, "Advances in the Application of Cepstrum Analysis to Gearbox Diagnosis", Second International Conference on Vibration in Rotating Machinery, I. Mech E., Cambridge, pp. 169-174, (1980).
- [13] R. B. Randall, "A New Method of Modelling Gear Faults", American Society of Mechanical Engineers Paper 81-DET-10, (1981).
- [14] R. B. Randall, "Cepstrum Analysis and Gearbox Fault-Diagnosis", Moint. Mng., Vol 3., No: 3, pp. 183, (1982).
- [15] R. I. Eshleman, "The Role of Sum and Difference Frequencies in Rotating Machinery Fault Diagnosis", Proc. Vibr. Rot. Machv. Conf., I. Mech. E.. pp. 145-149, (1980).
- [16] A. Kubo, S. Kiyons, "Vibration Excitation of Cylindrical Involute Gears Due to Tooth Form Error", Bull. JSME, Vol. 23, No. 183, pp. 1536-1543, (1980).
- [17] D. R. Houser, "Gear Noise Sources and Their Prediction Using Mathematical Models", Proc, 1985 OEM Conference, Philadelphia, (1985).
- [18] W. J. Pearce, M. A. Nielson, W. S. Rouverol, "Reducing Gear Noise Excitation", Proc. 2nd World Cong. on Gearing; Paris, pp. 587-589, (1986).
- [19] R. M. Steward, "Applications of Signal Processing Techniques to Machinery Health Monitoring", Noise and Vibration, Chapter 23, pp. 607-632, (1982).
- [20] K. Fujita, A. Yoshida, K. Ota, "On the Possibility of Early Detection of Gear Tooth Failure by Noise and Vibration", Proceedings of the Sixth World Congress on Theory of Machines and Mechanisms, pp. 668-672, (1983).

- [21] T. Fuzhi, Z. Yufeng, " Tone Analysis of Gear Noise", Proceedings of International Conference on Gearing, Zhengzhov, China, Vol. 1, (1988).
- [22] F. K. Chay, M. Savage, " Vibration Signature Analysis of Multistage Gear Transmission ", Proc. 1989 Intl. Pow. Tr. and Gear Conf., Chicago, pp. 383-390, (1989).
- [23] H. Yagishita, "Development of Vibration Diagnostics System for Improving Machining Accuracy in Worm Grinding Machine", Proc. 1989 Intl. Pow. Tr. and Gear. Conf., Chicago, pp. 391-398, (1989).
- [24] M. C. Fadden ve J. D. Smith, "A Signal Processing Technique for Detecting Local Defects in a Gear from the Signal Average of the Vibration", Proc. Instn. Mech. Engrs... Vol 199, No: C 4, (1985).
- [25] M. C. Fadden, "Low Frequency Vibration Generated by Gear Tooth Impacts", NDT Intl., Vol. 18, No. 5, pp. 279-281, (1985).
- [26] H. H. Lin, D. P. Jowsenp ve F. B. Oswald, " Profile Modifications to minimize Spur Gear Dynamic Loading ", ASME Paper, Orlando, (1988).
- [27] H. H. Lin, F. B. Oswald, D. P. Townsend, " Dynamic Loading of Spur Gears with Linear or Parabolic Tooth Profile Modifications ", Proc., 1989 Intl. Pow. Tr .and Gear. Conf. Chicago, pp. 409-419, (1989).
- [28] G. Dalpiaz, A. Rivola, R. Rubuni, Gear Fault Monitoring: Comparison of Vibration Analysis Techniques. 3rd International Conference Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostics Techniques, 623-632, (1998).
- [29] M. Amabili, A. Fregolent, A Method To Identify Modal Parameters and Gear Errors By Vibrations of A Spur Gear Pair. Journal of Sound and Vibration, 214 (2): 339-357, (1998).

- [30] D. Boulahbal, M. F. Golnaraghi, F. Ismail, Amplitude and Phase Wavelet Maps For The Detection of Cracks in Geared Systems. *Mechanical Systems and Signal Processing*.13(3): 423-436, (1999).
- [31] C. K. Sung, H. M. Tai, C. W. Chen, Locating Defect of A Gear System By the Technique of Wavelet Transform. *Mechanism and Machine Theory*. 35 (8): 1169-1182, (2000).
- [32] S. J. Loutridis, Instantaneous Energy Density As A Feature For Gear Fault Detection. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 20 (5): 1239–1253, (2006).
- [33] F. A. Andrade, L. L. Esat, M. M. Badi, Gear Condition Monitoring By A New Application of The Kolmogorov-Smirnov Test. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 215, Issue 6, 653-661, (2001).
- [34] N. Baydar, Q. Chen, A. Ball, U. Kruger, Detection of Incipient Tooth Defect in Helical Gears Using Multivariate Statistics. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 15(2): 303-321, (2001).
- [35] Birgören B. ve Koçer B., İstatistiksel Proses Kontrol Çizelgelerinde Hata Teşhisine Yönelik Yaklaşımlar. *G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*. 17 (4): 59-69, (2004).
- [36] S. Zhang, J. Mathew, L. Ma, Y. Sun, A. Mathew, Statistical Condition Monitoring Based on Vibration Signals. *Vetomac-3 & Acsim*. 1238-1243, (2004).
- [37] C. J. Stander, P. S. Heyns, Using Vibrations Monitoring For Local Fault Detection on Gears Operating Under Fluctuating Load Conditions. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 16(6): 1005–1024, (2002).

- [38] W. Li, T. Shi and K. Ding, Gear Crack Detection Using Kernel Function Approximation. *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 4234/2006, 535-544, DOI: 10.1007/11893295\_59, (2006).
- [39] Y. Zhan, V. Makis, A Robust Diagnostic Model For Gearboxes Subject to Vibration Monitoring. *Journal of Sound and Vibration*. 290: 928–955, (2006).
- [40] Y. Zhan, V. Makis, A. K. Jardine, Adaptive State Detection of Gearboxes Under Varying Load Conditions Based on Parametric Modelling. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 20(1): 188–221, (2006).
- [41] W. Q. Wang, F. Ismail, M. F. Golnaraghi, Assessment of Gear Damage Monitoring Techniques Using Vibrations Measurements. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 15(5): 905-922, (2001).
- [42] F. Djeddou, R. Zegadi, Practical Statistical Methods For Predicting Life Reliability of Fine Pitch Gear Pairs. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2 (3): 494-500, (2007).
- [43] A. Raad, J. Antoni, M. Sidahmed, Indicators of Cyclostationarity: Theory and Application to Gear Fault Monitoring. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 22(3): 74–587, (2008).
- [44] Karahan M. F., Titreşim Analizi ile Makinalarda Arıza Teşhisi. Yüksek Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, (2005).
- [45] H. Jinying, B. Shihua, P. Hongxia, Y.Xiwang, The Research of Higher-order Cumulant Spectrum for Vibration Signals of Gearbox. *IEEE International Conference on Information Acquisition*, 1395-1399, (2006).
- [46] T. Fakhfakh, F. Chaari, M. Haddar, Numerical and Experimental Analysis of A Gear System With Teeth Defects. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 25: 542-550, (2005).

- [47] S. Ai, H. Li, Gear Fault Detection Based on Ensemble Empirical Mode Decomposition and Hilbert-Huang Transform. Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. Vol.3, 173-177, (2008).
- [48] Öztürk H., Yeşilyurt İ. ve Sabuncu M., Dişli Çark Oyukçuk Arızasının Titreşim Analizi ile Tespiti. Makine Tek. 98: 72-79, (2005).
- [49] N. Baydar, A. Ball, A Comparative Study of Acoustic And Vibration Signals in Detection of Gear Failures Using Wigner-Ville Distribution. Mechanical Systems and Signal Processing. 15 (6): 1091-1107, (2001).
- [50] W. Wang, Early Detection of Gear Tooth Cracking Using the Resonance Demodulation Technique. Mechanical Systems and Signal Processing. 15 (5): 887-903, (2001).
- [51] C. Park, J.M. Lee, Experimental Investigation of the Effect of Lead Errors on Helical Gear and Bearing Vibration Transmission Characteristics. KSME International Journal, Vol. 16 No. 11, 1395-1403, (2002).
- [52] S. J. Loutridis, Damage Detection in Gear systems Using Empirical Mode Decomposition. Engineering Structures. Vol. 26, Issue:12, 1833-1841, (2004).
- [53] Fetvacı M. C. ve İmrak E. C., Dişli Çarklarda Meydana Gelen Hataların Durum İzleme Metotlarıyla Tespiti. Makine Tek. 93: 52-56, (2005).
- [54] C. K. Tan, D. Mba, Limitation of Acoustic Emission for Identifying Seeded Defects in Gearboxes. Journal of Nondestructive Evaluation. 24(1): 11-28, (2005).
- [55] Y. Kang, C.C. Wang ve Y.P. Chang, Gear Fault Diagnosis by Using Wavelet Neural Networks. Lecture Notes in Computer Science, Volume 4493/2007, 580-588, DOI: 10.1007/978-3-540-72395-0\_72, (2007).

- [56] J. Rafiee, F. Arvani, A. Harifi, M. H. Sadeghi, Intelligent Condition Monitoring of A Gearbox Using Artificial Neural Network. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 21(4): 1746–1754, (2007).
- [57] H. Li, Y. Zhang ve H. Zheng, Gear Fault Detection and Diagnosis Under Speed-Up Condition Based on Order Cepstrum and Radial Basis Function Neural Network. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2780-2789, (2009).
- [58] A. Parey, N. Tandon, Impact Velocity Modelling and Signal Processing of Spur Gear Vibration For the Estimation of Defect Size. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 21 (1): 234–243, (2007).
- [59] Y. Wang , W. J. Zhang, Stochastic Vibration Model of Gear Transmission Considering Speed-Dependent Random Errors. *Nonlinear Dynamics*, Vol. 17, No. 2 , 187-203, DOI: 10.1023/A:1008389419585, (2008).
- [60] C. Wang , Z. Fang, H. Jia, Investigation of a Design Modification for Double Helical Gears Reducing Vibration and Noise. *Journal of Marine Science and Application*. 9(1): 81-86, (2010).
- [61] İşel B., Dişliler İçin Yüzey Yorulması Test Cihazı Geliştirilmesi ve Yağ Sıcaklığının Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, (2007).
- [62] MEGEP Makine Teknolojisi Dişli Çarklar,  
[http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine\\_tek/moduller/disli\\_carklar.pdf](http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine_tek/moduller/disli_carklar.pdf) (Erişim tarihi: 10.04.2012)
- [63] Kızılaslan K., Dişliler İçin Yüzey Yorulması Test Cihazı Geliştirilmesi ve Yağ Viskozitesinin Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, (2007).

- [64] Eş M., Dişli Çark Malzemelerinin Aşınma Karakteristiklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, (2004).
- [65] Sipahi C. V., Dişli Çark Hata ve Hasarlarının Titreşim Analizi ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, (1995).
- [66] Orhan S., Rulmanlarla Yataklanmış Dinamik Sistemlerin Titreşim Analizi ile Kestirimci Bakımı. Doktora Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, (2002).
- [67] Açıkel S., Sürekli form Baskı Makinesinin Titreşim Sinyali Yardımıyla Kestirimci Bakımın Yapılması. Yüksek Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, (2008).
- [68] C. Scheffer, P. Girdhar, Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. 115-116. Ed: by C. Scheffer. Elvesier, Burlington, (2004).
- [69] Örümlü M., Üretim Sürecinde İstatistiksel Proses Kontrol ve İşletme Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, (2006).
- [70] Çolak T., İstatistiksel Süreç Kontrolü ve Uygulamalar. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana, (2007)
- [71] Köksal B. A., İstatistiksel Analiz Metotları. Ankara, (2003).
- [72] K. Gopinath, M. M. Mayuram, Machine Design, Spur Gear Design, Indian Institute of Technology Madras, [http://nptel.iitm.ac.in/courses/IIT-MADRAS/Machine\\_Design\\_II/pdf/2\\_8.pdf](http://nptel.iitm.ac.in/courses/IIT-MADRAS/Machine_Design_II/pdf/2_8.pdf), (Erişim tarihi: 07.05.2012)
- [73] R. C. Juvinall, K. M. Marshek, Machine Component Design International Student Version, John Wiley and Sons, New York, (2012).

- [74] Karaçay T., Açısal Temaslı Rulmanlarla Yataklanmış Őaftların Dinamiği ve Rulman Hatalarının Deneysel Analizi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, (2006).



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sinan MARAŞ  
Doğum Tarihi : 01.02.1986  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu : Kırıkkale Lisesi (Y.D.A.) - 2004  
Lisans : Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine  
Mühendisliği Bölümü - 2009  
Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine  
A.B.D. - 2012

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar:

Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü,  
Araştırma Görevlisi, 2011

Yayımları (SCI) :

Yayımları (Diğer) :

Araştırma Alanları : Titreşim Analizi ile Makinelerde Hata Tespiti, Sistem  
Dinamiği, Kontrol Sistemleri, Mekanik Titreşimler,  
Mekatronik, Robotik