



**FARKLI TAŞLAMA KOŞULLARINDA
OLUŞAN AKUSTİK EMİSYON
FAALİYETLERİNİN KISA ZAMANLI FOURIER
DÖNÜŞÜMÜ İLE İNCELENMESİ**

ONUR BAKIR

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

UŞAK

OCAK 2021

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI TAŞLAMA KOŞULLARINDA OLUŞAN AKUSTİK
EMİSYON FAALİYETLERİNİN KISA ZAMANLI FOURİER
DÖNÜŞÜMÜ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR BAKIR

OCAK 2021

UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI TAŞLAMA KOŞULLARINDA OLUŞAN AKUSTİK
EMİSYON FAALİYETLERİNİN KISA ZAMANLI FOURİER
DÖNÜŞÜMÜ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR BAKIR

UŞAK 2021

Onur BAKIR tarafından hazırlanan “FARKLI TAŞLAMA KOŞULLARINDA OLUŞAN AKUSTİK EMİSYON FAALİYETLERİNİN KISA ZAMANLI FOURİER DÖNÜŞÜMÜ İLE İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

.....

Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

.....

Makina Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Prof. Dr. Osman ASİ

.....

Makina Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan ÖZTÜRK

.....

Makina Mühendisliği, Dokuz Eylül Üniversitesi

Tarih: 14/01/2021

Bu tez ile U.Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Murat Kemal KARACAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Onur BAKIR



**FARKLI TAŞLAMA KOŞULLARINDA OLUŞAN AKUSTİK EMİSYON
FAALİYETLERİNİN KISA ZAMANLI FOURIER DÖNÜŞÜMÜ İLE İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Onur BAKIR

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2021

ÖZET

Taşılama, tornalama, frezeleme, raybalama vb. gibi talaşlı imalat yöntemleri ile yeterli ölçüm hassasiyeti ve yüzey kalitesinin elde edilemediği durumlarda kullanılan son üretim sürecidir. Bu çalışmada, farklı kesme hızı ve radyal besleme hızı şartlarında elde edilen akustik emisyon (acoustic emission, AE) faaliyetlerinin kısa zamanlı Fourier dönüşümü (short time Fourier transform, STFT) kullanılarak incelenmesi ve STFT esaslı anlık enerji değişiminin kullanımı sunulmaktadır. Deneysel veriler tam otomatik dalma tipi silindirik bir bilgisayarlı nümerik kontrol (computer numerical control, CNC) taşılama tezgâhından elde edilmiştir ve üç farklı durumda (normal taşılama, daha yüksek kesme hızı ve daha büyük besleme) taşılama koşullarının durumu izlenmiştir. Elde edilen AE verileri öncelikle zaman ve frekans bölgesi incelemeleri yardımıyla değerlendirilerek, farklı çalışma koşullarının belirtileri tespit edilmiştir.

Spektrogram, AE faaliyetlerinin enerji içeriğinin zaman-frekans düzlemine nasıl dağıldığını gösterir. 300kHz'e kadar olan AE özelliklerinin tüm taşılama koşulları için sinyal enerjisine en büyük katkıyı sağladığı ve proses parametrelerinin izlenmesi için ideal veri kaynağı olabileceği bulunmuştur. Ayrıca, kesme hızındaki veya radyal beslemedeki herhangi bir artışın, STFT analizinden elde edilen anlık enerjide bir artışa neden olduğu bulunmuştur.

Bilim Kodu : 625.01.00.

Anahtar Kelimeler : Taşılama, kesme hızı, ilerleme hızı, akustik emisyon, kısa zamanlı Fourier dönüşümü, frekans momenti.

Sayfa Adedi : 63

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

INVESTIGATION OF ACOUSTIC EMISSION ACTIVITIES UNDER DIFFERENT GRINDING CONDITIONS USING SHORT TIME FOURIER TRANSFORM

(M.Sc. Thesis)

Onur BAKIR

**UNIVERSITY OF USAK
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE**

January 2021

ABSTRACT

Grinding is the final production process used when sufficient measurement precision and surface quality cannot be achieved by machining methods such as grinding, turning, milling, reaming, etc. This thesis presents the use of short time Fourier transform (STFT) in the analysis of acoustic emission activities detected under different operating conditions (i.e. cutting speed and infeed rate). Experimental data are obtained from a fully automatic plunge-type cylindrical Computer Numerical Control (CNC) grinding machine and conditions of the grinding process in three different cases (i.e. normal grinding, grinding with a higher cutting speed and greater infeed) are monitored using acoustic emission (AE). Detected AE signal is evaluated primarily using time and frequency domain analysis, and the symptoms of different working conditions are determined.

Spectrogram shows how the energy content of AE activities is distributed over the time-frequency plane. It has been found that the AE characteristics up to 300kHz provide the greatest contribution to signal energy for all grinding conditions and can be ideal source of data for monitoring process parameters. Moreover, it has been found that any increase in the cutting speed or radial infeed causes an increase in the instantaneous energy obtained from the STFT analysis.

Science Code : 625.01.00.

Keywords : Grinding, cutting speed, feed rate, acoustic emission, short time Fourier transform, frequency moment.

Number of Pages : 63

Advisor : Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

TEŞEKKÜR

Öncelikle, benden vaktini ve bilgilerini bir an olsun esirgemeyen değerli fikirleri ile çalışmalarımın her noktasına yön veren ve özellikle tez aşamasında beni her zaman daha iyi ve daha doğruya yönlendiren kıymetli danışman hocam Sn. Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasındaki deneysel verilerin oluşmasında destekleriyle yardımcı olan Ortadoğu Rulman Sanayi (ORS) Tic. A.Ş. Araştırma-Geliştirme ve İmalat bölümlerine teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca her konuda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olduklarını gösteren ve beni cesaretlendiren, daima anlayışlı olan sevgili aileme ve dostlarıma şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	viii
RESİMLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. TAŞLAMA UYGULAMALARINDA DURUM İZLEME FAALİYETLERİ.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Duruma Dayalı Bakım	2
1.2.1. Makinada durum izleme ve teşhis	2
1.2.2. Durum izleme teknikleri.....	4
1.3. Makina Titreşimlerine Genel Bakış	6
1.4. Literatür Araştırması	7
1.5. Tezin Amacı	12
1.6. Tezin Organizasyonu.....	13
2. TAŞLAMA	14
2.1. Taşlama İşlemi	14
2.2. Taşlamanın Tanımı.....	15
2.3. Taşlama İşleminde Talaş Kaldırma.....	16
2.4. Taşlama Çeşitleri.....	18
2.4.1. Silindirik taşlama.....	18
2.4.1.1 Silindirik dış yüzey taşlama	18

2.4.1.2. Silindirik iç yüzey taşlama.....	19
2.4.2. Düzlem yüzey taşlama.....	20
2.5. Yüzey Pürüzlülüğü.....	20
2.6. Taşlamaya Etki Eden Faktörler	21
2.6.1. Zımpara taşlarının yapısı	22
2.6.2. Kesme hızı	23
2.6.3. İş parçasının hızı.....	23
2.6.4. Talaş derinliği	23
2.6.5. Temas yüzeyi.....	24
2.6.6. Kesme sıvısı.....	24
3. AKUSTİK EMİSYON.....	26
3.1. Akustik Emisyon Tekniği	26
3.2. Akustik Emisyon Tekniğinin Tarihçesi.....	27
3.3. Akustik Emisyon İzlemenin Prensipleri.....	27
3.4. Akustik Emisyon İzleme Sistemi	29
3.5. Akustik Emisyon Sinyalinin Özellikleri	30
3.6. Akustik Emisyon Sinyalinin Temel Koşulları ve Parametreleri	32
4. FARKLI TAŞLAMA KOŞULLARINDA OLUŞAN AKUSTİK EMİSYON FAALİYETLERİNİN İNCELENMESİ	34
4.1. Zaman Bölgesi Analizi.....	34
4.1.1. Titreşim sinyalinin istatistiksel özellikleri.....	34
4.2. Frekans Bölgesi Analizi	35
4.3. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (STFT).....	36
4.4. Zaman-Frekans Dağılımının Frekans Momenti	38
5. DENEYSEL VERİLERİN İNCELENMESİ	40
5.1. Proses Parametrelerinin Tanımlanması ve Deney Düzeneği	40

5.2. Deney Sonuçları	41
5.2.1. Akustik emisyon sinyallerinin zaman-frekans bölgesi analizleri	41
5.2.2. Akustik emisyon sinyallerine spektrogramın uygulanması.....	45
6. SONUÇLAR VE SONRAKİ ÇALIŞMALARA ÖNERİLER	48
6.1. Sonuçlar.....	48
6.2. Sonraki Çalışmalara Öneriler	49
7. KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	56
EKLER.....	57
EK-1 KULLANILAN AKUSTİK EMİSYON SENSÖRÜ	57

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Tablo

Sayfa

Tablo 5.1. Farklı taşıma koşulları için AE aktivitelerinin istatistiksel değerleri	42
--	----



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Mühendislik izleme ve teşhisi için birleşik bir model	3
Şekil 1.2. A tipi izlenen parametre değeri-ömür.....	4
Şekil 2.1. Taşlama işleminde sürtünme, kazıma ve kesme rejimleri	17
Şekil 2.2. Taşlamada talaş oluşum mekanizması.....	17
Şekil 2.3. Taş ölçü ve spesifikasyonları.....	22
Şekil 3.1. Gerinim enerjisi yayılmasından dolayı akustik emisyon oluşumu.....	28
Şekil 3.2. Akustik emisyon dalgalarının oluşumu ve tespiti.....	28
Şekil 3.3. Bir AE izleme sisteminin blok şeması.....	29
Şekil 3.4. Algılayıcıda elektronik sinyale dönüşmüş bir AE sinyali	30
Şekil 3.5. Sönümlü basit sinüzoidal titreşim.....	30
Şekil 3.6. Bir akustik emisyon sinyal örneği	31
Şekil 3.7. Bir gerilim eşiği ile sinyal ayırımı	31
Şekil 3.8. AE ölçüm parametreleri.....	32
Şekil 4.1. STFT'nin çözünürlüğünün temsili.....	38
Şekil 5.1. Normal taşlama (ilk sıra), daha büyük kesme hızı (ikinci sıra) ve daha büyük besleme hızı (üçüncü sıra) için AE sinyallerinin zaman ve frekans bölgesi gösterimleri.	44
Şekil 5.2. 25.6kHz civarında normal taşlamadaki AE aktivitesinin spektrumuna çok yakından bir bakış.....	44
Şekil 5.3. Normal taşlama için AE sinyalinin spektrogramı.....	46
Şekil 5.4. Daha yüksek kesme hızı için AE sinyalinin spektrogramı.	46
Şekil 5.5. Daha yüksek besleme hızı için AE sinyalinin spektrogramı.	47
Şekil 5.6. Farklı taşlama koşulları için anlık enerjinin zamana göre değişimleri.	47

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. a) Dudak taşlama b) N serisi taşlama c) Profil taşlama.....	19
Resim 2.2. Motor bloklarının taşlanması.....	20
Resim 2.3. Taşlama işleminde verilen talaş derinliği	24
Resim 5.1. Deney düzeneği.	40



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış olan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri
α	Talaş açısı
φ	Kayma açısı
d	Talaş derinliği
V	İş parçasının hızı
T_t	Zamanlayıcı sıfırlama
V_t	Eşik gerilimi
A	Genlik
μV	Elektrik potansiyel farkı
N	Sayı
E	Bağıl sinyal genliği
D	Devam süresi
R	Yükselme zamanı
rms	Root mean square
F_c	Crest faktörü
K_r	Kurtosis
P_p	Tepeden-tepeye değeri
$\bar{x}$	Zaman bölgesi sinyalinin ortalama değeri
$x(t)$	Zaman bölgesi sinyali
$X(f)$	Zaman bölgesi sinyalinin Fourier dönüşümü
F	Frekans
$w(\tau)$	Pencere pozisyonu
τ	Zaman değişkeni
T	Pencere genişliği
t	Zaman, pencere pozisyonu

$*$	Eşlenik
Δ_{wt}	Zaman penceresinin bant genişliği
Δ_{wf}	Spektral pencerenin yarıçapı
ξ	Ksi
N	Toplam veri noktası sayısı
f_s	Örnekleme frekansı
$S(t, f)$	Zaman-frekans bölgesi enerji yoğunluğu fonksiyonu
$\ \cdot \ $	Norm
$L^2(\Re)$	Uzay
n	Frekans momenti sırası
$M_n(t)$	T zamandaki frekans momenti

Kısaltmalar

Açıklama

Hz	Frekans
dB	Ses Şiddeti
HRc	Rockwell Sertlik Birimi
AE	Akustik Emisyon
FFT	Fourier Dönüşümü
STFT	Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
CWT	Sürekli Dalgacık Dönüşümü
WV	Wigner-Ville Dönüşümü
IPS	Anlık Güç Spektrumu
IE	Anlık Enerji

BÖLÜM 1

TAŞLAMA UYGULAMALARINDA DURUM İZLEME FAALİYETLERİ

Bu bölümün amacı, taşlama faaliyetlerinde kullanılan durum izleme yöntemleri, teknikleri ve yapılan çalışmaları detaylandırmaktır. Tezin amacı ve organizasyonu da detaylı bir biçimde sunulmaktadır.

1.1. Giriş

Endüstriyel alanda yapılan bilimsel çalışmalar sonucu, yeni teknolojik gelişmeler ortaya çıkmaktadır. Bu teknolojik gelişmeler sayesinde, endüstriyel ürünlerin üretiminde kullanılan makina ve teçhizatla birlikte üretim yöntemleri de değişmekte ve bunun doğal sonucu olarak da üretilen ürünlerin maliyeti düşmekte ve kalitesi artmaktadır.

Bir imalat prosesinde; işlem planlama sürecinin belirlenmesinde, minimum maliyet ve maksimum üretim hacmi ile birlikte en iyi işleme parametrelerinin (kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, aşınma değerleri, kesme parametreleri vb.) belirlenmesi esastır. Talaşlı imalatla ve özellikle taşlama işlemlerinde adı geçen herhangi bir parametrenin değişmesi, son işlemde parça üzerindeki yüzey kalite performansında önemli ölçüde etkili olmaktadır.

Taşlama işlemlerinde de üretim maliyetini düşürmek ve üretilen iş parçası kalitesini artırmak için, kullanılan taş ve işleme parametrelerinin iyi seçilmesi gerekmektedir. Taşlama işlemi esnasında, bu parametrelerin ayrı ayrı etkilerinin yanı sıra birbirleriyle de etkileşimi söz konusudur. Bu parametrelerin birbirleri ile olan etkileşimi iyi bilinmez ve etkileri iyi analiz edilemez ise taşın hızlı aşınması, yanması ve ayrıca taşlanan iş parçasının hasar görmesi veya yeni bir işlem gerektirecek düzeyde iş parçası yüzey kalitesinin bozulması gibi maliyeti artıracak ve zaman kaybına neden olacak problemler ortaya çıkabilir [1].

Taşlama tezgâhlarında görülen en yaygın titreşim şekilleri zorlanmış titreşimler (force vibrations) ve kendinden uyarılan titreşimler (self-excited vibrations) olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Taşlama taşı iş parçası ile temas etmediğinde bile zorlanmış titreşimler mevcut olabilir.

Kendinden uyarılan titreşimler, taşlama parametreleri, işlem ve makinanın doğal frekansları gibi belirli makina özellikleri nedeniyle sadece taşlama sırasında gerçekleşir.

Taşılama sırasında meydana gelen titreşim, düşük genlikli bir titreşimdir ve bu nedenle kesme işlemi üzerinde olumsuz bir etkisi olmamaktadır. Öte yandan, yüksek genlikli titreşim kesme işleminin, işlenmiş yüzeyde dalgalanma oluşumu, işlenmiş parçalarda düşük hassasiyet, nadiren de olsa yüksek yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması, yoğun gürültü vb. gibi bazı yönlerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Taşılama taşının ve iş parçasının dönel hareketi, taşılama taşının yüzeyinde dalgalanma oluşmasına neden olmaktadır. Taşılama sırasında, dalgalanma kuvvetleri makinada doğal bir frekansı uyandırdığında da, iş parçası veya taşılama taşı üzerinde dalgalanmalar/dalgalar oluşmaya başlamaktadır. Dalgalar, taşın her dönüşüyle büyümeye devam etmektedir. Dalgalanma oluşumu, tanecik aşınması ve taşılama kuvvetlerinin arttırılması ile ilgilidir. Bu durumdan dolayı taşılama işlemi kararsız hale gelmekte ve kritik frekansın genliği (kendinden uyarılan titreşimlerin frekansı) artmaktadır.

Tipik olarak, kabul edilebilir titreşim seviyesi, boyutsal tolerans, yüzey kalitesi, dalgalanma, yuvarlaklık ve devir başına dalgalanmalar gibi iş parçası toleransları tarafından yönlendirilir. Toleranslar ne kadar sıkı olursa, titreşimin o kadar azaltılması gerekir. Ayrıca aşırı titreşim taşın aşınmasını arttırabilir, malzemeye zarar verebilir (yanabilir) ve erken iş mili yatağı arızasına neden olabilir.

1.2. Duruma Dayalı Bakım

1.2.1. Makinada durum izleme ve teşhis

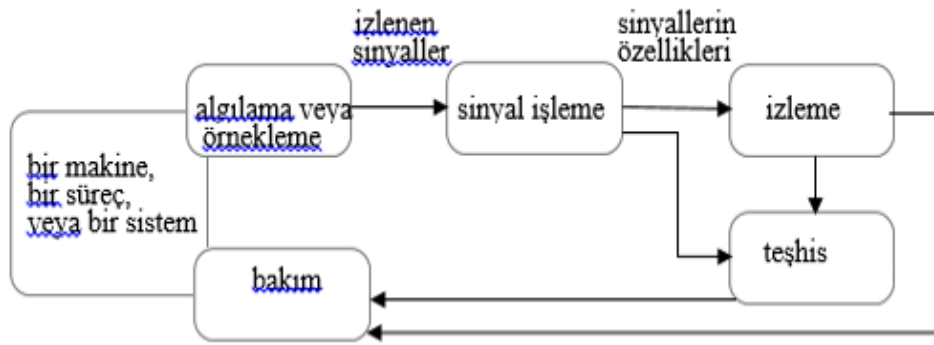
Webster'ın Yeni Dünya Amerikan Dili Sözlüğü'ne göre, diğer bazı anlamların yanı sıra izleme, bir makinanın, sürecin veya sistemin performansını kontrol etmek veya düzenlemek anlamına gelir. Diğer taraftan teşhis, semptomları inceleyerek bir makinanın, bir sürecin veya bir sistemin hasarlı bir durumunun doğasına ve nedenine karar vermek anlamına gelir. Başka bir deyişle, izleme şüpheli semptomları tespit ederken, teşhis semptomların nedenini belirlemektedir.

Arıza tespiti, arıza tahmini, süreç içi değerlendirme, çevrimiçi inceleme, tanımlama ve tahmin gibi benzer veya biraz farklı anlamlara sahip başka birkaç kelime ve kelime öbeği vardır. İzleme ve tanımlama, bilgisayarla tümleşik imalat (computer integrated manufacturing, CIM) sistemlerinin tümleşik bir parçasıdır.

Genellikle makinalar, süreçler ve sistemler arasındaki farklılıklara rağmen, mühendislik izleme ve tanılamada Şekil 1.1'de gösterilene benzer bir yapı izlemektedir.

Şekilde gösterildiği gibi, bir sistemin sağlık durumu (sistem durumu olarak adlandırılır), sistemin girişi ve duyuşal sinyallerde, sistemin gürültüsünden de etkilenen çıkışları olarak düşünölebilir [2].

Sinyal işleme yoluyla, sinyallerin özellikleri yakalanarak sistem koşulları tahmin edilir. Uygulamalara bağılı olarak, çeşitli duyuşal sinyaller kullanılabilir. Örneğin; kuvvet, basınç, titreşim (yer değıştirme ve ivme), sıcaklık, voltaj, akım, akustik, akustik emisyon, optik görüntü vb.



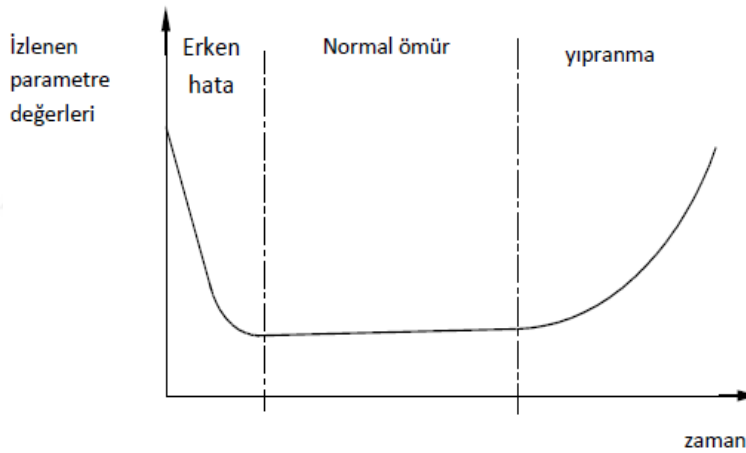
Şekil 1.1. Mühendislik izleme ve teşhisi için birleşik bir model [2].

Bir sinyalin belirli bir varyasyonu, bir makina veya proses koşullarındaki değışiklikleri ifade eder. Örneğin, bir elektrik motorundaki aşırı sıcaklık artışı genellikle elektriksel veya mekaniksel problemler ile ilişkilidir. Ayrıca sinyaller proses çalışma koşullarından ve çeşitli seslerden etkilenir. Çalışma koşullarının ve gürültü rahatsızlığının etkileri sinyal işleme yoluyla en aza indirilebilir. Sinyal işlemenin amacı, sistemin koşullarını karakterize eden sinyalin özelliklerini tespit etmektir [3].

Durum izlemenin temel özelliğı, kullanılan teknik ne olursa olsun veri toplamaya dayanır. Normal bir durumda, parametrelerin değerlerini gösteren yeterli veriler uygun bir periyotta toplanır. Şüphesiz ki, normal durumdaki parametrelerin değerini bilmeden, arıza durumundaki anormal parametre değeri tespit etmek zorlaşır.

Makinanın ömür hataları erken ve geç ömür hatası olarak iki ayrı grup ile kontrol edilebilir. Erken ömür hataları (birleşme yüzeylerindeki pürüzlölük, montaj yüzeylerindeki pislik, yetersiz temizleme gibi) zamanla kendini temizlemesiyle oluşturuyor. Bu süre boyunca, izlenen bir değışken (örneğin rulmanın sıcaklığı ya da biriken kir oranı) zamanla azalır.

Erken ömür periyodu boyunca, makina parametrelerinin değerinin değişimi dikkatli bir şekilde izlenmelidir. Geç ömür hataları (aşırı yük, gevşeklik, aşınma, yorulma gibi) izlenen parametre değerlerindeki bir artışla birlikte zamanla hata olasılığının artması ile sonuçlanır. Genellikle izlenen parametreler sürekli olarak değişir; erken ömür hataları, sabit kalan veya normal ömrü yavaş yavaş artan ve geç ömrü artan şeklindedir. Bu Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Gerçek ölçüm hız, yük değişimi ve geçici bir süreyle ısı etkileri gibi faktörler nedeniyle dağılımı eğri ile gösterilmiştir. Bir makinadan alınan bilgiler düzenli aralıklarla yapılan ölçümlerle (periyodik olarak izlenmesi ve sık sık veri toplanması) veya sürekli izlenmesi ile (sabit bir kablo ile sürekli kaydederek) elde edilir. Toplanan veriler kaydedilir ve her ölçüm sonunda değerlendirilir. Bu yöntem düşük ve orta derecede kritik makinalar için çözüm olabilir. Makina kritik derecede ise kısa periyotta izlemek daha sağlıklı olur ve böyle durumlarda makinanın sürekli izlenmesi en uygun yöntemdir [4].



Şekil 1.2. A tipi izlenen parametre değeri-ömür [4].

1.2.2. Durum izleme teknikleri

Birçok hata tespit yöntemi kullanılmasına 4agmen izleme teknikleri altı kategoride gruplandırılmaktadır.

- **Hisse dayalı yöntemler**

Bu denetim kullanıcı bazında yapılan basit çalışmaları içerir ve genellikle duyu organları yardımıyla yapılır. Bazen hissedilen değişimleri iyileştirmek amacıyla donanım cihazları (mikrofon gibi) da kullanılabilir [4, 5].

- **Performans izleme**

Bu izleme tekniğinde, makinanın performansını etkileyen parametrelerde (kuvvet, hız, tork gibi) herhangi bir değişimin olup olmadığı izlenir. İstenilen çalışma parametrelerinden belirgin şekildeki sapmalar makinada bir arıza göstergesi olarak kabul edilir [4, 5].

- **Sıcaklık izleme**

Bu teknik, çalışma sıcaklığını kontrol etmek için ya da herhangi bir arıza nedeniyle makinanın ısı üretimi yapıp yapmadığını belirlemek için kullanılır. Sıcaklık termokulp, termografik boya ve termal kameralar gibi termal sensörler ile ölçülebilir [4, 5].

- **Aşınma parçacıklarını izleme**

Aşınma iki yüzeyin birbirine karşı kuvvetlerle hareketi sonucu oluşur. Uygun yağlama ve temiz bir çalışma ortamında aşınma azaltılabilir/önlenebilir. Örneğin aşırı yükleme veya yetersiz yağlama nedeniyle aşınma başlarsa, temas yüzeylerinden kopan partiküller yağlayıcıyı kirletir ve bu nedenle aşınma kalıntıları yağlayıcı izleme ile tespit edilir. Makina yağının ferrografik ve spektrometrik analizlerinde ferritik parçacıklarının birikimine ve partiküllerin şekli, oranına bakarak arızanın varlığı ve yeri tespit edilir [4-6].

- **Titreşim izleme**

Yukarıda sözü edilen durum izleme teknikleri içerisinde, titreşim izleme tekniği makina hakkında tartışmasız en çok bilgi veren ve en yaygın kullanılan durum izleme tekniğidir [4,5,7]. Makinalar genellikle çalışma prensibine göre bir makina bir diğerine kuvvet iletirken titreşim oluşturur. Makinada bir arıza oluşursa izlenen titreşim özelliklerinde değişim meydana gelir. Titreşim izleme tekniği, örneğin şaftta eğilme, eksen kaçıklığı, hatalı rulman ve dişliler, makina elemanları arasındaki uygun olmayan boşluklar gibi çeşitli hataları tespit etmek için kullanılabilir [4].

- **Akustik emisyon izleme**

Mekanik bir bileşen yapısal olarak hasar gördüğünde, genellikle akustik bir emisyon oluşur. Ses sinyalinin kalıntısını izleyerek veya artık sinyal spektrumundaki değişiklikleri analiz ederek, ses sinyali genlikte sürekli değiştiği sürece bazı hatalar tanımlanabilir. Bununla birlikte, akustik izlemenin sınırlamaları, sinyal-gürültü oranının düşük olması ve bazen gürültü seviyesindeki artışın yorumlanmasının zor olmasıdır [8-13].

1.3. Makina Titreşimlerine Genel Bakış

En genel anlamda titreşim, cisimlerin denge konumu etrafında yaptıkları salınım hareketidir. Titreşimin oluşmasında birçok etki söz konusu olabilir ve bunlardan bazıları aşınma, arıza, uygun yapılmayan montaj ve dengesizliktir. Makinanın çalışma hızı ve makinaya etkiyen kuvvetlerden birinin frekansı makinanın doğal frekansından birisine yaklaşır veya çakışırsa rezonans olayı meydana gelir ve önemli titreşim sorunları ortaya çıkar.

Makinanın titreşim sinyallerini analiz ederken öncelikle zorlayıcı kuvvetlerinin etkisi araştırılmalıdır ve bu etkiler aşağıda sıralanmış olan nedenlerden birine dayanabilir. Örneğin dengesizlik kendini makinanın çalışma hızına eşit sinüzoidal titreşimlerle gösterir. Nedeni makinanın bir elemanın kütle merkezinin dönme merkezinden farklı olmasıdır. Dengesizlik tek bir düzlemde olabileceği gibi (statik dengesizlik), iki veya daha fazla düzlemde de olabilir (dinamik dengesizlik). Dönen bir sistemin dengelenmesi özel bir titreşim analizi gerektirir.

Dengesizlik nedenine dayanan titreşimler tüm radyal doğrultularda aynı titreşim genliğine sahiptir ve genlikleri hızla artar. Bu nedenle tek bir titreşim frekansı oluşur, yani harmonikler (yüksek frekans titreşimleri) bulunmaz. Birbirine bağlı olarak çalışan makinaların mil eksenleri arasındaki kaçıklıktan (misalignment) doğan titreşimlerin frekansı genellikle makinanın çalışma hızının iki katıdır ve büyük bir eksenel bileşke içerir. Düzgün oturmamış yataklarda ve eğilmiş millerde de benzer titreşimler oluşur. Eksantrik bir makarada kullanılan kayış tahrik mekanizmasında olduğu gibi düzgün olmayan yüklemelerde makinanın çalışma hızına eşit hızda titreşimler yaratır. Burada belirleyici özellik titreşimin yük ve doğrultu ile değişmesidir. Mekanik aksamdaki gevşeklik yine makaranın çalışma hızına eşit hızda fakat bu kez yüksek ve düşük dereceli harmoniklere sahip titreşimlere neden olur. Bu durum makinanın çeşitli yerlerinden hız değerleri alınarak saptanabilir. Küçük makinalardaki arızaların en başta gelen nedenleri rulman yataklarıdır, iç ya da dış bilezik veya yuvarlanma elemanlarından birindeki bir hata yüksek frekanslı ve alçak enerjili titreşimlere sebep olur. Bu özelliğinden dolayı rulmanlardaki arızaların tespiti gelişmiş ve yüksek duyarlılık ölçüm aletleriyle yapılabilir. Rulmanın yuvarlanma elemanlarının boyutlarına, iç ve dış bilezik çaplarına bakılarak arızadan dolayı oluşan titreşimin frekansı tahmin edilebilir. Fakat dişli kutusu gibi birden fazla rulman içeren makinada bu yöntemi uygulamak çok daha zordur.

Dişlerin birbirine çarparken çıkardıkları titreşimler de yüksek frekanslı, alçak enerjilidir, kolayca tanınırlar fakat açıklanmaları zordur.

Tahmin edileceği gibi titreşim frekansı, dişlinin açısal hızı ile diş sayısının bir fonksiyonudur. Dişlideki hatalar, örneğin eksantriklik, dişin karşı diş dibine vurması ve kırık diş gibi, dişli devir sayısına eşit frekansta titreşimlere neden olurlar. Kaymalı yataklarda yağ filmi tarafından taşınan rotorun dengesizliği yağ filmi içinde türbülansa neden olur. Rezonans, makinanın doğal frekansı ile çalışma hızı birbirine çok yakın olduğu durumda ortaya çıkar. Rezonans durumunu dengelemeye çalışmak sadece geçici bir süreliğine makinada rahatlama meydana getirir. Fakat bir süre sonra herhangi bir nedenden ötürü makinada yine dengesizlik ortaya çıkar ve titreşim eski düzeyine geri döner. Bu durumda doğru çözüm ise makinanın titreşim karakteristiğinin değiştirilmesidir.

Bu ise aşağıdaki üç yoldan biri ile yapılabilir:

1. Makinanın rijitliği arttırılmak suretiyle doğal frekansı yükseltilebilir.
2. Doğal frekansı düşürmek amacıyla kütle eklenebilir.
3. Makinaya sönümleyici elemanlar ilave edilerek titreşim düzeyi azaltılabilir [14].

Titreşim analizinin en büyük avantajı daha büyük maliyetlere neden olmadan ve beklenmedik üretim kayıpları ile karşılaşmadan önce arızaların erken tespit edilmesini sağlamasıdır. Titreşim analizi makinaların devamlı şekilde izlenmesiyle ya da makinaların aynı noktalarından belirli bir periyotta alınan titreşim ölçümlerinin yorumlanmasıyla yapılır [15].

1.4. Literatür Araştırması

Taşlama işleminin durumunu ortaya çıkarmak amacıyla farklı durum izleme yöntemleri ve teknikleri kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda temel olarak teorik ve deneysel çalışmalar [16-22], akustik emisyon veya ultrasonik yaklaşımlar kullanılarak yapılan çalışmalar [23-33] ve titreşim ve gürültü analizi yardımıyla yapılan çalışmalar [34-40] olarak gruplandırılabilir.

Janik ve Fuchs [16] silindirik yüzey taşlama işleminin kontrol ve teşhisinde, parça aşınması ve taşlama işleminde, titreşim oluşturan salınımları tespit etmek için bir sinyal-model kombinasyonu kullanmışlardır. Model parametrelerinin deneysel olarak tanımlanması için, en küçük kareler algoritması önerilmiştir. Kullanılan algoritma ve araçlarla, parça aşınması ve titreşim oluşturan taşlama için güvenilir, sürekli bir denetim gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Cloquell ve Meter [17] kesme derinliği ve taşlama hızındaki değişikliklerin kaba talaş işleme süresince, işlemin özgül taşlama enerjisini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Taşlama işleminin davranışı taşlama sertliğindeki sürekli düşüş ve özgül taşlama enerjisi nedeniyle çok geçici olduğu anlaşılmıştır. Bununla beraber, taşlama bölgesi içindeki yapıştırıcının sıcaklığı cam geçiş sıcaklığının altında olduğuanda, özel taşlama enerjisinin kesme hızındaki değişikliklere karşı duyarsız olduğunu, ancak taşlama hızından bağımsız olarak ilerlemedeki artışlarla önemli ölçüde azaldığı gözlenmiştir.

Saravanakumar, Dhanabal vd. [18] üstün yüzey kalitesi elde etmek için taşlama taşı hızı, tabla hızı ve kesme derinliği gibi taşlama işlemi parametrelerinin analizlerinde Taguchi yöntemi L18-OA'yı kullanmışlardır. Yüzey taşlama işlemi, farklı proses parametrelerini değiştirerek Taguchi yöntemi yardımıyla ayrıntılı olarak incelenmiştir. Deneysel sonuça, kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğu üzerindeki kontrol edilebilir üç faktör arasında en önemli etki parametresi olduğu ortaya çıkmıştır. Taşlama parametreleri çalışmaları, tabla hızı ve kesme derinliği arasındaki etkileşimin yüzey pürüzlülüğünü diğer etkileşimlerden daha fazla etkilediğini göstermiştir.

Demir ve Güllü [19] yüzey taşlama işleminde taş sertliğinin, yüzey pürüzlülüğüne ve taşlama kuvvetlerine olan etkilerini incelemişlerdir. Taşlama işlemi sırasında oluşan taşlama kuvvetlerinin ölçülmesi için uygun bir dinamometre kullanılmış ve bilgisayar yardımıyla pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda, artan taş sertliği ile yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli artışlar gözlenmiş, fakat taşlama kuvvetlerinde belirgin bir değişiklik görülmemiştir.

Zhang, Shang vd. [20] ray taşlama işleminde hareketli bir ısı kaynağı olarak taşlama taşlarının, basitleştirildiği üç boyutlu bir termal model oluşturmuşlar ve taşlama parametrelerinin yer rayının sıcaklık alanı üzerindeki etkisini araştırmak için kullanmışlardır. Taşlama gücünün artmasıyla birlikte en yüksek yer rayı sıcaklığının da arttığı gösterilmiştir.

Drazumeric, Roininen vd. [21] krank mili taşlanmasıdaki ilerleme artışlarının belirlenmesi için sıcaklığa dayalı yeni bir yöntem geliştirmişler ve endüstriyel bir ortamda deneysel olarak doğrulamışlardır. İşlem geometrisi ve bu araştırmadan önce bilinmeyen termal etkiler, ilerlemeye bağlı maksimum yüzey sıcaklığını tahmin etmek ve krank mili taşlama işleminin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için taşlama bölgesinde modellenmiştir.

Proses analizlerine dayanarak, radyal girişı ve eksenel girişı iki kritik noktada önceden belirlenmiş bir yanma eşiğine ulaşacak şekilde belirlemek için iki yüzey sıcaklığının maksimumu kullanılmıştır.

Lin, Zhou vd. [22] yerleştirilmiş bir yarı yapay termokulp yöntemi kullanılarak taşlama parametrelerinin ray taşlama sıcaklığı ve yanma davranışları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ray taşlama sıcaklığının artışını doğru bir şekilde değerlendirmek için yerleştirilmiş bir yarı yapay termokulp yöntemi kullanılmıştır. Taşlama sıcaklığı 802°C'ye yükseldiğinde, ray yüzeyinde görünür taşlama çatlakları ve söndürme çatlakları gözlenmiştir. Mekanik ve termal etkilerden kaynaklanan çekme gerilimi, taşlama rayı yüzey çatlaklarının başlamasına neden olmuştur. Taşlama yüzeyi sıcaklığı arttıkça, yanma yüzeyinin rengi normal renk ve sarıdan mavi ve mora dönmüş, yüzey pürüzlülüğü ise artıp ve sonra azalmıştır.

Liu, Chen vd. [23] lazer ışımasının neden olduğu termal genleşmenin, taşlama termal davranışını simüle etmek için tasarlanmış akustik emisyon özelliklerini araştırmışlardır. Dalgacık paket dönüşümleri kullanılarak taşlama yanma sıcaklığındaki akustik emisyon özellikleri, diğer mekanik girişim faktörleri olmadan başarılı bir şekilde çıkarılmıştır.

Akbari, Saito vd. [24] iş parçası koşullarının süreç içi tespiti için bir akustik emisyon faaliyetlerini incelemişlerdir. Akustik emisyon duyarlılığının değerlendirilmesi ve her taşlama parametresinin etkisini anlamak için farklı taşlama koşulları gerçekleştirilmiştir. Akustik emisyonun, kesici taşların kesme derinliği ve tabla hızının artmasıyla arttığını, ancak kesme hızı arttığında akustik emisyon aktivitelerinin azaldığı göstermiştir.

Dotto, Aguiar vd. [25] taşlama işlemi sırasında taşlama taşı yüzeyinin koşullarını belirlemek için, akustik görüntülerini elde etmeyi amaçlamışlardır. Alüminyum oksit taşlama taşının yüzey durumunu tanımlamak için akustik emisyon sinyallerinden akustik görüntüler elde edilmiştir. Sağlıklı ve hasarlı tař yüzeyleri ile ilgili ham akustik emisyon sinyalinin frekans spektrumları üzerine çalışmalar yapılmış ve daha sonra bu takım koşullarını en iyi temsil eden frekans bantları sečilmiřtir. Seçilen bantlarda dijital filtreli ve filtresiz ham akustik emisyon sinyalinden hesaplanan RMS (root mean square) değerlerinden akustik görüntüler oluşturulmuştur.

Inasaki [26] tek noktalı ve çok noktalı kesici takımların ve taşlama işleminin yanı sıra, kesme işlemini izlemek için akustik emisyon sensörünü uygulamıştır.

Kesici takımın durum izlenmesi ve akustik emisyon sensöründen tam olarak yararlanmak için yapılan bazı denemeler, sensör montajı ve sinyal işleme ile ilgili olarak gerçekleştirilmiştir. Proses ve taşlama işlemi izleme için, sensör diğer gerekli cihazlarla birlikte bileme aparatına monte edilmiştir. Akustik emisyon sensörünün işlem durumuna çok duyarlı olduğu ve bu sensörü kullanan izleme sistemini daha güvenilir hale getirmek için daha fazla iyileştirme yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Mokbel ve Maksoud [27] akustik emisyon tekniği kullanılarak elmas taşlama taşlarının durumunu izlemişlerdir. Farklı tane büyüklüğü, bağ tipi ve koşulları için elde edilen sonuçlar akustik emisyon tekniğinin taşlama işlemi sırasında taşlama taşının durumunu izlemek için faydalı bir araç olabileceğini göstermiştir. Hem akustik emisyonun spektral genliği hem de yüzey pürüzlülüğündeki değişikliklerin, kesici taşın yüzey durumunu yansıttığı bulunmuştur. Akustik emisyon tekniğinin, bir elmas taşlama taşı koşulunun durumunu izlemek için uygun olduğu ve kullanılan yüksek örnekleme frekansı nedeniyle yüksek taşlama taşı hızlarıyla başa çıkılacağı belirtilmiştir.

Han ve Wu [28] farklı çalışma koşullarındaki hassas taşlamada akustik emisyonun karakteristikleri üzerinde çalışmışlar ve AE sinyalinin RMS ve frekans spektrumu dikkate alınarak gerekçelendirmeler yapmışlardır. Karpuschewski ve Wehmeier [29] farklı işleme parametrelerinin AE sinyali üzerindeki etkisini araştırdılar ve zarf analizi yapılmış AE sinyalinin güç spektrumları kullanılarak taşlama taşının ömür tahminini gerçekleştirdiler.

Plaza, Chen ve Ourab [30] aşındırıcı taşlamanın akustik emisyon özellikleri üzerine deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Akustik emisyon sinyallerinin hem zaman hem de frekans alanlarında analizi yapılmıştır. 200kHz'e kadar frekanstaki AE özelliklerinin, taşlama işlemlerinde yüzey oluşumunun sürekli izlenmesi için ideal bir veri kaynağı olabileceği bulunmuştur. Aguiar, Serni, Bianchi ve Dotto [31] AE sinyallerini kullanarak taşlama işlemindeki termal hasarların tespitinde bazı istatistiksel analiz yöntemlerinin etkinliğini araştırmışlardır.

Viera, Paulo vd. [32] piezoelektrik diyafram ve AE sensörleri kullanarak yüzey taşlama işlemi sırasında seramik bileşenlerin yüzey kalitesini izlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek için kısa zamanlı Fourier dönüşümüne dayanan bir değerlendirme yapılmıştır. Hübner, Silva vd. [33] AE ve elektromekanik empedans sinyallerini kullanarak taşlama sırasında çeliğin yüzey bütünlüğünü araştırmışlardır. Ortaya çıkan AE sinyalleri hem kısa zamanlı Fourier dönüşümü hem de sürekli dalgacık dönüşümü ile analiz edilmiştir.

Arun, Rameshkumar vd. [34] akustik emisyon sinyallerini yakalamak için piezo-elektrik sensörlü bir silindirik taşlama makinası ve sinyal işleme için ilgili donanım ve yazılımdan oluşan bir deney düzeneği oluşturmuşlardır. İşlem sonunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü, taşlama döngüsünün başından sonuna kadar sabit zaman aralıklarında kaydedilip, akustik emisyon ayırt edici özelliklerinin ortalamalarının karekökü, genlik, ortalama sinyal seviyesi gibi çeşitli özellikleri zaman alanından çıkarıp, iş parçası üzerindeki taşlama taşının ürettiği yüzey pürüzlülüğü ile karşılaştırılmıştır.

Sridharan, Bedekar vd. [35] Malkin'in taşlama enerjisi bölümlene modeli, taşlama değişkenlerinden bağımsız olarak doğrudan sertleştirilmiş rulman çeliklerinde termal hasar oluşumunu güvenilir bir şekilde tahmin etmek için Barkhausen gürültü analizi (Barkhausen noise analysis, BNA) ile birlikte uygulamışlardır. Malkin'in taşlama termal modeli, taşlama işlemi değişkenlerinin kısa bir temsili olarak benimsenmiş ve çoklu taşlama parametrelerinin kombinasyonları için maksimum taşlama bölgesi sıcaklığı tahmin edilmiştir.

Taşlama bölgesi sıcaklık artışını (gözlemlenen taşlama gücünden hesaplanabilen) BNA ve RMS ile ilişkilendirerek, taşlama kaynaklı termal hasarın yıkıcı değerlendirme ve doğrulama gerekmeksizin çok doğru bir şekilde tespit edilebileceği gösterilmiştir.

Cillikova, Micieta vd. [36] 62HRC sertlik değerine sahip 100Cr6 malzemeden yapılan taşıyıcı halkaların taşlama işleminde oluşan yüzey hasarını araştırmışlardır. Aşamalı olarak geliştirilmiş taşlama taşı aşınması, sertlik, artık gerilmeler, mikroyapı değişiklikleri manyetik Barkhausen gürültüsü (Barkhausen noise, BN) emisyonları gibi işlenmiş halkaların yüzey özellikleri, artan termal hasarın belirtileri olarak izlenmiştir. BN emisyonlarına dayalı müdahalesiz gözlemler, her halkada gerçekleştirilirken, seçilen halkalarda daha zahmetli deneysel teknikler kullanılmıştır.

Kwak ve Ha [37] taşlama işlemi sırasında titreşim oluşturan, titreşim ve yanma olayları için akıllı bir tanı elde etmek üzere bir yapay sinir ağı tekniği kullanmışlardır. Akustik emisyon sensörü ve güç ölçer ile çoklu sensör yöntemiyle akustik emisyon ve güç sinyalleri deneysel olarak elde edilmiştir. Sinyal işlemi yöntemleriyle, taşlama durumunu etkileyen sinyal parametreleri olarak belirlenmiş ve ayrıca RMS ve FFT (fast Fourier transform) tepe noktaları akustik emisyon parametreleri olarak uygulanmıştır. Bu parametreler taşlama hatalarını teşhis etmek için sinir ağının girdileri olarak kullanılmıştır.

Thanedar, Dongre vd. [38] taşlama parametrelerinin Barkhausen gürültü analizi ve artık gerilmeler, yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal kararlılık gibi diğer özellikleri kullanarak taşlama yanıklarına vurgu yaparak zemin yüzeylerinin bütünlüğü üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Kesme hızının taşlamadaki esas olarak BNA değerini yönettiği gözlenmiştir.

Yang, Yu vd. [39] taşlama yanmasını tanımlamak amacıyla, akustik emisyon ve titreşim sinyalini işlemek için Hilbert-Huang Transform adlı yeni bir zaman-frekans analizi yöntemi kullanmışlardır. Taş milinin motor sinyal akım sinyali, voltaj sinyali ve titreşim sinyali de tüm taşlama deneyleri sırasında akustik emisyon sinyali ile senkronize olarak toplanmıştır. Hem kaba talaş işleme hem de ince talaş işleme koşullarını kapsayan çok çeşitli çalışma parametreleri dikey deney tasarımı kullanılarak dahil edilmiştir. Hem yanma koşulunda hem de normal koşulda ilk beş içsel mod fonksiyonu (intrinsic mode function, IMF) bileşeninin toplam enerjinin çoğunluğunu oluşturduğu bulunmuştur. Böylece birinci IMF bileşeninden üçüncü IMF bileşenine marjinal spektral genliğin RMS değeri ve son iki IMF bileşeninin spektral ağırlık merkezi hesaplanmış ve taşlamanın yanma özellikleri olarak kullanılmıştır.

Kwak ve Song [40] taşlama işlemi sırasında üretilen akustik emisyon sinyalleri, taşlama ile ilgili sorunlar ve sinyallerdeki değişikliklerin özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için analiz yapmışlardır. Silindirik dalma taşlama işleminde çatlak titreşimi ve taşlama yanmasını tanımak için akustik emisyon sinyallerini kullanmanın bir yöntemi geliştirilmiştir. Oynak titreşim ve taşlama yanığı gibi taşlama sorunları meydana geldiğinde, RMS 'in ve FFT 'nin tepe noktası, standart sapma ve hasar eşiğinin dışındaki sayım için akustik emisyon parametrelerinin değerleri doğrusal olmayan şekilde arttığı saptanmıştır. İlerleme hızları ne kadar çok uygulanırsa akustik emisyon parametrelerinin seviyeleri o kadar yüksek olduğu belirtilmiştir.

1.5. Tezin Amacı

Literatürde genellikle taşlama sonrası iş parçası yüzey kalitesinin durumunu belirlemede STFT kullanımına rastlanmakla beraber [32,33], taşlama sırasında farklı çalışma koşullarında elde edilen AE sinyallerinin STFT yardımıyla incelenmesine rastlanmamıştır. Bu çalışmada, farklı kesme hızı ve radyal besleme hızı şartlarında elde edilen AE faaliyetlerinin STFT kullanılarak incelenmesi ve STFT esaslı anlık enerji değişiminin kullanımı sunulmaktadır. Tezin amacı aşağıda özetlenmiştir:

- Titreşim ve akustik emisyon esaslı yöntemler kullanılarak yapılan taşlama çalışmaları hakkında literatür çalışmalarının özetlenmesi.
- Taşlama işlemi ve kullanılan tekniklerin detaylandırılması.
- Akustik emisyon yönteminin incelenmesi.
- Analiz yöntemi olarak kullanılan zaman ve frekans bölgesi incelemeleriyle beraber, kısa zamanlı Fourier dönüşümü (STFT) hakkında teorik bilgilerin verilmesi.
- Deneysel verilen incelenmesi ve spesifik sonuçların belirlenmesi.
- Bu alanda yapılacak sonraki çalışmalara esas teşkil edecek önerilerin detaylandırılması.

1.6. Tezin Organizasyonu

Bu çalışmada hedeflenen sonuçlara ulaşmak için kullanılan yaklaşımlar ve yapılan çalışmalar aşağıdaki gibidir:

Bölüm 1: Farklı taşlama koşullarında oluşan akustik emisyon faaliyetleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelenerek durum izleme ile titreşim analizi hakkında bilgiler verilmektedir.

Bölüm 2: Taşlama işlemi, işlem parametreleri ve yöntemleri hakkında esaslar ve detaylar açıklanmaktadır.

Bölüm 3: Akustik Emisyon tekniğinin tarihçesi ve izleme prensipleri ile beraber, AE sinyalinin özellikleri ve parametreleri hakkında bilgiler verilmektedir.

Bölüm 4: Farklı taşlama koşullarında oluşan akustik emisyon faaliyetlerinin incelenmesine kullanılacak teorik esaslar detaylandırılmaktadır.

Bölüm 5: Farklı taşlama koşullarında oluşan akustik emisyon faaliyetlerinin deneysel olarak incelenmesini içermektedir.

Bölüm 6: Bu tezde sunulan çalışmaya ait genel ve spesifik sonuçları içermektedir. Bunlara ek olarak, sonraki çalışmalara esas teşkil etmek amacıyla öneriler verilmektedir.

BÖLÜM 2

TAŞLAMA

Bu bölümde talaşlı imalatta temel bir şekillendirme yöntemi olan taşlama işleminin tanımı ve teknikleri ile temel prensipleri üzerinde durulmuştur. Taşlama ile ilgili terimler açıklanmıştır.

2.1. Taşlama İşlemi

Teknolojinin gelişmeye başladığı ilk dönemlerde talaş kaldırmayı etkileyen parametreler, takım aşınması, takım ömrü ve yüzey kalitesini etkileyen faktörler fazla önemsenmiyordu. Ancak seri imalatın önemli olduğu bugünlerde, talaşlı imalatta bu faktörler büyük önem kazanmaktadır.

İmalat sanayindeki temel üretim işlemlerinin şüphesiz en önemlisi talaş kaldırarak yapılan üretimdir. Üreticinin, küreselleşen dünyada ayakta kalabilmesi ve rekabet edebilmesi; minimum maliyet ve süre ile birlikte istenen boyutta ve yüzey kalitesinde parça üretmesine bağlıdır [41].

Taşlama işlemi, iş parçalarının istenilen şekil, ölçü ve ölçü toleranslarında elde edilmesinde önemli bir imalat yöntemidir. Bu yöntem iş parçalarının diğer talaşlı imalat yöntemleriyle (frezeleme, tornalama vb.) yeterli ölçü tamlığında ve yüzey kalitesinde üretilemediği durumlarda kullanılmaktadır. Özellikle; ölçü tamlığı, dairesellik, yüzey kalitesi ve görünümün önem kazandığı ürünlerde çoğunlukla taşlama işlemi zorunlu olmaktadır. Ölçme aletleri, kızaklar, dişli çarklar, miller, merdane ve yatak bilezikleri gibi birçok makina parçasının yüzey özelliklerinin iyi olması zorunludur. Bu yüzeylerin korozyona karşı dayanıklı olabilmesi için de taşlama işlemi gerekli şartlardan biridir. Taşlama bir aşındırma işlemidir. Bu yüzden diğer metal işleme şekillerinin çoğundan farklıdır. Bu işlemler metal kesme şeklindedir. Çünkü kesici takım iş parçasından keskin kenarlar yardımıyla parça kopararak çalışır. Taşlamada ise, aşındırıcı taneler yardımıyla iş parçası üzerinden parça koparılır. Bu taneler düzenli bir şekle sahip değildir.

Birbirine benzemeyen bu aşındırıcı taneler, iş parçasının içine işleyerek birbirine benzeyen parçalar koparırlar. Metal işleme takımları olarak aşındırıcılar diğer işlemlerde geniş uygulama alanlarına sahiptir.

Aşındırma esnasına bağlı takımların kullanıldığı tüm metal işleme yöntemleri “aşındırma metotları” olarak adlandırılır. Aşındırma ile iş parçasına şekil verme en eski metotlardan biridir. Genel aşındırma metotları ve taşlama, modern metal işleme şekillerinin en önemlilerinden biridir. Bu metotlar, imalatla bazı avantajlar sağlamaktadır. Metal işlemedeki bilinen bütün avantajlar kârlı değildir. Metodun üstünlüğü, fiyatta kârlılık ve işlem (operasyon) zamanı göz önüne alındığında yüksek niteliklerinden dolayı diğer operasyonların iş durumuna göre belli bir üstünlük sağlar [42].

Makina elemanlarının istenilen yüzey pürüzlülük değerinde üretilmesi için taşlama işlemi uygulanmaktadır. Taşlama işlemi ister konvansiyonel ister CNC (Computer Numerical Control) tezgâhlarla yapılsın, tezgâha giriş parametreleri doğrultusunda proses sonunda yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir. Ölçü tamlığı ve yüzey pürüzlülük değerinin uygun olmaması ıskarta oranlarını artırmaktadır. Bunu önlemek için gerçek zamanlı kesme kuvvetleri, titreşim, akustik emisyon vb. sensörlerle prosesin izlenmesi ve kesme parametreleri olan hız ilerleme değerlerinin amaç fonksiyonu doğrultusunda adaptif kontrolü amaçlanmaktadır [51].

2.2. Taşlamanın Tanımı

Taşlama, parça yüzeylerinden, aşındırıcı taneler yardımıyla talaş kaldırılması işlemidir. Metaller üzerinden talaş kaldıran, taşlama taşı içindeki kesici tanelerdir. Bu taneler, bir taraftan kesme işlemini yerine getirirken bir taraftan da körlenerek yerinden koparlar. Kesme işlemi, kopan tanelerin altından çıkan keskin köşeli yeni tanelerin devreye girmesiyle süreklilik kazanır. Taşlama işlemi sonucunda 0.01mm ile 0.002mm arasında ölçü hassasiyeti ve 0.200µm ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (R_a) elde etmek mümkündür.

Taşlama işleminin gerçekleşmesinde kesici taş, iş parçası ve iş kafası gibi ana bileşenler vardır. Taşlama taşı (kesici taş), sert aşındırıcı parçacıkların organik veya inorganik birleştirme elemanlarıyla fırınlanarak birleştirilmesiyle elde edilir. Kesici taşların, taşlama tezgâhında yüksek devirlerde döndürülürken, yavaşça iş parçası yüzeyine teması sağlanır. Bu nokta, sıfır noktası olarak kabul edilir.

Kullanılan taşın özellikleri ve iş parçası malzemesinin özellikleri göz önünde bulundurularak düşük derinliklerde (maksimum 0.25mm ideal) talaş verilerek hassas ölçüye göre yüzey iyileştirme yapılır.

Hassas makina parçalarının üretimi, öncelikle çeşitli takım tezgâhlarında işlenerek belirli bir ölçüye getirilir; sonra tamamlama işlemi olarak, taşlama işlemi yapılarak gerçekleştirilir.

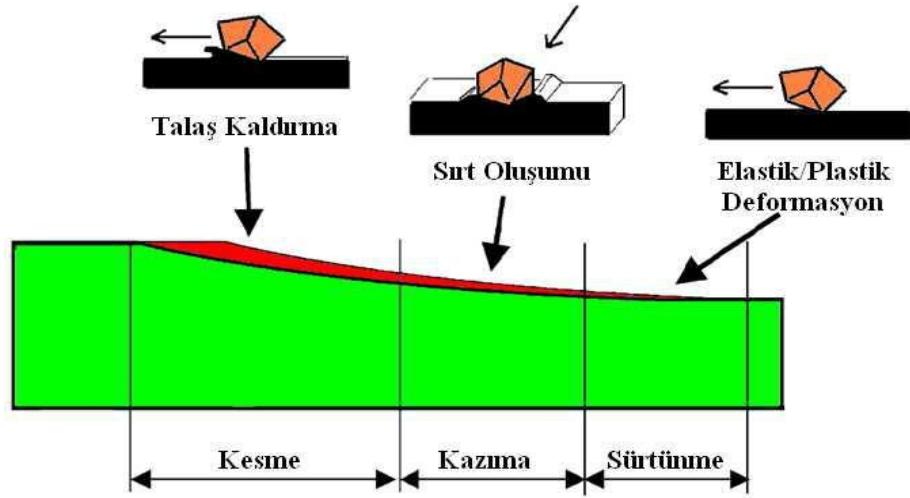
Taşlamanın, endüstriyel üretimde sağladığı üstünlükler şunlardır [43]:

- Yüzey pürüzlülüğünün azalması,
- Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi,
- Sertleştirilmiş parçaların işlenebilmesi,
- Beraber çalışan parçaların alıştırılması kolaylığı,
- Diğer takım tezgâhlarında işlenemeyen parçaların işlenebilmesi,
- Üretimde serilik,
- Alet ve takım bileme vb.

2.3. Taşlama İşleminde Talaş Kaldırma

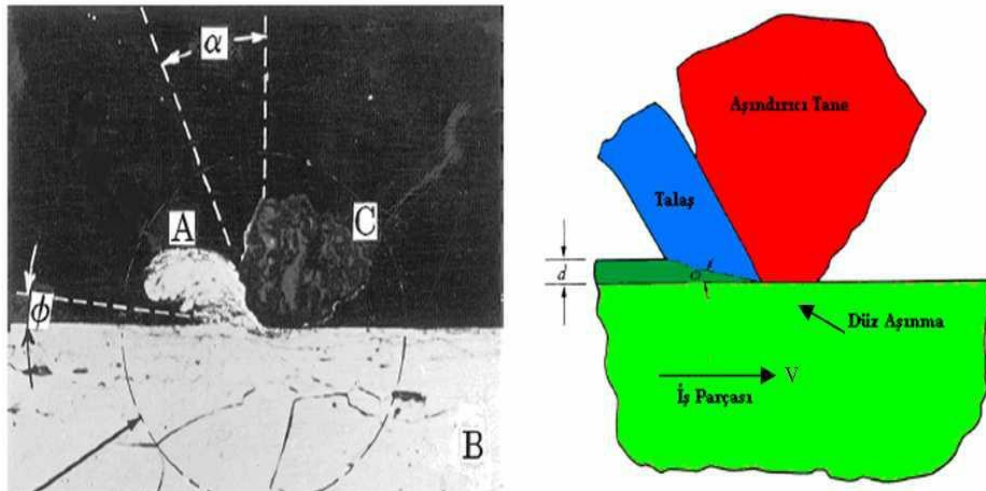
Metallerin taşlanması, taşlama şartları altında iş parçası ve aşındırıcı taneler arasında etkileşime bağlı olarak sürtme (rubbing), kazıma (plowing) ve kesme (cutting) safhalarını içeren kompleks talaş kaldırma operasyonudur. Taşlama, pek çok karakteristikle birbirini etkileyen parametrelili çok kompleks talaş kaldırma prosesidir. Burada zımpara taşının taneleri yüksek basınç altında ve yüksek hızda iş parçasıyla birbirini etkilemektedir. İş parçasının aşındırıcı tarafından deformasyonunun sistematik gösterimi Şekil 2.1’de verilmiştir. Zıt yönlü taşlamada iş parçasıyla aşındırıcı tane birbirine geçmiş durumdayken, sistemde elastik deformasyon olduğundan iş parçası yüzeyinde kesme olmaksızın aşındırıcı tane kayar. Bu aşama, sürtme aşamasıdır. Deformasyon sürtme durumunda, görünüşte sürtme olmasına rağmen talaş kaldırma ihmal edilir. Sürtme, iyi yağlanmış yüzeyle kesme derinliği olmaksızın uzun periyottan sonra düz taş ve finiş taşlama işlemi ya da tipik olarak parlatma işlemidir. Bu şartlar altında, uygulanan normal kuvvetin ölçülebilmesi mümkündür. Sürtme aşamasında iş parçasına büyük nüfuz etmeye sebep olabilecek her bir taneye gelen kuvvet çok küçüktür [44,46,47].

Talaş kaldırma esnasında tane ve iş parçası arasındaki gerilme, iş parçasının elastik sınırını aştığında plastik deformasyon meydana gelir ve bu şekilde talaş kaldırma işlemine kazıma denilmektedir. Kazıma safhasında, kazıma çizgisi açıkça başlar ve kazımanın yanlarında sırt formunda kendisini gösterir [44,47,48].



Şekil 2.1. Taşlama işleminde sürtünme, kazıma ve kesme rejimleri.

Şekil 2.2’de taşlama ile talaş kaldırma mekanizmasının sistematik gösterimi verilmiştir. Burada talaş açısı (α), kayma açısı (ϕ), talaş derinliği (d) ve iş parçasının hızı (V) ile gösterilmektedir. Taşlama işleminde (1) kullanılan aşındırıcı tane taş çevresinde rastgele dağılmıştır ve düzensiz şekillidir, (2) aşındırıcı tanenin ortalama talaş açısı son derece negatiftir (altmış derece ya da daha düşük) ve (3) taşlama hızı çok yüksektir (genellikle 30m/s) [49].



Şekil 2.2. Taşlamada talaş oluşum mekanizması [49].

Sonuç olarak, zımpara taşlarını oluşturan aşındırıcı tanelerle yapılan talaş kaldırma işlemi, freze, torna, vargel, planya vb. gibi takım tezgâhlarında kullanılan kesici aletlerle yapılan talaş kaldırma işlemiyle aynı teoriye dayanarak talaş kaldırmaktadır [51].

2.4. Taşlama Çeşitleri

Taşlama işlemleri yapılış şekillerine göre çok değişik gruplara ayrılmaktadır. Örneğin, silindirik, dalma, biçim (profil, form), delik, alın, düz yüzey, puntasız taşlama, kesme ve takım bileme gibi. Bu işlemlerin uygulandığı iş parçasının biçimleri, genellikle ya silindirik ya da düzlem yüzey şeklindedir. Bu nedenle, taşlama çeşitlerini silindirik ve düzlem yüzey taşlama olarak üzere iki grup altında toplamak mümkündür.

2.4.1. Silindirik taşlama

Mil, pim, kovan, merdane gibi silindirik, konik, profil, küresel vb. makina parçalarının iç ve dış yüzeyleri silindirik taşlama yöntemi ile taşlanır. Silindirik taşlama yöntemi, iç ve dış yüzey taşlama olmak üzere iki gruba ayrılır.

2.4.1.1 Silindirik dış yüzey taşlama

Boyuna taşlama iki değişik şekilde yapılır. Birinci türde iş parçası, kendi eksenini etrafında dönerken, aynı zamanda boyuna ilerleme (doğrusal besleme) hareketi yapar. Taşlama taşı ise kendi eksenini etrafında dönerken, aynı zamanda boyuna ilerleme (radyal besleme) hareketi yapar. Küçük kapasiteli taşlama tezgâhları ile bazı özel amaçlı (piston ve supap taşlama tezgâhları gibi) tezgâhlar bu tür taşlama esasına göre çalışır.

Boyuna dalma ve biçim taşlama; Bu yöntemle, taşlama taşı iş parçasının içine doğru ilerleyerek kademeli, silindirik, konik ya da biçimli dış yüzeyler taşlanır. İş parçası ve taş eksenleri yatay ve birbirlerine paraleldir. Supap sapı ile iticilerin alın yüzeyleri bu tür taşlama ile taşlanır.

Dalma biçim (profil) taşlama; İstenen biçime göre şekillendirilmiş bir taşlama taşıyla değişik biçimli iş parçalarının dış yüzeyleri taşlanır. Vida taşlama da bu türden bir taşlamadır. Dalma taşlama ile vidalar kademeli parçalar ve silindirik parçalar taşlanır. Benzer biçimde punta, punta kovanı ve mandren gibi konik parçaları, puntasız konik taşlama yöntemi ile seri bir şekilde taşlamak mümkündür.

Puntasız taşlama; İş parçası bağlanmadan, bir sevk yatağı üzerinde, iki değişik çaplı taş arasından geçirilerek yapılan silindirik taşlama işlemidir. İş parçası dönme hareketini kesici taştan, boyuna ilerleme hareketini ise sevk taşından alır. Puntasız taşlama işlemi, genel olarak boyuna, dalma ve konik taşlama olmak üzere üç değişik şekilde yapılır. Boyuna taşlama ile mil, pim gibi düz silindirik parçalar boydan boya taşlanır. Düz supap iticileri ile piston ve piston pimlerini bu yolla taşlamak mümkündür [50].

2.4.1.2. Silindirik iç yüzey taşlama

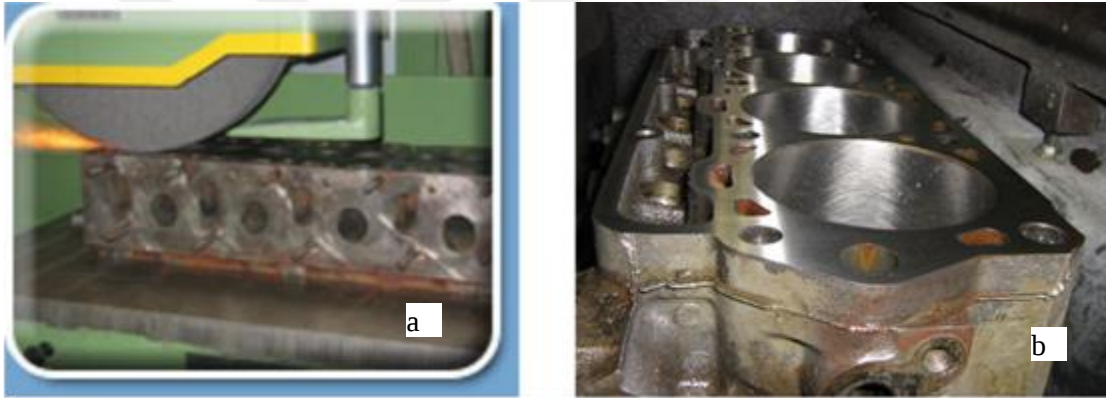
Parçaların iç yüzeylerinin taşlanması işlemidir ve taşlama işlemi sırasında kesici taş ve iş parçası kendi eksenleri etrafında farklı hızlarda dönerler. Taş geometrileri silindirik, konik vb. şekillerde taşlanacak delik geometrisine uygun olarak temin edilebilir. Bu yöntemle düz, konik ve biçimli deliklerin iç yüzeyleri ve alın kısımları taşlanır. Resim 2.1’de farklı silindirik taşlama örnekleri gösterilmektedir [51].



Resim 2.1. a) Dudak taşlama b) N serisi taşlama c) Profil taşlama [51].

2.4.2. Düzlem yüzey taşlama

Düz (düzlem) yüzey taşlama yöntemi ile yatay ve dik alın yüzeyler taşlanır. Bu tür taşlama, dönen bir taşlama taşının altından, tablaya bağlanmış bir iş parçasının geçirilmesiyle gerçekleşir. Taşlama işlemleri yatay ve düşey taşlama olmak üzere iki değişik şekilde yapılır. Yatay ve düşeylik, taş milinin konumunu belirtir. Resim 2.2 (a) ve (b)'de farklı düzlem yüzey taşlama işlemleri gösterilmektedir [50]. Bu yöntemde taş dönerken parça manyetik tabla ya da nadiren de olsa vakumlu tabla yardımıyla sabitlenir. Parça yüzeyinin tablaya göre en yüksek yani taşa en yakın noktasından taş dokundurulduktan sonra tüm yüzey taşlanana kadar taşlama işlemine devam edilir. Daha sonra parça ölçülerek esas ölçü alınır ve bu ölçüye göre talaş verilerek taşlama işlemine istenen ölçüye gelene kadar gerekli paso aralıklarıyla devam edilir [51].



Resim 2.2. Motor bloklarının taşlanması [50].

2.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırarak şekillendirme sırasında; seçilen yonteme, kesici cinsine ve işleme şartlarında bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısı faktörlerin ve kesici iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmediği halde işleme izleri oluşmaktadır. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denmektedir [51].

Yüzey kalitesinin değerlendirilmesi ve matematiksel büyüklüklere (parametrelere) çevrilmesi için pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi gerekir. Pürüzlülük ölçümlerinin değerlendirmek amacıyla ölçülen profilde pürüzlülük, form ve dalgalılık sapmaları birbirinden ayrılır.

Günümüzde bu ölçümleri yeterli doğrulukla, hassasiyetle ve kısa sürede gerçekleştiren cihazlar; temaslı ölçüm yapan indüktif problu yüzey pürüzlülük cihazlarıdır. Pürüzlülük ölçümünün doğru ve hassas yapılması ile aynı zamanda hangi pürüzlülük parametrelerinin kullanılacağına doğru tespiti ve bunların doğru değerlendirilmesi büyük önem taşır [52]. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler aşağıda özetlenmiştir [55].

- Takım tezgâhlarının yeterince rijit olmaması,
- İşlenen malzemelerde bağlamadan dolayı oluşan deformasyon,
- Talaş akışının sebep olduğu bozukluk,
- İlerleme mekanizmasındaki düzensizlikler,
- İlerleme hızında meydana gelen düzensizlikler,
- İşlenen malzemedeki yapı bozuklukları,
- Kolay şekillendirilebilir malzemeler düşük kesme hızlarında işlendiği zaman,
- İşlenen malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,
- Tezgâhın kinematik mekanizması,
- Takım ucu ve takım ucunun rijit olmamasından kaynaklanan imalat hataları,
- Kesici tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
- İşlenen malzemeden talaş kaldırma şekli,
- Çevresel etkiler ile oluşan hatalar olarak sayılabilir.

2.6. Taşlamaya Etki Eden Faktörler

Taşılama işlemindeki temel amaç; iş parçasının istenen yüzey kalitesi ve ölçü tamlığında üretilmesini sağlamak ve sertliği 50HRC'den yüksek olan malzemeleri işlemektir. Taşılamının, son işlem safhası olması veya daha sonraki işlemlere iyi bir geçiş sağlaması bakımından taşılama parametrelerinin iyi seçilip doğru belirlenmesi gerekmektedir. Taşılama işleminde sürtme ve deformasyonun etkisiyle iş parçası yüzeyinde kalıcı gerilmeler meydana gelmekte ve metalürjik hasarlar oluşmaktadır.

Taşılamada taşılama taşının uygunluğu büyük önem taşır. Bu nedenle, taş seçimine gerekli özen gösterilmelidir. Taşılamaya etkileyen taşılama taşının özellikleri, kesici tanelerin cinsi, sertliği ve dokusudur. Taş seçiminde, aşağıda belirtilen hususların göz önünde bulundurulması gerekir.

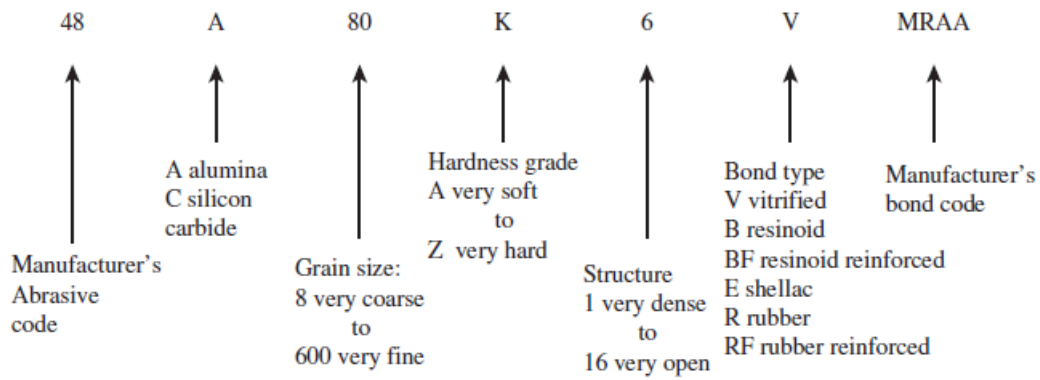
Kesme sırasında körlenen taneler yerlerinden koparak ayrılır. Taneleri kolayca kopan taşlar yumuşak, zor kopanlar ise sert taşlardır. Taş seçiminde, taşın sertliği, gerecin cinsine ve biçimine göre belirlenir. Genellikle sert gereçler için yumuşak; biçimli yüzeyler için, aynı gereçten yapılmış profilsiz parçalara kıyasla yumuşak taşlar seçilir.

Pirinç, alüminyum ve bakır alaşımları gibi yağ tutma özelliği olan ve benzeri yumuşak gereçlerin taşlanması için iri taneli ve seyrek dokulu taşlar kullanılır.

Taşlamada, kaba yüzey kalitesi için kaba, ince yüzey kalitesi için de sık dokulu taşlar kullanılmalı ve körlenmiş taşlarla işlem yapılmamalıdır. Bu tür taşlarla istenen ölçü tamlığı ve yüzey kalitesi sağlanamaz. Kaba taneli taşların iş yüzeyine basıncı, ince taneli taşta göre daha fazladır. Bu yüzden kesme alanında ısı artar; taşın dokuları çabuk dolar; körlenen tanelerin dökülmeleri ve kesme zorlaşır. Körlenen taşların yüzeyinde parlaklık ve kayganlık görülür [50].

2.6.1. Zımpara taşlarının yapısı

Zımpara taşlarının kullanımında dikkat edilmesi gereken beş temel husus vardır. Bunlar (1) taşın cinsi, (2) tane büyüklüğü, (3) birleştirme aracı, (4) taşın sertliği ve (5) taşın dokusu. Zımpara taşı üreten üretici firmalar bu beş hususu belirten standart bir işaretleme sistemi üzerinde anlaşmışlardır. Aşağıdaki şekilde tipik bir zımpara taşının kodunun anlamları açıklanmaktadır.



Şekil 2.3. Taş ölçü ve spesifikasyonları [56].

2.6.2. Kesme hızı

Taşılama işlemini yapacak olan bir zımpara taşının, kesme yüzeyi üzerindeki bir noktanın bir saniyede metre cinsinden almış olduğu yola çevresel hız veya o zımpara taşının kesme hızı denilmektedir. Kesme (çevre) hızı, taşılama taşının kesme gücünü etkiler. Bu hız, taşın çapı ve devir sayısına bağlı olarak büyür ya da küçülür. Zamanla aşınan taşın çapı küçüldüğünden taşın kesme hızı azalmaya başlar.

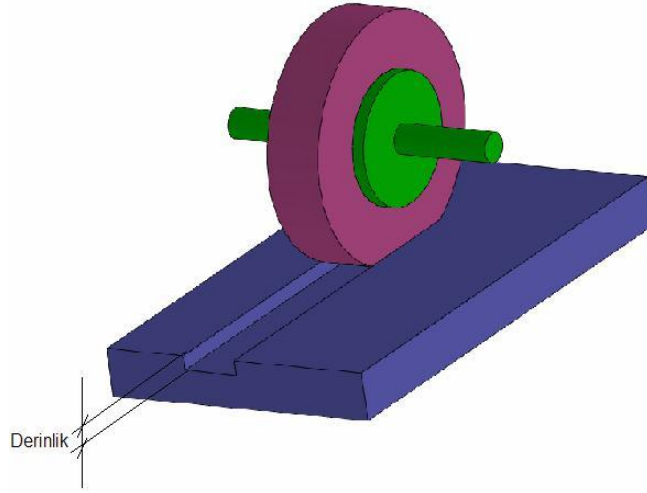
Küçülen taş çapına karşılık kesme hızına sabit tutmak için, ya daha büyük çaplı taş kullanılır ya da taşın devir sayısı artırılır. Küçülen taş çapına karşılık kesme hızına sabit tutmak için taşa verilecek devir sayılarını belirlemede bazı tezgâhlar üzerine konulmuş olan diyagramlardan da yararlanır. Bir taşın sertlik etkisi (dinamik sertliği) kesme hızı yükseldikçe artar, düştükçe azalır ve yumuşar. Düşük çevre hızlarında taşın aşınması artar, yüzey kalitesi bozulur. İyi bir yüzey kalitesi, küçük ilerleme ve talaş derinliği, yüksek kesme hızı ve uygun taşılama taşı ile sağlanır.

2.6.3. İş parçasının hızı

Normal bir kesme için taşılama taşının hızı ile iş parçasının hızı arasında uygun bir oran bulunmalıdır. Bu oran, taş yüzeyinde kesici tanelerin kırılmasını ya da yerlerinden kopmasını sağlayan kuvvetleri belirler. Genellikle iş parçasının hızı ayarlanarak bu oran korunur ve taşa kendiliğinden bir bilenme etkisi elde edilir. İş parçasının hızı, taş hızına göre dengesiz bir şekilde artırıldığında taşın dinamik sertliği azalacağından (yumuşak etki yapacağından), taş daha çabuk aşınır.

2.6.4. Talaş derinliği

Talaş derinliği (Resim 2.3) kesiciye bir defada verilen iş dalma miktarıdır. Taş ve iş parçasının hızı doğru seçilmiş, taşın tane büyüklüğü ve sertliği de uygun ise, verilecek talaş derinliği, tezgâhın gücüne, iş parçası malzemesi ve biçimine göre değişir. Talaş derinliği, yumuşak ve düz yüzeylere kıyasla sert ve biçimli yüzeyler için daha az seçilmelidir. Sabit hızla yüzey taşlamada, özellikle dengeli talaş kalınlıklarında talaş derinliği ile özgül talaş kaldırma hızı orantılıdır. Bu nedenle talaş derinliği fazla olan işlemlerde daha büyük kuvvetler ve daha büyük ısı ortaya çıkmaktır [50].



Resim 2.3. Taşlama işleminde verilen talaş derinliği [50].

2.6.5. Temas yüzeyi

Taşlama taşının metaller üzerinden talaş kaldırarak almış olduğu yol, taş ve iş parçasının temas yüzeyini oluşturur. Temas yüzeyinin büyüklüğü, iş parçası ve taş çapına bağlı olarak değişir. İş parçasının çapı büyüdükçe temas yüzeyi artacağından, yüzeyden daha geniş bir talaş kaldırılır. Belirli bir zaman içinde, aynı miktar metal daha uzun parçalarla kaldırıldığında daha ince olur. İnce ve uzun bir talaş, kısa ve kalın bir talaşa göre daha az bir kesme basıncı ister.

Bu nedenle, daha büyük çaplı parçalar uzun talaş kaldırılarak taşlanırsa, taşlama taşı daha sertleştirilmiş gibi etki eder ve daha geç aşınır. Temas yüzeyinin değişmesi taşın sertliğini de etkiler. Sözelimi, çanak ya da silindirik taşlarla yapılan düz yüzey taşlamada, silindirik ya da düz taş ile yapılan düzlem taşlamaya göre daha büyük temas yüzeyi oluşur. Temas yüzeyi büyüdükçe daha yumuşak taş kullanılmalı, ısıyı azaltmak için talaş boşluğu artırılmalıdır. Talaş boşluğu, kaba taneli, büyük gözenekli ya da her ikisini içeren taşlar kullanılarak artırılır.

2.6.6. Kesme sıvısı

Taşlama işlemleri ya kuru ya da ıslak yapılır. Kuru taşlamada, kesme alanında oluşan ısı, hava, taş ve iş parçası aracılığı ile dağılır. Bu tür taşlama, genellikle fazla ısı oluşturmeyen bileme ve taşlama işlemleri için uygundur.

Islak taşlamada ise, oluşan yüksek ısının etkisini azaltmak için uygun bir soğutma sıvısı kullanılır.

Günümüzdeki yüksek devirli taşlama tezgâhlarının hemen hepsinde de soğutma sıvısı kullanılmaktadır. Soğutma yapılmadığında ya da yetersiz olduğunda, taş üzerinden kopan parçalar, fazla ısı karşısında pişerler ve macun oluşturarak gözenekleri tıkarlar. Bunun sonucu, taşın kesme özelliği azalır; iş yüzeyi pürüzlü çıkar; ayrıca, fazla sıcaklık iş parçasında çarpımalara, ısıl hasarlara ve boyut hatalarınada neden olur [50].



BÖLÜM 3

AKUSTİK EMİSYON

Bu bölümde, AE tekniğinin tarihçesine kısaca değinilmiş, AE sinyalinin izleme prensipleri ve özellikleri ile beraber temel koşulları ve parametreleri hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Akustik Emisyon Tekniği

Akustik Emisyon (AE), gerilme altındaki malzemenin içindeki ses yayılım hızı ile üretilen geçici bir elastik dalgayı ifade etmektedir. AE kaynakları, çatlak başlangıcı ve büyümesi, mikro-yapısal ayırma ve malzeme fazları arasındaki hareketli materyaller içindeki kırılma veya deformasyon olaylarının mekanizmalarıdır. AE enerjisi genellikle yeni oluşmakta olan çatlak yüzeylerinden salınan gerinim enerjisi ile orantılıdır. AE dalgaları, malzemenin ses yayım hızına göre yayılır ve uygun şekilde düzenlenmiş bir AE sensör dizisi ile algılanabilir ve konumu belirlenebilir [57].

AE tekniği, sinyallerin tespiti ve analizi ile bir malzemedeki süreksizliğin kaynağı ve önemi hakkında değerli bilgiler sağlayabilir. AE testinin çok yönlülüğü nedeniyle birçok endüstriyel uygulamaya sahiptir ve yaygın bir araştırma aracı olarak kullanılır. AE tekniği, diğer birçok tahribatsız muayene tekniğinden farklıdır. İlk fark sinyalin kökeni ile ilgilidir. İncelenen nesneye enerji sağlamak yerine, AE tekniği sadece nesnenin serbest bıraktığı enerjiyi dinlemektedir. AE testleri, genellikle kusurları yaymak ve AE'leri tetiklemek için yeterli yükleme sağladığı için, operasyon sırasında yapılar üzerinde gerçekleştirilir. İkinci fark, AE tekniğinin bir malzemedeki dinamik süreçlerle veya değişikliklerle uğraşmasıdır. Bu özellikle anlamlıdır, çünkü sadece aktif özellikler (çatlak büyümesi vb.) vurgulanmıştır. Tahribatsız test yöntemlerinde, gelişen ve durgun kusurları ayırt etme yeteneği önemlidir. Bununla birlikte, yükleme akustik bir olaya neden olacak kadar yüksek değilse, kusurların tamamen tespit edilmemesi mümkündür. Ayrıca, AE testi genellikle bir bileşenin gücü veya arıza riski ile ilgili hızlı bir gösterge sağlar [58].

3.2. Akustik Emisyon Tekniğinin Tarihçesi

AE'nin kökeninin kesin bilinmesi zordur. M.Ö. 6500 gibi erken bir tarihte çömlekçilerin seramiklerinin soğutulması sırasında duyulabilir sesleri dinledikleri ve bu seslerin yapısal başarısızlığa işaret ettiği biliniyordu. AE'nin ilk belgelenmiş gözlemleri, 8. Yüzyılda Arap simyacı Jabir İbn Hayyan tarafından yapılmıştır.

19.yüzyılın sonlarındaki birçok metinde, kalay, demir, kadmiyum ve çinko gibi malzemelerin ürettiği duyulabilir emisyonlara atıfta bulunulmuştur. Albert Portevin ve Francois Le Chatelier, sıkıştırılmış bir Al-Cu-Mn (Alüminyum-Bakır-Manganez) alaşımındaki AE'ları gözlemlemiştir.

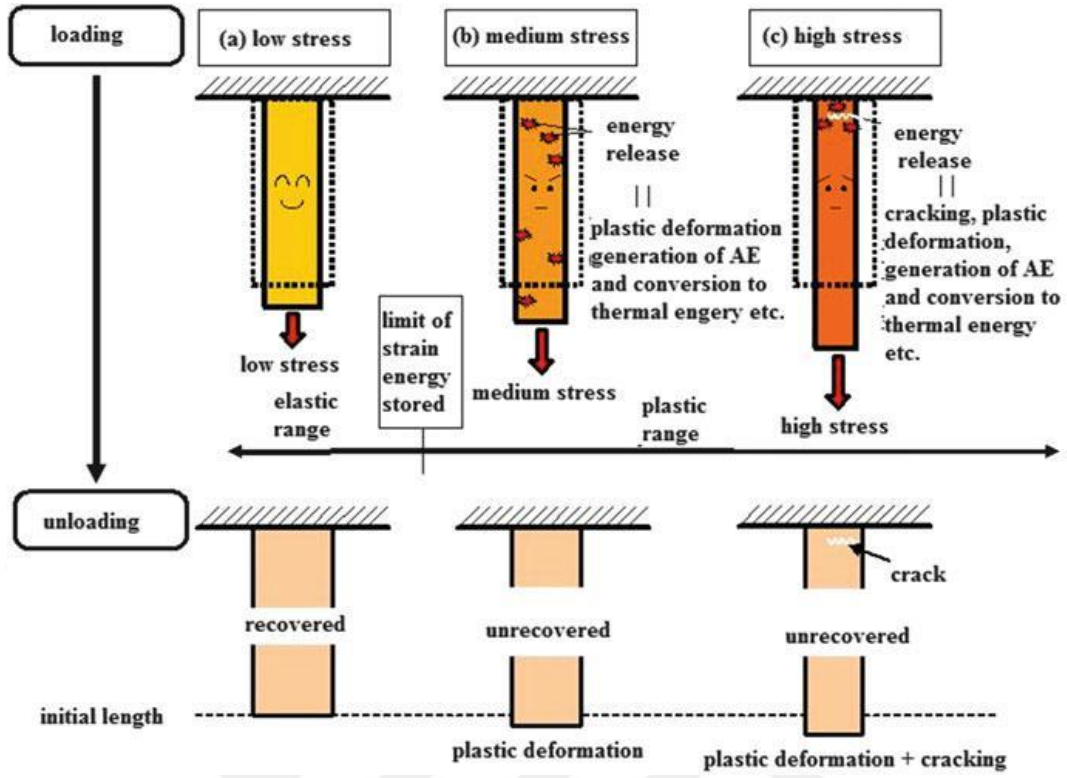
Çalışmalar 1900'lü yılların ortalarında da devam etmiş ve Joseph Kaiser tarafından “Çekme Gerilmesi Altındaki Metalik Malzemelerdeki Ses Ölçümlerinden Sonuçlar, başlıklı doktora tezi tamamlanmıştır. Kaiser' in bu araştırması, günümüz AE testlerinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir [61].

3.3. Akustik Emisyon İzlemenin Prensipleri

Katı bir malzemeye harici bir kuvvet uygulandığında, malzeme deforme olur. Küçük bir dış kuvvet nedeniyle düşük gerilme durumunda, deforme olan malzeme, boşaltma üzerine elastik olarak orijinal şekline geri dönmektedir (Şekil 3.1.a). Bu deformasyona elastik deformasyon denir. Elastik aralıkta, dış kuvvet malzeme içinde gerinim enerjisi olarak enerji birikmesine yol açmaktadır.

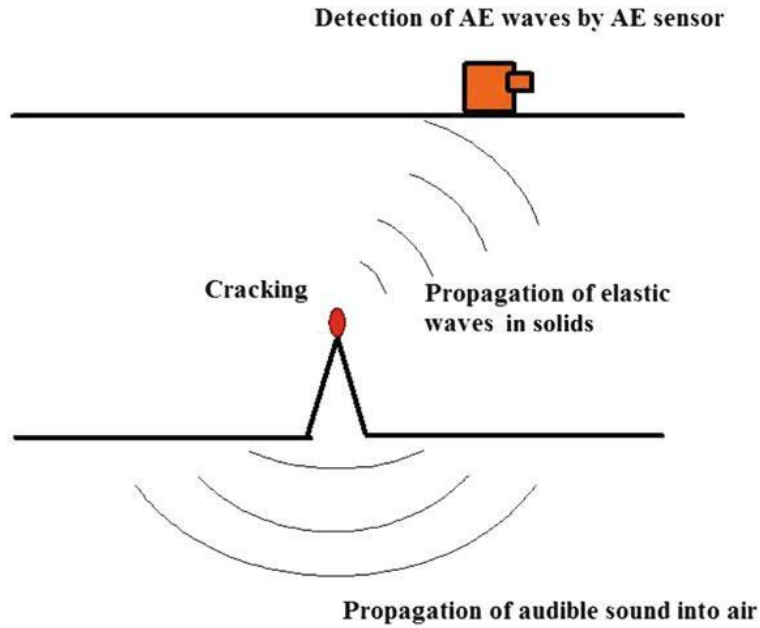
Katı malzemede enerji birikimi için bir sınır vardır. Dış kuvvet nedeniyle malzemede depolanan gerinim enerjisi sınıra ulaşırsa serbest kalır ve plastik deformasyona neden olmaktadır. Yani dış kuvvet boşaltılsa bile, malzeme orijinal şeklini geri kazanamaz (Şekil 3.1.b). Daha büyük bir dış kuvvet uygulandığında, malzemede genellikle çatlama meydana gelir. Bu durumda, malzemenin içinde biriken gerinim enerjisi, çatlakların oluşumu ve büyümesi ile tüketilir (Şekil 3.1.c).

Ses, havada enerji salınımı olgusudur. Prensip olarak, malzemenin içinde çatlama nedeniyle elastik dalgalar üretilir ve malzeme boyunca yayılır. Bu olay depremlere benzerdir. Başka bir deyişle AE, katı bir malzemede “mikro deprem” olarak ifade edilebilir. AE dalgaları genellikle malzemenin yüzeyinde, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi bir sensör ile tespit edilir.



Şekil 3.1. Gerinim enerjisi yayılmasından dolayı akustik emisyon oluşumu [60].

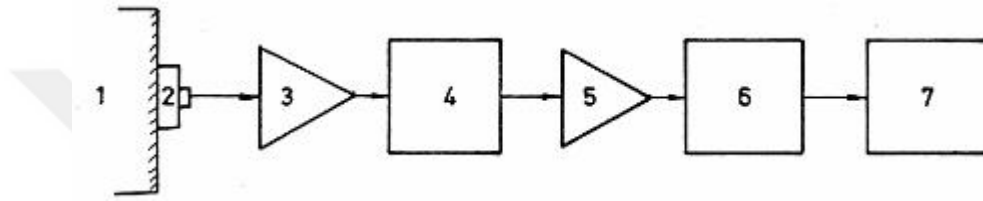
Çatlama ile üretilen elastik dalgalar malzemenin içinden yayılır ve yüzeye yerleştirilen bir AE sensörü tarafından tespit edilir. Bu durumda, yüzey titreşimlerinin bazı kısımları sonik dalgalar olarak havaya salınır ve muhtemelen bir kırılma sesi olarak duyulabilir [60].



Şekil 3.2. Akustik emisyon dalgalarının oluşumu ve tespiti [60].

3.4. Akustik Emisyon İzleme Sistemi

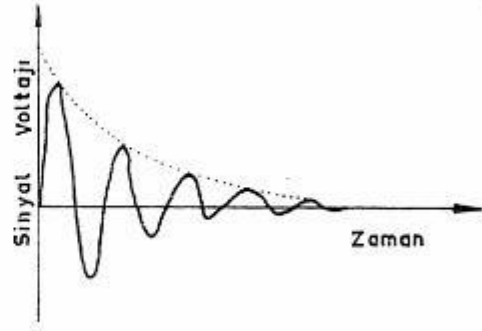
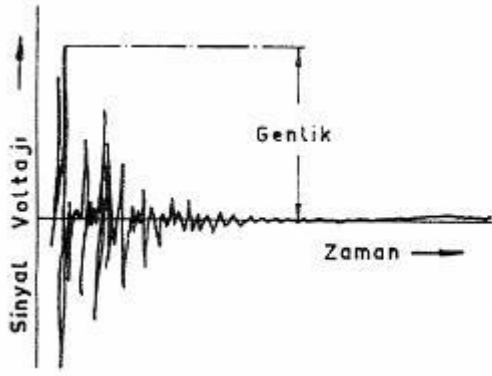
Bir AE izleme sisteminin amacı, AE kaynaklarından gelen tüm sinyalleri algılamak, bunların sayı ve dağılımlarını gerilim, basınç, sıcaklık gibi bir ya da daha fazla deney değişkeni ile ilişkili olacak şekilde kaydetmek ve söz konusu kaynakların sınıflandırılmasını ve konumlarının belirlenmesini sağlamaktır. Şekil 3.3’de gösterildiği gibi her AE izleme sisteminde, sinyalin ulaştığı ilk nokta algılayıcılardır. Bunu sırası ile ön yükselteç, süzgeç, güç yükseltici, sayıcılar, sinyal değiştirme ve işleme katı ile veri kayıt ve gösterim araçları izlemektedir.



Şekil 3.3. Bir AE izleme sisteminin blok şeması (1-Malzeme, 2-Algılayıcı, 3-Ön Yükselteç, 4-Süzgeç, 5-Güç Yükseltici, 6- Sayıcılar, Sinyal İşleme Katı, 7-Veri Kayıt ve Gösterim Aygıtları) [59].

Algılayıcılar, AE sinyallerinin malzeme yüzeyinde oluşturdukları titreşimleri elektriksel işaretlere çevirirler. AE uygulamalarının birçoğunda, hassasiyet seviyesi yüksek ve mekanik gürültüye karşı daha az duyarlı olan piezoelektrik algılayıcılar kullanılır. Algılayıcıda üretilen sinyal önce elektromagnetik girişimleri minimize edecek şekilde algılayıcının yakınında bulunan bir ön yükselteç vasıtasıyla yükseltilir. Bu ön yükselteç genellikle sistemin elektriksel gürültü seviyesini belirler ve tipik olarak 40dB’lik bir kazanç (100 kat büyütme) sağlar.

Ön yükselteç ile gerekli voltaj düzeyine yükseltilecek ve örneğin 100kHz’in altındaki gürültülerin süzülmesi için bir süzgeçten geçirilen bir AE sinyali Şekil 3.4’deki gibidir. Bu sinyal Şekil 3.5’deki gibi bir basit sönümlü sinüzoidal titreşim olarak gösterilebilir. Sinyal, son olarak Şekil 3.3’deki blok şemasında gösterilen güç yükselticinde istenilen düzeye getirilir ve sayıcılara verilir. Bu aşamada, yapılmak istenen değerlendirmenin niteliğine göre, daha karmaşık sinyal değiştirme ve işleme katları da kullanılabilir. Sistemdeki son birimler; veri kayıt ve gösterim araçları Osiloskoplar, genellikle sinyal biçimini izlemekte kullanılırlar [59].



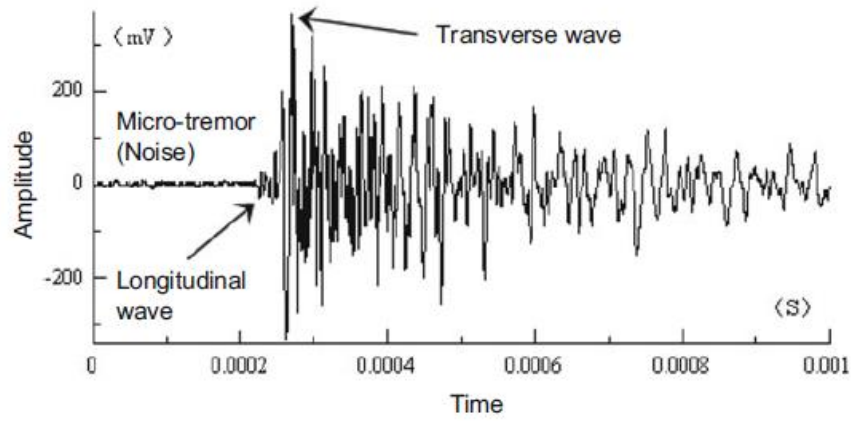
Şekil 3.4. Algılayıcıda elektronik sinyale dönüşmüş bir AE sinyali [59].

3.5. Akustik Emisyon Sinyalinin Özellikleri

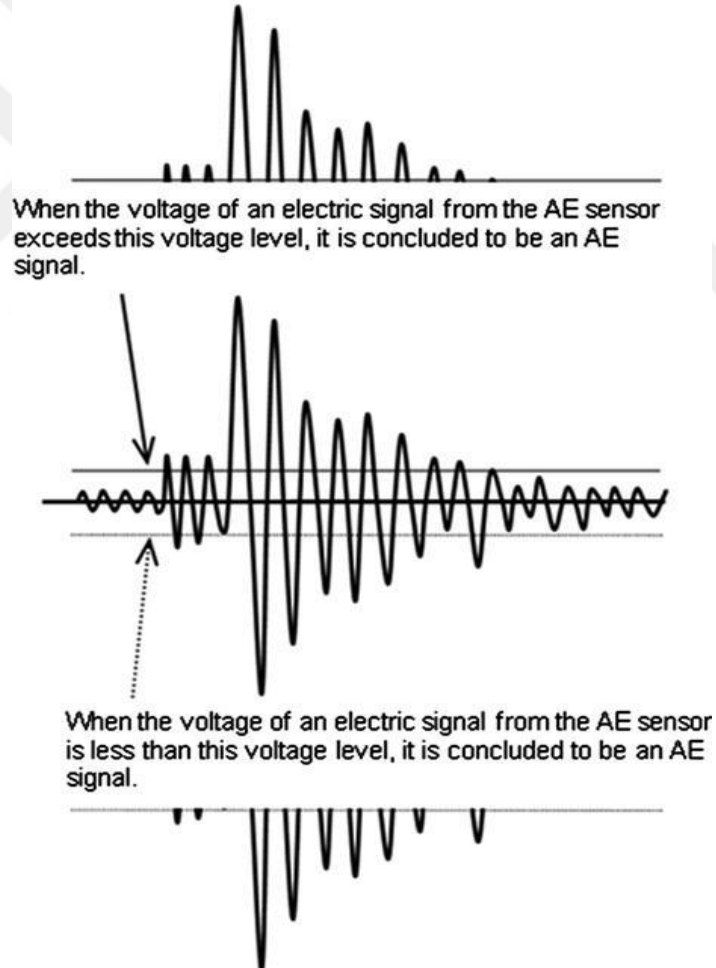
Bir AE olayında üretilen bir dalga, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi boyuna, enine veya yüzey dalgaları gibi çeşitli dalga bileşenlerinin bir bloğunu içermektedir. Farklı dalga bileşenlerinin yayılma hızlarındaki farktan dolayı, bu bileşenler art arda AE kaynağından uzağa yerleştirilen AE sensörüne bir zaman gecikmesi ile ulaşmaktadır. Ayrıca, dalga yoğunluğundaki azalmanın bu dalgaların yok olması ile kademeli olarak azalması arasında bir gecikme bulunmaktadır.

Gerçek AE sinyalleri, düzenli bir zaman periyodu ve genliğe sahip kararlı sinyallerin aksine, belirli bir andan sonra sinyal değerlerindeki değişikliklerin tahmin edilemediği rastgele sinyallerdir.

Şekil 3.7'de gösterildiği gibi, bir voltaj eşiği AE ölçümleri sırasında arka plan gürültüsünün voltaj seviyesinden biraz daha yükseğe ayarlandığında ve AE sinyalinin genliği bu eşiği aştığında, elektrik sinyali bir AE sinyali olarak tanınmaktadır. Bununla birlikte, bu basit işlemlerle ayırt edilen AE sinyalleri bir nabız dizisi oluşturur ve bu da AE hakkında kritik bilgi kaybına yol açmaktadır. Özellikle, AE sinyalinden bir zarf tespit edilirken bir AE sinyalinin büyüklüğü ölçülür. AE sinyalinin başlaması, algılama sinyalinin voltaj seviyesinin ilk olarak ayarlanan voltaj eşiğini aştığı nokta olarak belirlenmektedir [61].



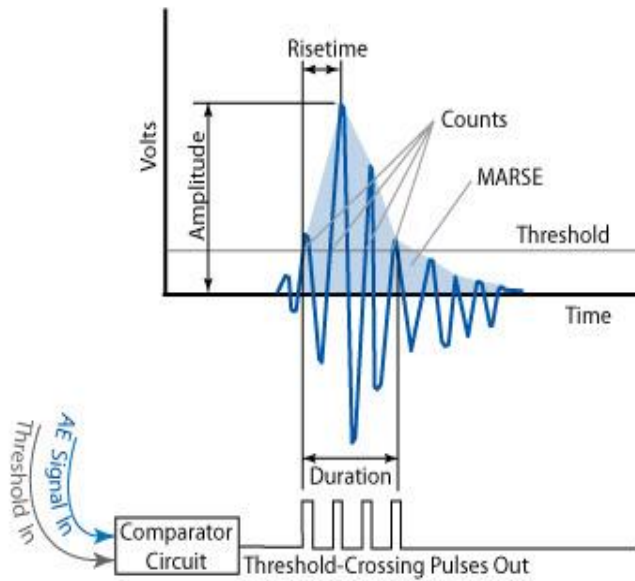
Şekil 3.6. Bir akustik emisyon sinyal örneği [61].



Şekil 3.7. Bir gerilim eşiği ile sinyal ayırımı [61].

3.6. Akustik Emisyon Sinyalinin Temel Koşulları ve Parametreleri

AE olayı, elastik enerjiyi serbest bırakan tek bir dinamik işlemdir. Yerel süreç üreten AE olayı, AE kaynağı olarak adlandırılır. Dönüştürücünün çıkışında tespit edilen elektrik sinyali AE sinyali olarak adlandırılmaktadır. AE ölçümleri genellikle sürekli arka plan gürültüsü varlığında gerçekleştirilir. Bu nedenle, sinyal gürültüsünü filtrelemek için bir eşik seviyesi ayarlanmaktadır. Tipik bir AE sinyalinin karakteristikleri ve özellikleri Şekil 3.8’de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. AE ölçüm parametreleri [58].

AE sistemlerinin en önemli görevlerinden birisi arka alan gürültüsünü ayıklayarak AE dalgalanmalarını data setlerine dönüştürmektir. Bu amaçla, modern AE sistemlerinde kullanıcı tarafından doğru değer set edilerek, tespit eşik seviyeleri (thresholds) kullanılır. Eğer AE sinyali pozitif veya negatif yönde eşik değerini aşarsa bu, tespit edilen bir vuruşun (AE sinyalinin) başlangıcı demektir. Eşik değerini aşan arka plan gürültülerinin AE sinyallerinden ayırt edilmesi çok önemlidir.

AE tekniğinde, Şekil 3.8’de gösterildiği gibi beş temel sinyal ölçme parametresi kullanılmaktadır. Bunlar, sayı (count), genlik (amplitude), süre (duration), yükselme zamanı (rise time) ve düzeltilmiş sinyal zarfı altındaki ölçülen alan (measured area under the rectified signal envelope, Marse) olarak adlandırılır.

Genlik (A), bir dalga formunda ölçülen maksimum voltaj değeridir ve desibel (dB) olarak ölçülür. Bu, akustik emisyon incelemesinde önemli bir parametredir çünkü sinyalin algılanabilirliğini belirler. AE genlikleri, kaynaktaki olayın büyüklüğü ile doğrudan ilişkili olup, μV 'lardan Voltlar seviyesine kadar geniş bir alanı temsil etmektedir.

Sayı (N), sinyal genliği eşik değerden büyükse, ölçüm devresi tarafından yayılan darbelerin sayısını ifade eder. AE etkinliğinin büyüklüğüne ve malzemenin özelliklerine bağlı olarak, bir vuruş bir veya daha fazla sayı üretebilir. Bu toplanması nispeten basit bir parametre olmakla birlikte, bir sinyalin şekli hakkında kaliteli bilgi sağlamak için genellikle genlik ve/veya süre ölçümleriyle birleştirilmesi gerekmektedir.

Marse (E), dönüştürücü yardımıyla düzeltilmiş doğrusal voltaj zaman sinyalinin zarfının altındaki alanın ölçüsüdür. Bu bağlı sinyal genliği olarak düşünülebilir. Marse, genlik ve devam süresine duyarlı olup eşik seviyesine ve çalışma frekansına daha az bağımlıdır.

Devam Süresi (D), ilk ve son eşik geçişleri arasındaki zaman farkı olup, mikro saniye cinsinden ölçülmektedir. Süre, farklı kaynak türlerini tanımlamak ve gürültüyü filtrelemek için kullanılabilir.

Yükselme zamanı (R), ilk eşik geçişi ile sinyal tepe noktası arasındaki zaman aralığıdır. Bu parametre, dalganın akustik emisyon olayının kaynağı ile sensör arasındaki yayılması ile ilgilidir. Bu nedenle yükselme zamanı, sinyallerin nitelendirilmesi ve gürültü filtresi için bir kriter olarak kullanılır [58,59].

BÖLÜM 4

FARKLI TAŞLAMA KOŞULLARINDA OLUŞAN AKUSTİK EMİSYON FAALİYETLERİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde farklı taşlama koşullarında oluşan akustik emisyon faaliyetlerinin incelenmesinde kullanılacak teorik esaslar detaylandırılmaktadır.

4.1. Zaman Bölgesi Analizi

Zaman bölgesi incelemelerinde titreşimin tepe değeri, enerjisi, etki süresi, istatistiksel özellikleri, millerde dönü yörüngeleri (shaft orbit) ve modülasyonlar gibi özelliklerini tespit edilmesinde titreşimin zamana göre değişimi dikkate alınmaktadır. Bu parametrelerden, istatistiksel özelliklerin kullanımı hata tespit çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır [4].

4.1.1. Titreşim sinyalinin istatistiksel özellikleri

Her ne kadar durum izleme çalışmalarında yüksek genlikli bir titreşim önemli bir gösterge olmasına rağmen, titreşim seviyesinin zamana göre değişim miktarı daha büyük önem taşımaktadır. Bazı sistemler çalışmaları sırasında normal olarak yüksek seviyeli titreşimler sergileyebilirler. Böyle sistemlerde zamanla gelişen bir hata meydana geldiğinde, oluşan titreşim seviyesi zamanla artacaktır fakat titreşim seviyesinde meydana gelen bu artımlar küçük olabilir. Eğer hata belirtisinin gelişim hızı az ise titreşim biçimine bakarak hata belirtilerini net olarak tespit etmek zor olabilir.

Bir sistemin çalışmasını karakterize eden yer değiştirme, ivme, gerilme, basınç vs. gibi özellikleri zamana göre tahmin edilebiliyorsa, böyle sistemlere kararlı sistemler denir. Bununla beraber çoğu gerçek sistemlerin davranışlarını zamana göre tahmin etmek zordur. Rastgele veya kararsız olarak isimlendirilen bu tür sistemlerin davranışlarını zamana göre kesin olarak tahmin etmek zordur. Fakat bu davranışlar istatistiksel özelliklerin kullanılmasıyla tahmin edilebilir ve bu istatistiksel özellikler hatanın gelişimini belirtmede de etkin bir biçimde kullanılabilir [62,63].

Titreşim esaslı durum izleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan istatistiksel parametreler aşağıda verilmiştir.

Root mean square (*rms*) değeri titreşim sinyalinin güç içeriğini göstermek için kullanılan önemli bir göstergedir ve aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [64].

$$rms = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt} \quad (4.1)$$

Crest faktörü ve Kurtosis parametreleri titreşim sinyalinin lokal keskinliğini ifade etmek amacıyla kullanılırlar ve aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [62,63].

$$F_c = \frac{P_p}{rms} \quad (4.2)$$

$$Kr = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} [x(t) - \bar{x}]^4 dt}{rms^4} \quad (4.3)$$

Burada P_p sinyalin maksimum ve minimum noktaları arasındaki farkı ifade eden tepeden tepeye değeridir ve $\bar{x}$ ise sinyalin ortalama değerini ifade eder. Sinyalin P_p ve $\bar{x}$ parametrelerinin matematiksel ifadeleri aşağıda verilmektedir.

$$P_p = \max(x) - \min(x) \quad (4.4)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (4.5)$$

4.2. Frekans Bölgesi Analizi

Frekans bölgesi analizlerinde titreşimin genliği frekansa göre ifade edilmektedir ve bu amaç için Fourier dönüşümü kullanılır. Bir sistemin titreşim cevabı bu sistemi oluşturan parçalar, montaj ve çalışma hızı gibi faktörler tarafından belirlenir. Bu sebeplerden dolayı bir makinanın titreşim cevabı tamamen o makinaya özgüdür ve çalışma kuvvetleri sabit kalmak şartıyla ölçülen titreşim seviyesi de sabit kalır. Dolayısıyla oluşan titreşim spektrumu genellikle o makinanın imzası olarak isimlendirilir. Eğer sistem bir şekilde arızalanmaya başlarsa titreşim düzeyi ve sonuç olarak frekans spektrumu değişir. Hasarlı durumdaki sistemin frekans spektrumuyla aynı sistemin imzası kıyaslanarak hasarın veya kötüleşmenin varlığı tespit edilebilir.

Frekans bölgesi analizi hata tespiti için önemli bir temel teşkil etmesinin yanında, titreşim sinyalinde olabilecek modülasyonlar ve harmonik içeriğin belirlenmesi gibi önemli sinyal özelliklerinin anlaşılmasında çok önemli bir yer tutar. $x(t)$ zaman sinyalinin Fourier dönüşümü aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (4.6)$$

Burada f frekans değişkenidir. Bir zaman sinyalinin belirli bir zamanda ve birim frekans için spektral yoğunluğu $|X(f)|^2$ olarak ifade edilir. Frekans bölgesinde ifade edilen sinyalin toplam enerjisi, spektral yoğunluk fonksiyonunun bütün frekanslardaki toplamından ibarettir. Parseval teoremine göre zaman ve frekans bölgelerinde hesaplanan toplam sinyal enerjileri birbirlerine eşittirler [4]. Yani,

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df \quad (4.7)$$

4.3. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (STFT)

Kararlı sistemler, bir sistemin çalışmasını karakterize eden yer değiştirme, ivme, gerilme, basınç, vs. gibi özellikleri zamana göre tahmin edebilen sistemlerdir. Spektral analiz sinyalin frekans içeriğini göstermekle beraber, bu frekans bileşenlerinin hangi zamanlarda oluştuğuna dair hiçbir bilgi içermez. Kararlı sinyallerin frekans bileşenleri zamana göre değişim sergilemezler dolayısıyla bu tip sinyallerin frekans içeriklerinin incelenmesinde Fourier dönüşümü yanıltıcı sonuçlar vermez. Sinyallerin frekans içerikleri zamana göre değişim gösterdiği durumlarda (makinanın açma ve kapanması veya lokal bir diş hatası olan dişli çark titreşimi gibi) Fourier dönüşümü tek başına sinyal davranışlarını ifade etmede yetersiz kalır. Böyle durumlar zaman ve frekans bilgilerinin aynı anda sergileyen kısa zamanlı Fourier dönüşümü (STFT) veya Gabor dönüşümü, Sürekli Dalgacık dönüşümü (CWT), Wigner-Ville dönüşümü (WV) ve Anlık Güç Spektrumu (IPS) gibi bileşik zaman-frekans dönüşümleri kullanılabilir [7]. Bu dönüşümlerden WV ve IPS dönüşümleri lineer olmayan dönüşümlerdir. Çok bileşenli bir sinyalin bu metotlarla analizi sonucunda mevcut sinyal bileşenlerinin yanında parazit sinyal bileşenleri de oluşur ve parazit sinyallerinin mevcudiyeti sinyalin yorumlanmasını güçleştirir.

Bunun aksine STFT ve CWT dönüşümleri işlenen sinyali lineer olarak ayrıştırdığından parazit bileşenlerin oluşması söz konusu değildir. $x(t)$ sinyalinin kısa zamanlı Fourier dönüşümü (STFT) aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$STFT(t, f) = \int_{t-T/2}^{t+T/2} x(\tau) w^*(\tau - t) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (4.8)$$

Bu denklemde $w(\tau)$, $|\tau| > T/2$ değerleri için koşulunu sağlayan pencere fonksiyonu, t pencere pozisyonu, τ zaman değişkeni ve T de pencere genişliğini ifade eder.

Yukarıdaki denklemde ifade edilen kısa zamanlı Fourier dönüşümü'nün uygulamasında aşağıdaki adımlar takip edilir:

- Sonlu bir pencere fonksiyonu seçilir.
- Pencere fonksiyonu ilk önce sinyal başlangıcında konumlandırılarak pencerelenir.
- Pencerelenmiş sinyalin Fourier dönüşümü alınır.
- Pencerenin konumu uygun bir biçimde değiştirilerek 2. ve 3. adımlar pencere konumu sinyalin sonuna gelinceye kadar tekrarlanır.

Pencere kullanımı ve seçimi sonuç kesinliği için oldukça önemlidir. Pencere kullanımı sinyalin sadece lokal olarak gözlemlenmesine olanak sağlanmasının yanında, sinyalin zaman bölgesinde pencerelenmesi sonucu başlangıç ve son noktalarında meydana gelen süreksizliklerin frekans bölgesinde sebep olduğu spektral sızıntıların önlenmesi içinde kullanılması gereklidir [7]. Sinyal işleme uygulamalarında dikdörtgen, Gaussian, Hamming, Hanning, Blackman-Harris, Kaiser gibi çok çeşitli pencereler kullanılmakla beraber, Hanning penceresi en iyi genel maksat penceresi olarak bilinir.

Kısa zamanlı Fourier dönüşümü sonunda elde edilen zaman ve frekans çözünürlüğü analizde kullanılan pencere fonksiyonun boyutu ve şekline bağlıdır. Kısa zaman pencerelerinin kullanımı zaman çözünürlüğünü arttırmakla beraber frekans çözünürlüğünü kötüleştirir. Buna karşılık iyi bir frekans çözünürlüğü elde etmek için büyük kullanılması zorunludur. STFT analizi esnasında pencere boyu sabit kaldığından sabit bir zaman-frekans çözünürlüğü elde edilir [63].

Uygulanan pencere, $2\Delta_{wt}$ uzunluğunun analiz sinyali t zamanında yer alır ve yerel bilgi değerlendirilen bir zaman aralığına sahiptir.

$$(t - \Delta_{wt}, t + \Delta_{wt}) \quad (4.9)$$

Frekans bölgesinde pencere boyutu aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilebilir:

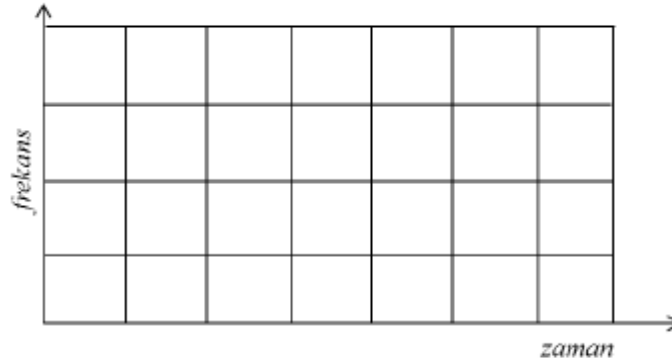
$$(f - \Delta_{wf}, f + \Delta_{wf}) \quad (4.10)$$

Burada f pencerenin merkezindeki frekansı ifade etmektedir ve Δ_{wf} spektral pencerenin yarıçapıdır. t zamanında $x(t)$ sinyalinin dönüşümüyle elde edilen bilgiler zaman-frekans penceresinde sınırlandırılır.

$$(t - \Delta_{wt}, t + \Delta_{wt}) \times (f - \Delta_{wf}, f + \Delta_{wf}) \quad (4.11)$$

Yukarıda da ifade edildiği gibi STFT'nin zaman ve frekans çözünürlükleri, kullanılan zaman penceresinin uzunluğuna ve tipine bağlıdır [62]. Yüksek zaman çözünürlüğünde, kısa bir zaman penceresinin kullanılması gerekir ama yüksek çözünürlüğü, yüksek frekans çözünürlüğünde ve tam tersinin de sağlanır. Sonuç olarak zaman ve frekans çözünürlükleri arasında bir ilişki mevcuttur.

Zaman penceresinin uzunluğu STFT analizinde sabit kalır ve STFT dönüşümü sabit bir zaman-frekans çözünürlüğü üretir. Şekil 4.1'de STFT'nin zaman-frekans düzlemindeki çözünürlüğü gösterilmektedir.



Şekil 4.1. STFT'nin çözünürlüğünün temsili [66].

4.4. Zaman-Frekans Dağılımının Frekans Momenti

Kısa zamanlı Fourier dönüşümü kullanılarak zaman-frekans düzleminde bir enerji yoğunluğu fonksiyonu spektrogram, $S(t, f)$, yardımıyla ifade edilebilir. Spektrogram STFT genliğinin karesi olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$S(t, f) = |STFT(t, f)|^2 \quad (4.12)$$

Bu denklemde $S(t, f)$, $w(t)$ pencere fonksiyonu ile pencerelenmiş orjinal $x(t)$ sinyalinin herhangi bir t zamanında ve f frekansındaki enerji yoğunluğudur. Sıradan bir enerji yoğunluğu $\|w\|_2 = 1$ olarak dikkate alındığında elde edilebilir. Buradaki $\|\cdot\|_2$, $L^2(\mathfrak{R})$ uzayındaki normu ifade etmektedir. Sinyal enerjisi spektrogram kullanıldığında da korunmaktadır ve spektrogramın tüm t - f düzleminde integralinin alınması ile hesaplanabilir.

Spektrogram kullanıldığında enerjinin korunumu aşağıdaki denklemde ifade edilmektedir:

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(t, f) df dt \quad (4.13)$$

Böyle bir enerji yoğunluğu fonksiyonu, $S(t, f)$, tarif edildiğinde, belirli bir t zamanındaki frekans momenti aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$M_n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f^n S(t, f) df \quad (4.14)$$

Burada n ($n = 1, 2, 3, \dots$) frekans momenti sırasını gösterir. Yukarıdaki denklemden de anlaşıldığı üzere t anındaki 0. derece moment sinyalin anlık enerjisi IE'yi vermektedir [67].

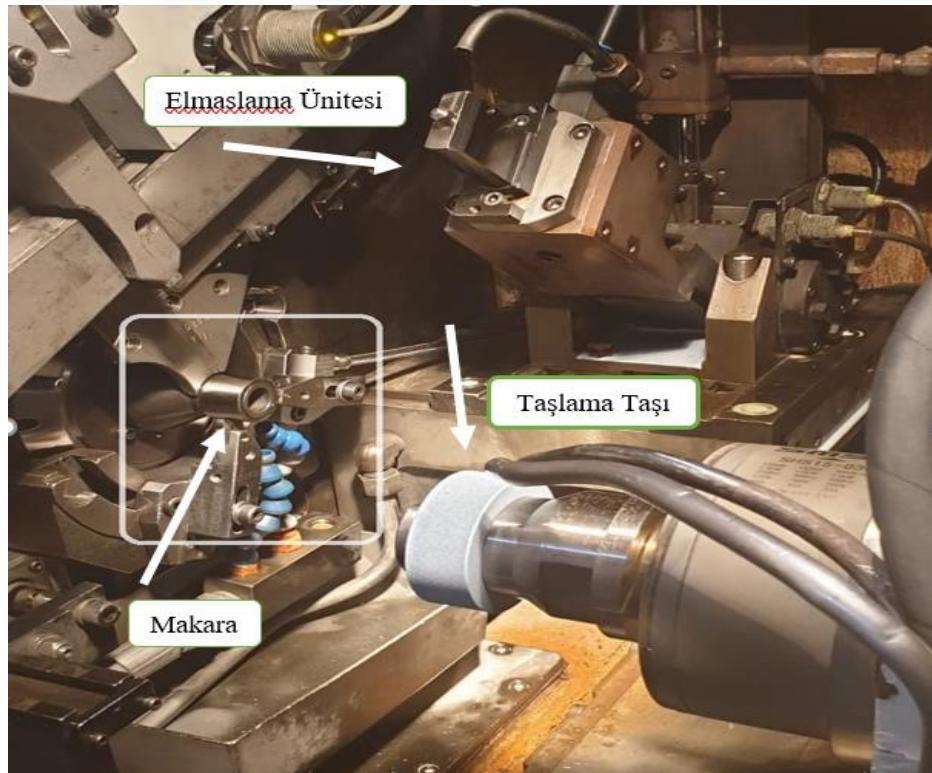
BÖLÜM 5

DENEYSEL VERİLERİN İNCELENMESİ

Bu bölüm farklı taşlama koşullarında elde edilen akustik emisyon verilerinin değerlendirilmesini içermektedir.

5.1. Proses Parametrelerinin Tanımlanması ve Deney Düzeneği

Tüm deneyler, Resim 5.1’de gösterilen dalma tipi tam otomatik bir CNC silindirik taşlama tezgâhı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Taşlamada kullanılan iş parçası, içten yanmalı motorlar için kullanılan bir kam makarasıdır. Kullanılan iş parçasının çapı 32mm olup, DIN 100Cr6 çelikten imal edilmiş ve yüzeyi 60HRC'de 0.15mm derinliğe kadar sertleştirilmiştir. Taşlama esnasında kullanılan soğutma sıvısı %4 oranda suda çözünerek elde edilmiştir ve vitrifiye alüminyum oksit taşlama taşı (çapı ve kalınlığı sırasıyla 87.79mm ve 20mm olan) kullanılmıştır.



Resim 5.1. Deney düzeneği.

Yapılan taşlama deneyleri, üç farklı çalışma koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bunlar normal taşlama, daha yüksek kesme hızı ile taşlama ve daha büyük besleme uygulanarak yapılan taşlama işlemleridir. Deneyler sırasında, iş parçasının dönü hızı tüm kesme koşulları için 501dev/dk olarak ayarlanmıştır. Normal taşlama testi için, taşlama taşının çevresel hızı ve besleme miktarı sırasıyla 57m/sn (12400dev/dk) ve 0.16mm/sn olarak seçilmiştir. Daha yüksek bir kesme hızı göz önüne alındığında, taşlama taşının çevresel hızı, ilerleme hızını değiştirmeden 62m/sn'ye (13488dev/dk) yükseltilmiştir. Daha büyük ilerleme hızı durumunda ise kesme hızı değiştirilmeden ilerleme hızı 0.3mm/sn'ye yükseltilmiştir.

Elde edilen AE sinyalleri bir adet Kistler 8152C tipi akustik emisyon sensörü kullanılarak tespit edilmiştir. Ortaya çıkan AE sinyalleri, taşlama periyodundan önce ve sonra boşta çalışmaları kapsayacak şekilde, tam bir işlem süresi olan 7.5sn boyunca 2MHz örnekleme hızında toplanmıştır. Örtüşme (aliasing) etkisini önlemek için veri toplama kartında (örnekleme frekansının %85'inde ortalanmış) yerleşik bir anti-aliasing filtresi kullanılmıştır. Makina ile ilgili düşük frekanslı aktivitelerden ve yüksek frekanslı gürültüden kaçınmak için, AE sinyalleri, köşe frekansları 3kHz ve 800kHz olarak ayarlanan 10. dereceden bant geçirgen eliptik filtre ile bilgisayarda filtrelenmiştir.

5.2. Deney Sonuçları

5.2.1. Akustik emisyon sinyallerinin zaman-frekans bölgesi analizleri

Şekil 5.1 farklı taşlama koşullarında elde edilen AE sinyallerini ve spektrumlarını göstermektedir. Normal taşlamada elde edilen AE sinyalinin zamana göre değişimi göz önüne alındığında, AE sinyalinin genliğinin sistematik bir artış gösterdiği ve kesme periyodunun erken aşamasında bir maksimuma ulaştığı görülmektedir. Bunun nedeni, gerçek kesme derinliğinin öngörülen kesme derinliğine yaklaşıncaya kadar bir artış sergilediği ve bu artışın deforme olmayan talaş kalınlığında (ve dolayısıyla kesme kuvvetinde) benzer bir artışa neden olmasıdır. Dolayısıyla taş ile iş parçası arasında daha büyük deformasyonlar meydana gelmekte ve sonuçta meydana gelen AE sinyalinin gücünü arttırmaktadır. AE sinyalinin genliği, maksimuma ulaştıktan sonra belirli bir değere doğru hafifçe azalır ve daha sonra kaba işleme periyodunun sonuna kadar neredeyse sabit kalmaktadır.

Dalma tipi silindirik taşlamada, gerçek kesme derinliği, birkaç devirden sonra ayarlanan kesme derinliğinin değerine yaklaşır, ilerleme ve hız değişmeden kalmadığı sürece sabit kalmaktadır.

Bu sonuç olarak sabit bir deforme olmayan talaş kalınlığı ile sonuçlanır ve AE aktivitesinde sabit bir güç sağlar. Kaba işleme tamamlandıktan sonra, AE sinyalinin genliği, spark-out periyodunun sonuna kadar kademeli olarak azalmaktadır. Dalma silindirik taşlamada kaba işleme sırasında, sürekli radyal beslemeden dolayı iş parçası üzerinde yuvarlak bir şekilden ziyade spiral bir şekil elde edilir. Neredeyse daha yuvarlak bir parça, istenen boyut ve yüzey kalitesi, taşın radyal yönde herhangi bir ilerleme kaydetmeden iş parçası üzerinde taşlama işlemine devam ettiği spark-out boyunca elde edilir. Spark-out süresince, deforme olmayan talaş kalınlığı ve AE sinyal gücü sürekli olarak azalmaktadır.

Daha büyük kesme hızı dikkate alındığında, AE sinyalinin zamana göre değişimi, Tablo 5.1'de de gösterildiği gibi daha büyük crest, RMS ve kurtosis değerlerine sahip olması dışında, normal kesmeye çok benzer özellikler sergilemektedir. Bunun nedeni, iş parçasıyla temas eden taşlama parçacıklarının sayısının, taşlama taşının çevresel hızındaki artışla birlikte artmasıdır, bu da akustik emisyon kaynaklarının sayısındaki artışa eşdeğer olmakla beraber, AE sinyalinin gücünde daha fazla artışa neden olmaktadır. Yapılan metalurjik incelemeler sonucunda, yüksek taşlama hızının iş parçaları üzerinde herhangi bir termal hasar oluşumuna neden olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 5.1. Farklı taşlama koşulları için AE aktivitelerinin istatistiksel değerleri.

Taşlama Koşulları	RMS	Crest	Kurtosis
Normal taşlama	0.031	15.00	4.56
Daha yüksek kesme hızı ile taşlama	0.039	16.38	4.84
Daha büyük besleme miktarı ile taşlama	0.043	17.58	5.69

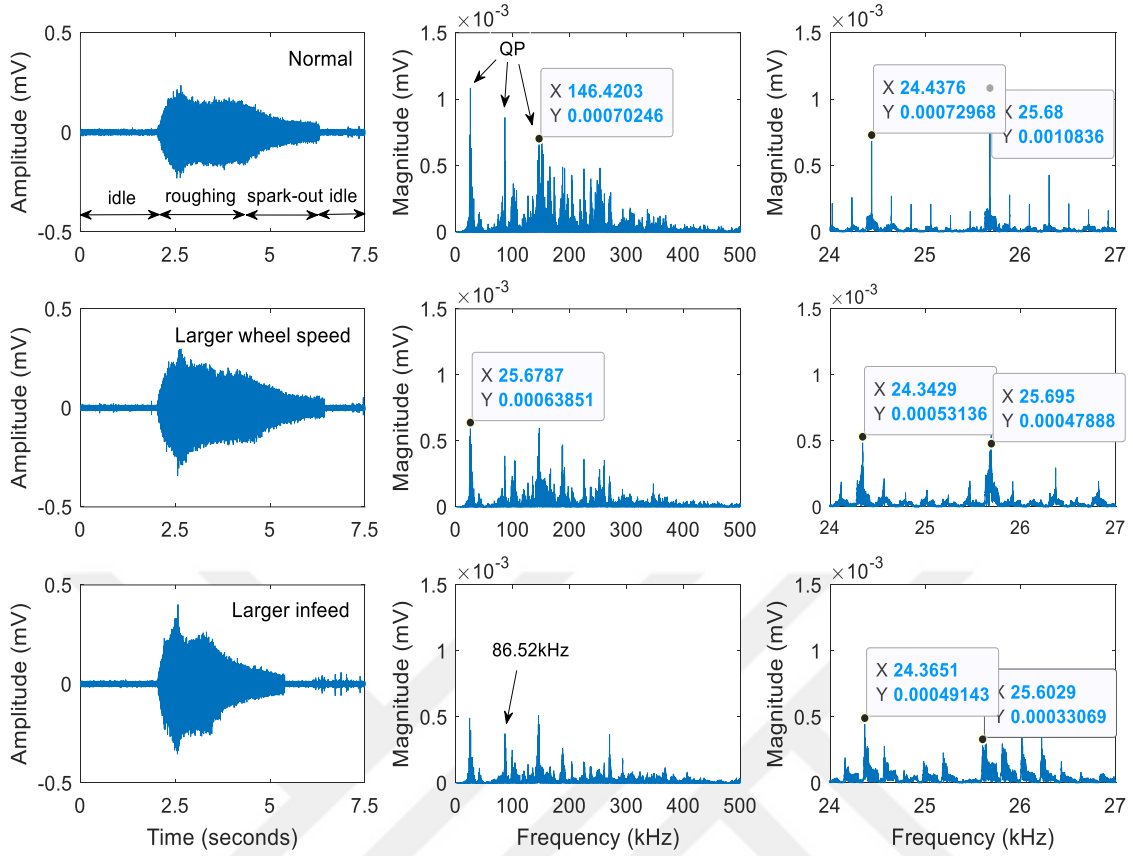
Radyal besleme miktarını 0.16mm/sn'den 0.30mm/sn'ye yükseltmek, kaba işleme süresini azaltmasının yanında hem deforme olmayan talaş kalınlığını hem de kesme kuvvetini arttırmaktadır. Bunun temel nedeni, ilerlemenin artmasıyla deforme olmayan talaş kalınlığının artması ve bu nedenle daha fazla kesme kuvvetinin meydana gelmesidir.

Bu, sadece iş parçası ile temas eden aktif tanelerin sayısında değil, aynı zamanda istatistiksel parametrelerin değerlerinde daha fazla artışa neden olan AE aktivitelerinin gücünde de önemli bir artışa yol açmaktadır.

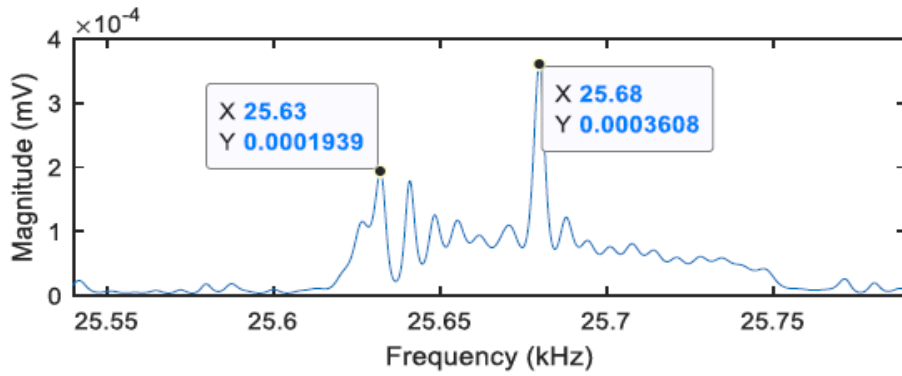
Besleme miktarının malzeme üzerindeki termal hasar oluşumunu incelemek amacıyla beş test yapılmıştır. Yapılan metalurjik incelemeler sonucunda beş iş parçasından dördünün ciddi yanık hasarı sergilediği ve birinde de az miktarda yanık hasarı olduğu tespit edilmiştir.

Tüm taşlama koşulları için AE sinyallerinin spektrumları Şekil 5.1'de 500kHz'e kadar gösterilmiştir. Normal taşlama için AE sinyalinin frekans spektrumu, 25.68kHz, 86.3kHz ve 146.4kHz'de bulunan en büyük üç yarı-periyodik tepe sergilemektedir. Spektrum ilk en büyük frekans bileşeni etrafında yakınlştırıldığında, birbirinden 206.67Hz aralıklarla dizilmiş bir yan bant ailesi bulunmaktadır. Bu nedenle, elde edilen AE sinyalinin, taşlama taşının 206.67Hz (yani 12400devir/dakika) frekansı ile döndürülmesi ile modüle olduğu anlaşılmaktadır. 25.68kHz civarında frekans bileşeni hakkında çok ince detaylar Şekil 5.2'de gösterilmiştir. 206.67Hz zirvelerinin hepsinin etrafında 8.35Hz aralıklarla konumlandırılmış başka bir yan bant ailesi olduğu görülmektedir. İş parçasının dönme hızı 501dev/dk (yani 8.35Hz) olduğundan, taşın dönüşünden kaynaklanan sinyal iş parçasının hızı ile daha da modüle edilmektedir.

Taşlama taşının çevresel hızı 62m/sn'ye yükseltildiğinde, yarı periyodik zirvelerin frekans konumları değişmemektedir. Ancak büyüklükleri önemli ölçüde azalmaktadır. Bununla birlikte, hızdaki artışı her iki yan bant ailesinin özelliklerini de etkilemektedir. Taşın dönme hızı nedeniyle oluşan yan bantlar yaklaşık 225Hz aralıklarla dizilmiş ve 8.35Hz aralıklarla yerleşik olan yan bantların genlikleri artmaktadır. Besleme miktarının 0.3mm/sn'ye yükseltilmesi, yarı-periyodik zirvelerin frekans pozisyonları üzerinde tekrar etkili olmamakla beraber, büyüklükleri daha da azalmaktadır. Hem taş hem de iş parçası hızları normal kesmedeki ile aynı tutulduğundan, yan bant aktivitelerinin pozisyonlarında bir değişiklik yoktur, ancak 8.35Hz aralıklarla yerleşik yan bantların büyüklükleri daha da güçlenmektedir.



Şekil 5.1. Normal taşlama (ilk sıra), daha büyük kesme hızı (ikinci sıra) ve daha büyük besleme hızı (üçüncü sıra) için AE sinyallerinin zaman ve frekans bölgesi gösterimleri.



Şekil 5.2. 25.6kHz civarında normal taşlamadaki AE aktivitesinin spektrumuna çok yakından bir bakış.

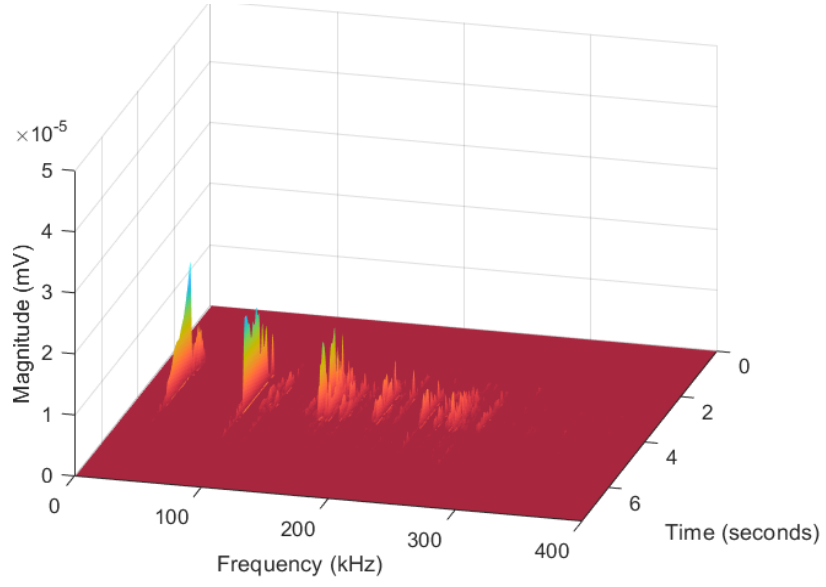
5.2.2. Akustik emisyon sinyallerine spektrogramın uygulanması

Spektrogram hesaplaması için, her AE sinyali 0.25 (500000 örnek noktası) saniye uzunluğunda bir Hanning penceresi ile ağırlıklandırılmıştır ve ardışık pencerelerin merkez konumları, 0.225 saniyelik örtüşme sağlayacak biçimde 0.025 saniyelik öteleme yapılmıştır. Ortaya çıkan spektrogram, zaman, frekans ve genlik bilgilerini gösteren üç boyutlu grafik olarak gösterilmiştir.

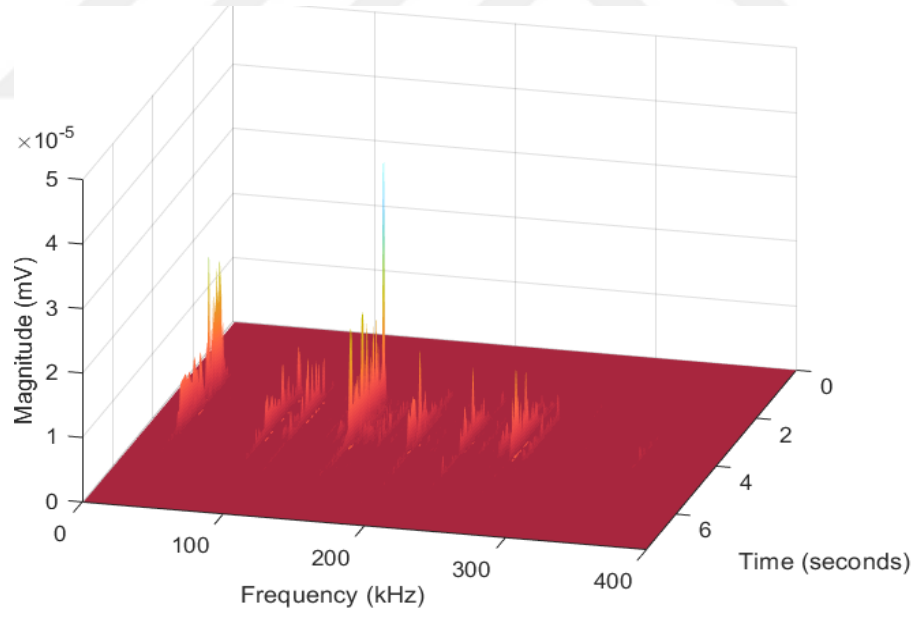
Şekil 5.3'de sinyal enerjisini zaman ve frekansa bağlı olarak gösteren normal taşıma için AE aktivitesinin spektrogramı görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı üzere 300kHz'e kadar AE içeriğinin sinyal enerjisine en büyük katkıyı yaptığı ve bunların çoğunun yarı periyodik frekanslar etrafında yoğunlaşmış olduğu ve bazılarının daha yüksek frekanslarda olduğu görülmektedir. Ayrıca, AE enerjisinin zamana göre dalgalanmalar gösterdiği ve yüksek frekanslarda impulsiv görünüm sergilerken, düşük frekanslarda yumuşak bir şekilde değiştiği görülmektedir.

Şekil 5.4'de kesme hızı yükseltildiğinde oluşan AE sinyalinin spektrogramı görülmektedir. Taşıma taşının çevresel hızı 62m/sn'ye çıkarıldığında, 86.5kHz civarındaki sinyal enerjisinin önemli ölçüde azaldığı fakat 100kHz (maksimum anlık enerjinin gözlemlendiği yerde) civarındaki sinyal enerjisinde ise bir artış görülmektedir. Daha büyük besleme miktarı uygulandığında AE sinyalinin spektrogramı Şekil 5.5'de gösterilmektedir. Normal kesimdekine benzer biçimde, sinyal enerjisinin en fazla 25.6kHz, 86.5kHz ve 146.4kHz frekansları etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca maksimum anlık enerji 146.4kHz'te oluştuğu görülmektedir.

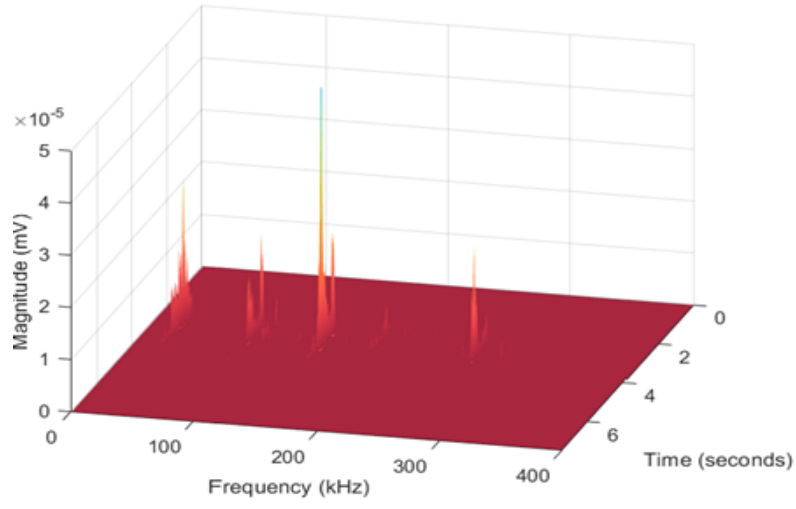
Şekil 5.6'da, farklı taşıma koşullarında elde edilen anlık enerji değişimleri gösterilmektedir. Şekilden de anlaşıldığı üzere, IE'nin çalışma koşullarında meydana gelen herhangi bir değişikliğe karşı oldukça hassas olduğu görülmektedir. Taşıma taşının hızı arttığında, hem akustik emisyon kaynaklarının sayısı hem de AE'nin gücü arttığından normal kesime göre daha yüksek IE değerleri verir. Başka bir deyişle, IE'nin genliği, AE aktivitesinin gücünü yansıtır ve IE'nin değeri ne kadar büyükse, AE'nin genliği o kadar büyük olur.



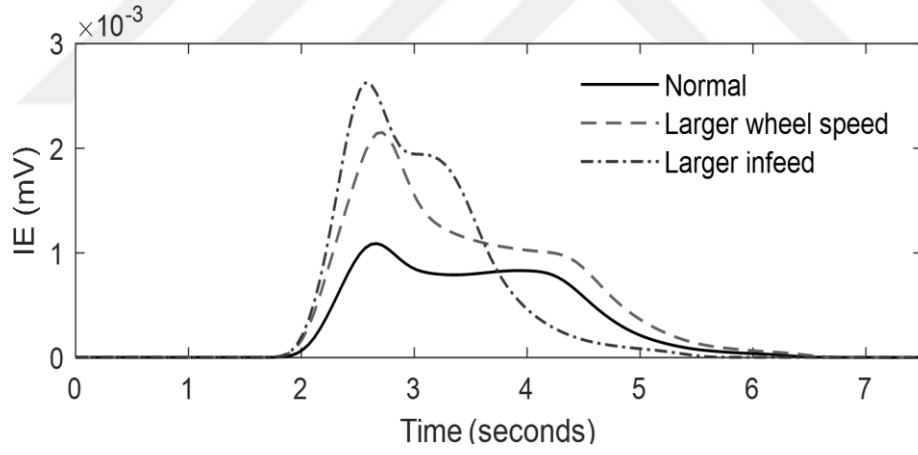
Şekil 5.3. Normal taşlama için AE sinyalinin spektrogramı.



Şekil 5.4. Daha yüksek kesme hızı için AE sinyalinin spektrogramı.



Şekil 5.5. Daha yüksek besleme hızı için AE sinyalinin spektrogramı.



Şekil 5.6. Farklı taşlama koşulları için anlık enerjinin zamana göre değişimleri.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE SONRAKİ ÇALIŞMALARA ÖNERİLER

Bu tezde sunulan çalışmaya ait genel ve spesifik sonuçlar içermektedir. Bunlara ek olarak, farklı taşlama koşullarında oluşan akustik emisyon faaliyetlerinin incelenmesi ile ilgili daha sonraki yapılacak olan çalışmalar için öneriler verilmektedir.

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı çalışma koşullarında AE kullanılarak taşlama işleminin durumu izlenmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Taşlamada daha yüksek bir taş hızı veya daha fazla ilerleme hızı uygulandığında AE'nin gücü artmaktadır. Bunun nedeni, taş hızı ne kadar yüksek olursa iş parçası ile daha fazla aşındırıcı parçacığın temas etmesi ve AE kaynaklarının sayısının artışı olarak görülmektedir.
- Benzer şekilde, ilerleme hızı arttıkça, anlık talaş kalınlığı artmakta, bu da daha büyük bir kesme kuvveti ve daha büyük AE genliği ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca, taş hızındaki veya ilerleme hızındaki herhangi bir artış, AE aktivitesinin RMS, crest ve kurtosis değerlerinde bir artışa yol açmaktadır.
- Termal hasarın meydana gelmesinde kesme hızından ziyade ilerleme hızının oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Daha yüksek bir ilerleme hızı uygulandığında, beş iş parçasından dördü ciddi yanık hasarı gösterirken, biri hafif yanık hasarı sergilemiştir. Daha yüksek ilerleme hızının aksine, daha büyük bir kesme hızının uygulanması iş parçalarında herhangi bir termal hasara neden olmamıştır.
- Tüm taşlama koşulları için AE sinyallerinin spektrumları, 25.68kHz, 86.3kHz ve 146.4kHz'de bulunan üç ana yarı-periyodik tepe göstermiş, ancak bu frekansların konumları ne hıza ne de ilerlemeye bağlı olmadığı bulunmuştur.
- Farklı taşlama koşullarında elde edilen AE sinyallerinin spektrumları detaylı olarak incelendiğinde, kesici taşın dönme hızından kaynaklanan ve zirveleri birbirlerinden 206.67Hz aralıklarla yerleşmiş bir yan bant ailesinin varlığını ortaya koymuştur.

- Ayrıca, iş parçasının dönüşü nedeniyle, 8.35Hz aralıklarla bulunan 206.67Hz zirveleri etrafında başka bir yan bant ailesi tespit edilmiştir.
- Yarı-periyodik frekans zirvelerinin genlikleri, kesme hızı veya ilerleme hızı arttıkça belirgin bir şekilde azalsa da, 8.35Hz aralıklarla bulunan yan bant ailesinin zirveleri önemli ölçüde güçlenmektedir.
- Spektrogram, AE faaliyetlerinin enerji içeriğinin zaman-frekans düzlemine nasıl dağıldığını gösterir. 300kHz'e kadar olan AE içeriğinin, tüm taşlama koşulları için sinyal enerjisine en büyük katkıyı sağladığı ve işlem parametrelerinin izlenmesi için ideal veri kaynağı olabileceği bulunmuştur.
- Anlık enerji (enerji yoğunluğunun sıfırdan frekans momenti), herhangi bir anormalliğin tespitinde spektrogramın yeteneklerini geliştirmek için kullanılabilir ve taşlamada taş hızı ve ilerleme hızındaki herhangi bir değişikliğe oldukça duyarlıdır. Taş hızındaki veya ilerleme oranındaki bir artışın, normal kesime kıyasla farklı güçlere sahip daha yüksek IE değerleri verdiği bulunmuştur. Ayrıca, çalışma koşullarındaki herhangi bir değişiklik de RMS ve IE'nin tepe değerleri tarafından yansıtılır.

6.2. Sonraki Çalışmalara Öneriler

- Sinyal içerisindeki periyodiklerin ve harmonik içeriğin belirlenmesi için cepstral analizinin kullanılması yararlı olacaktır.
- Bu çalışmada sabit çözünürlüklü spektrogram kullanılarak anlık enerji değişimleri dikkate alınmıştır. Sonraki çalışmalarda değişken zaman-frekans çözünürlüğüne sahip dalgacık dönüşümü dikkate alınarak, anlık enerji ve ortalama frekans değişimlerinin kullanılması faydalı olacaktır.
- Kısa zamanlı Fourier dönüşümü (STFT) ve Wavelet dönüşümleri (WT) lineer dönüşümlerdir. Farklı taşlama koşullarında oluşan akustik emisyon faaliyetlerinin incelenmesinde, lineer olmayan diğer sinyal işleme tekniklerinden Wigner-Ville dağılımı (WVD) ve Anlık Güç Spektrumu (IPS) gibi dönüşümlerin uygulamalarının incelenmesi literatüre katkı sağlayacaktır.
- Taşlamada iş parçası yüzey kalitesinin, AE aktiviteleri üzerindeki etkileri incelenmelidir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Demir, H. And Güllü, A., 1999, “Silindirik taşlamada yüzey pürüzlülüğü ve taşlama oranı ilişkisinin araştırılması”, *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji*, 1-2, 151-167.
- [2] Leondes, C.T., “Computer-aided design, engineering and manufacturing: Systems techniques and applications volume I: Systems techniques and computational methods.”, 2000, *CRC Press*, USA.
- [3] Öztürk, H., 2006, “Titreşim etüdü yardımıyla dişli kutularının sağlıklı çalışmasının izlenmesi ve arızaların tespiti”, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- [4] Yeşilyurt, İ., 1997, “Gear fault detection and severity assessment using vibration analysis”, Ph.D. Thesis, *The University of Manchester*, England.
- [5] Rao, S.S., “Mechanical Vibrations 3rd ed.”, 1995, *Addison-Wesley Publishing Company*.
- [6] Dempsey, P.J., Morales, W. And Afjeh, A.A., 1995, “Investigation of spur gear fatigue damage using wear debris”, *Lubrication Engineering*, 58(11): 18-22.
- [7] Randall, R.B., “Frequency analysis 3rd ed.”, 1987, *Brüel & Kjaer*.
- [8] Baydar, N. And Ball, A., 2003, “Detection of gear failures via vibration and acoustic signals using wavelet transform”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 17(4):787-804.
- [9] Huang, M., Jiang, L., Liaw, P.K., Brooks, C.R., Seeley, R. And Klarstrom, D.L., 1998, “Using acoustic emission in fatigue and fracture materials research”, *JOM*, 50(11):1-13.
- [10] Singh, A., Houser, D. And Vijayakar, S., 1999, “Detecting gear tooth breakage using acoustic emission: A feasibility and sensor placement study”, *Journal of Mechanical Design*, 121(4): 587-593.
- [11] Tan, C.K. And Mba, D., 2005, “Identification of the acoustic emission source during a comparative study on diagnosis of spur gearbox”, *Tribology International*, 38: 469-480.
- [12] Toutountzakis, T. And Mba, D., 2003, “Observation of acoustic emission activity during gear defect diagnosis”, *NDT&E International*, 36: 471-477.

- [13] Wang, Q.W., 2002, “Rotary machinery health condition monitoring, fault diagnosis and prognosis”, Ph.D. Thesis, *University of Waterloo*, Canada.
- [14] Egeli, B., 2008, “Çelik malzemelerdeki hataların titreşim analizi ile tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.
- [15] Girdhar, P. And Scheffer C., “Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance 1st ed.” 2004, *Newnes*, Burlington, USA.
- [16] Janik, W. And Fuchs, A., 1992, “Process and signal model based fault detection of the grinding process”, *IFAC / IMACS Sempozyumu*, Almanya, 559-546.
- [17] Cloquell, A.P. And Meter E.C.D., 2015, “Experimental analysis of an adhesive surface grinding process”, *Journal of Manufacturing Processes*, 19: 38-48.
- [18] Saravanakumar, A., Dhanabal, S., Jayanand, E. And Logeshwaran, P., 2018, Analysis of process parameters in surface grinding process”, *Materials Today: Proceedings*, 5: 8131-8137.
- [19] Demir, H. And Güllü, A., 2008, “Taş dokusunun yüzey pürüzlülüğü ve taşlama kuvvetlerine etkilerinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23: 77-83.
- [20] Zhang, Z.Y., Shang, W., Ding, H.H., Guo, J., Wang, H.Y., Liu, Q.Y. And Wang, W.J., 2016, “Thermal model and temperature field in rail grinding process based on a moving heat source”, *Applied Thermal Engineering*, 106: 855-864.
- [21] Drazumeric, R., Roininen, R., Badger, J. And Krajnik, P., 2018, “Temperature-based method for determination of feed increments in crankshaft grinding”, *Journal of Materials Processing Technology*, 259: 228-234.
- [22] Lin, B., Zhou, K., Guo, J., Liu, Q.Y. And Wang, W.J., 2018, “Influence of grinding parameters on surface temperature and burn behaviors of grinding rail”, *Tribology International*, 122: 151-162.
- [23] Liu, Q., Chen, X. And Gindy, N., 2006, “Investigation of acoustic emission signals under a simulative environment of grinding burn”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46: 284-292.
- [24] Akbari, J., Saito, Y., Hanaoka, T., Higuchi, S. And Enomoto, S., 1996, “Effect of grinding parameters on acoustic emission signals while grinding ceramics”, *Journal of Materials Processing Technology*, 62: 403-407.

- [25] Dotto, F.R.L., Aguiar, P.R., Alexandre, F.A., Simoes, L., Lopes, W.N., D'Addona D.M. And Bianchi E.C., 2019, "Acoustic image-based damage identification of oxide aluminum grinding wheel during the dressing operation", *Procedia CIRP*, 79: 298-302.
- [26] Inasaki, I., 1998, "Application of acoustic emission sensor for monitoring machining Processes", *Ultrasonics*, 36: 273-281.
- [27] Mokbel, A.A. And Maksoud, T.M.A, 2000, "Monitoring of the condition of diamond grinding wheels using acoustic emission technique", *Journal of Materials Processing Technology*, 101: 292-297.
- [28] Han, X. And Wu, T., 2013, "Analysis of acoustic emission in precision and high efficiency grinding technology", *Int J Adv Manuf Technol*, 67: 1997–2006.
- [29] Karpuschewski, B. And Wehmeier, M., 2000, "Grinding monitoring system based on power and acoustic emission sensors", *CIRP Annals- Manufacturing Technology*, 49(1): 235–240.
- [30] Plaza, EG., Chen, X. And Ouarab. LA., 2019, "Abrasive feature related acoustic emission in grinding", In: *Proceedings of the 25th international conference on Automation & Computing*, Lancaster UK, pp. 1-6.
- [31] Aguiar, P.R., Serni, PJA., Bianchi, E.C. And Dotto, FRL., 2004, "In-process grinding monitoring by acoustic emission", In: *IEEE International conference on acoustics, speech, and signal processing*, Montreal, Quebec, Canada, pp.405- 408.
- [32] Viera, M.A.A., Paulo, R.A., Junior, P.O., Alexandre, F.A., Lopes, W.N., Bianchi, E.C., Silva, R.B.D.S., D'addona, D. And Andreoli, A., 2019, "A time-frequency acoustic emission-based technique to assess workpiece surface quality in ceramic grinding with PZT transducer", *Sensors*, 19: 2-19.
- [33] Hübner, H.B., Silva, R.B.D., Duarte, M.A.V., Silva, M.B.D., Ferreira, F.I., Aguiar, P.R.D. And Baptista, F.G., 2020, "A comparative study of two indirect methods to monitor surface integrity of ground components", *Structural Health Monitoring*, 19(6): 1856-1870.
- [34] Arun, A., Romeshkumar, K., Unnikrishnan, D. And Sumesh, A., 2018, "Tool condition monitoring of cylindrical grinding process using acoustic emission sensor", *Materials Today: Proceedings*, 5: 11888-11899.

- [35] Sridharan, U., Bedekar, V. And Kolarits, F.M., 2017, “A functional approach to integrating grinding temperature modeling and barkhausen noise analysis for prediction of surface integrity in bearing steels”, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 66: 333-336.
- [36] Cillikova, M., Micieta, B., Neslusan, M. And Blazek, D., 2016, “Nondestructive magnetic monitoring of grinding damage”, *Procedia Materials Science*, 12: 54- 59.
- [37] Kwak, J-S. And Ha, M-K., 2004, “Neural network approach for diagnosis of grinding operation by acoustic emission and power signals”, *Journal of Materials Processing Technology*, 147: 65-71.
- [38] Thanedar, A., Dongre, G.G., Singh, R. And Joshi, S.S., 2017, “Surface integrity investigation including grinding burns using barkhausen noise (BNA)”, *Journal of Manufacturing Processes*, 30: 226-240.
- [39] Yang, Z., Yu, Z., Xie, C. And Huang, Y., 2014, “Application of hilbert-huang transform to acoustic emission signal for burn feature extraction in surface grinding process”, *Measurement*, 47: 14-21.
- [40] Kwak, J-S. And Song, J-B., 2001, “Trouble diagnosis of the grinding process by using acoustic emission signals”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41: 899-913.
- [41] Asiltürk, İ., 2007, “Testere ile kesme işleminde yapay zeka tabanlı adaptif kontrol uygulaması”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- [42] Sak, C., 1986, “Genel taşlamacılık”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [43] Güllü, A., 1995, “Silindirik taşlamada istenilen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- [44] Lin, S.Y., Liu, Y.C. And Huang, C.W., 2008, “An investigation of surface grinding characteristics for titanium alloy with CBN wheel”, *Key Engineering Materials*, 364-366.
- [45] Steffen, J.K., 2004, “Application of a coherent jet coolant system in creep-feed grinding of inconel 718”, MSC Thesis, *Dalhousie University*, Canada, 6-7.

- [46] Atzeni, E. And Iuliano, L., 2008, “Experimental study on grinding of a sintered friction material”, *Journal of Materials Processing Technology*, 196: 184-189.
- [47] Marinescu, I.D., Rowe, W.B., Dimitrov, B. And Inasaki, I., “Tribology of Abrasive Machining Processes 2nd ed.”, 2004, *William Andrew*, Norwich-New York.
- [48] Tso, P.L. And Yang S.Y., 1998, “The compensation of geometrical errors on forming grinding”, *Journal of Materials Processing Technology*, 73: 82-88.
- [49] Xie, Q., 2008, “Modeling and control of linear motor feed drives for grinding machines”, PhD Thesis, *Georgia Institute of Technology*, Atlanta.
- [50] Oksel, H., Öztürk, O., Tunç, S. And Yardımcı, M., “Motor Bölümü Yenileştirme Atelyesi İş ve İşlem Yaprakları”, 1991, *MEB Basımevi*, İstanbul.
- [51] Mızrak, H.V., 2016, “Makara dış çap taşlamada gerekli yüzey pürüzlülük değerinin elde edilmesi için deney tasarım yöntemi ile optimum taşlama parametrelerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- [52] İşbilir, F., 2006, “Takım ömrünün sebep-sonuç diyagramları ile açıklanması, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne etkili faktörlerin analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- [53] Tekaüt, İ., 2008, “Takım tezgahlarındaki kesici takım titreşiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Ankara Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi*, 79: 1-11.
- [54] Akkuş, H., 2010, “Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleri ile tahmin edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- [55] Neşeli, S., 2006, “Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- [56] Rowe, W.B., “Principles of Modern Grinding Technology 2nd edition.”, 2004, *William Andrew*, U.S.A.
- [57] Huang, J.Q., 2014, “Non-destructive evaluation (NDE) of composites: acoustic emission (AE)”, *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, 12-32.

- [58] https://www.nde-ed.org/index_flash.htm
- [59] Tuncel, S., 2008, "Tahribatsız muayene teknolojilerinde son gelişmeler: Akustik Emisyon", 3rd *International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition*, İstanbul.
- [60] Ohtsu, M., Enoki, M., Mizutani, Y. And Shigeishi, M., "Practical Acoustic Emission Testing", 2016, *Springer*, Japan, 5-7.
- [61] Ohtsu, M., Enoki, M., Mizutani, Y. And Shigeishi, M., "Practical Acoustic Emission Testing", 2016, *Springer*, Japan, 21-26.
- [62] Dyer, D. And Stewart, R.M., 1978, "Detection of rolling element bearing damage by statistical vibration analysis", *Transaction of the ASME, Journal of Mechanical Design*, Vol. 100, pp.229-235.
- [63] Martin, H.R., 1992, "Detection of gear damage by statistical vibration analysis", *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers*, Part-C, pp. 395-401.
- [64] Broch, T.J., "Application of the B&K equipment to mechanical vibration and shock measurements", 1973, Brüel & Kjaer.
- [65] Gürsoy, H., 2011, "Kompozit malzemelerin mekanik ve modal özelliklerinin titreşim analiziyle belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uşak.
- [66] Demren, E., 2015, "Dalgacık dönüşümünün Fourier dönüşümü ile karşılaştırılması ve uygulama", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [67] Yesilyurt, İ., 2004, "The application of the conditional moments analysis to gearbox fault detection – a comparative study using the spectrogram and scalogram", *NDT & E International*, 37: 309-320.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : BAKIR, Onur
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.01.1991 İzmir
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 0 (506) 823 58 17
E-posta : onurbakir.makine@gmail.com

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet Tarihi

Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi / Makina Müh. Böl.	2021
Lisans	Uşak Üniversitesi / Makina Müh. Böl.	2014
Lise	Naci Şensoy Lisesi	2009

İş Deneyimi

COŞKUNLAR TORNA 05.2015 - 12.2015

İZMİRGAZ - İZMİR DOĞALGAZ DAĞITIM A.Ş. 03.2017 - 04.2018

NEVA DOĞALGAZ MEKANİK MÜHENDİSLİK 08.2019 - 03.2020

İZMİRGAZ - İZMİR DOĞALGAZ DAĞITIM A.Ş. 03.2020 -

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Yesilyurt, İ. And Bakir, O., 2020, "Monitoring of burn damage occurrence under different grinding conditions using acoustic emission", *Usak University Journal of Engineering Sciences*, 3(2): 105-112.

Hobiler

Santranç, Bilgisayar Teknolojileri, Bilimsel Dergiler, Sinema, Masa Tenisi, Seyahat.

Type 8152C..

Piezotron® Acoustic Emission Sensor with an integral impedance converter for measuring acoustic emissions (AE) above 50 kHz in bearing based machine structures, high pressure vessels, compressors or valves. With its small size, it easily mounts near the source of emissions to optimally capture the signal. A M6 or ¼-28" bolt is all that is needed. Available in both intrinsically or non-intrinsically safe versions, this very rugged sensor has a welded housing for IP65 protection with high temperature operation up to 165° C [330 °F].

- Standard, ATEX/CSA Zone 0 or ATEX/CSA Zone 2 versions available
- High sensitivity and wide frequency range
- Inherent high-pass characteristic
- Insensitive to electric and magnetic noise fields
- Robust, for industrial use (IP65)
- High operating temperature range: -55 ... 165° C [-65 ... 330 °F]
- Ground isolated: prevents ground loops
- Conforming to **CE**

Description

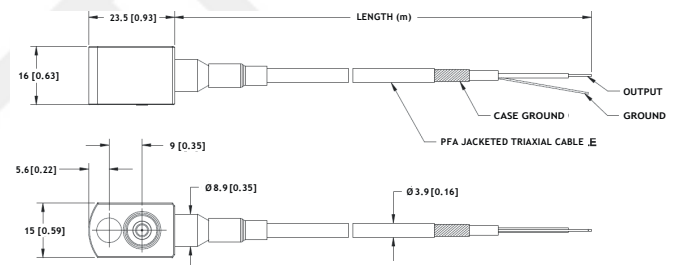
The Piezotron® AE-Sensor consists of the sensor housing, the piezoelectric sensing element, and the built-in impedance converter. The sensing element, made of piezoelectric ceramic, is mounted on a thin steel diaphragm. Its construction determines the sensitivity and frequency response of the sensor. The coupling surface of the diaphragm welded into the housing is slightly protruded to measure the AE signals. Thus, a precisely defined coupling force results when mounting. This assures a constant and reproducible coupling for the AE transmission. The sensing element is acoustically isolated from the housing by design and therefore well protected against external noise. Kistler AE sensors feature a very high sensitivity for surface (Rayleigh) and longitudinal waves over a broad frequency range and are designed to withstand high energy waves. Type 8152C0... covers 50 ... 400 kHz and Type 8152C1... covers 100 ... 900 kHz. Type 8152Cxyy00... will exist only in a PFA cable where Type 8152Cxyyyy... will provide a protective conduit with a length yy. This conduit can be terminated with ¼ NPT Male or M13x1-6g to adapt to your system. Finally, Type 8152C...1 is provided with a Zone 0 Certification in Europe & North America where Type 8152C...2 is provided with a Zone 2 Certification.

A non-ATEX version, Type 8152C...0, is also available for lower cost applications where a non-intrinsically safe solution is acceptable. A miniature impedance converter is built into the Piezotron®

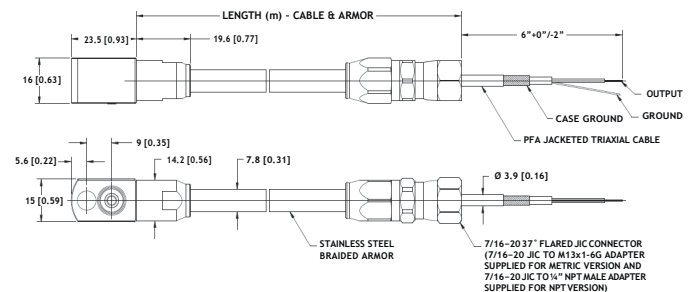
Type 8152Cxyy00xx with PFA jacketed cable



Type 8152Cxyyyyxx with braided cable



Outline drawing for Type 8152Cxyy000x with yy m of PFA jacketed cable and no armor conduit (units: mm [in])



Outline drawing for Type 8152Cxyyyyx with yy m of PFA jacketed cable and yy m of armor conduit (units: mm [in])

AE-Sensor, giving a low impedance voltage output signal.

The AE Piezotron® Coupler is used to supply power to the sensor and for signal processing. Different coupler options are offered depending on the ATEX or non-ATEX requirement (please refer to the Measurement Configuration and Ordering Key sections of this document to guide you). Special highly insulating and low noise connecting cables are not required.

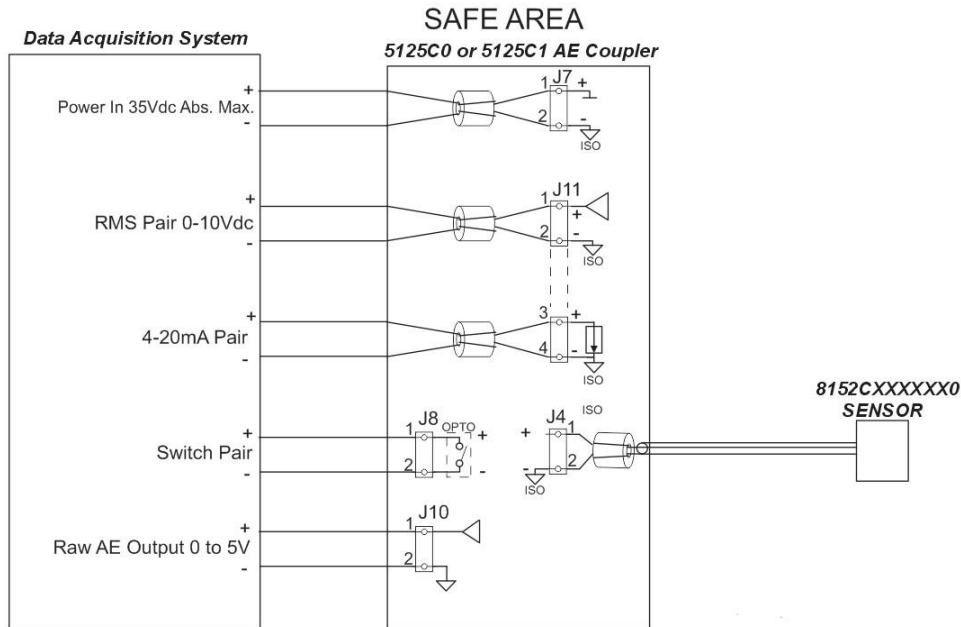
Technical Data

Type	Unit	8152C0...0	8152C1...0	8152C0...1	8152C1...1	8152C0...2	8152C1...2
Dynamic							
Frequency range ±10 dB	kHz	50 ... 400	100 ... 900	50 ... 400	100 ... 900	50 ... 400	100 ... 900
Sensitivity	dBref 1V/ (m/s)	57	48	57	48	57	48
Environmental							
Overload shock (0.5 ms pulse)	gpk	2,000					
Operating temperature range	°C [°F]	-55 ... 165 [-65 ... +330]					
Electrical - OUTPUT							
Bias, nom.	VDC	2.2					
Impedance	Ω	<10					
Voltage full-scale	V	±2					
Current	mA	2 ... 4					
SOURCE							
Voltage (Coupler)	VDC	5 ... 36					
Constant current	mA	3 ... 6					
CONSTRUCTION							
Sensing element	type	ceramic					
Housing/base	material	stainless steel					
Protection-housing/connector		IP65 (EN 60529 @ NEMA 4X)					
Ground isolation	MΩ	>1	>1 MΩ, Isolation Test Voltage (≥1 min.; 5 mA) ≥500 VAC				
PFA/Armored cable lengths	m	standard length of 3 m, 5 m, 10 m, 15 m, or 20 m					
PFA cable bend radius	mm	25					
Aarmor conduit bend radius	mm	38					
Weight (head without cable)	gr	29					
Mounting torque	N·m	9±1					
Certification & Standards							
CE - EMC		EMC compliant with EN 61236-1:2006					
Hazardous Areas		Non-Intrinsically Safe	ATEX Zone 0 II 1GD, Ex ia IIC T85C/T100C/ T135C/T185C Da, Ex ia IIC T6/T5/T4/T3 Ga (-55 °C≤Ta≤+60 °C/+75 °C/ +110 °C/+165 °C) per EN 60079-0:2012, EN 60079-11:2012			ATEX Zone 2 II 3G, Ex na IIC T6/T5/T4/T3 Gc (-55 °C≤Ta≤+60 °C/+75 °C/ +110 °C/+165 °C) per EN 60079-0:2012, EN 60079-15:2010	

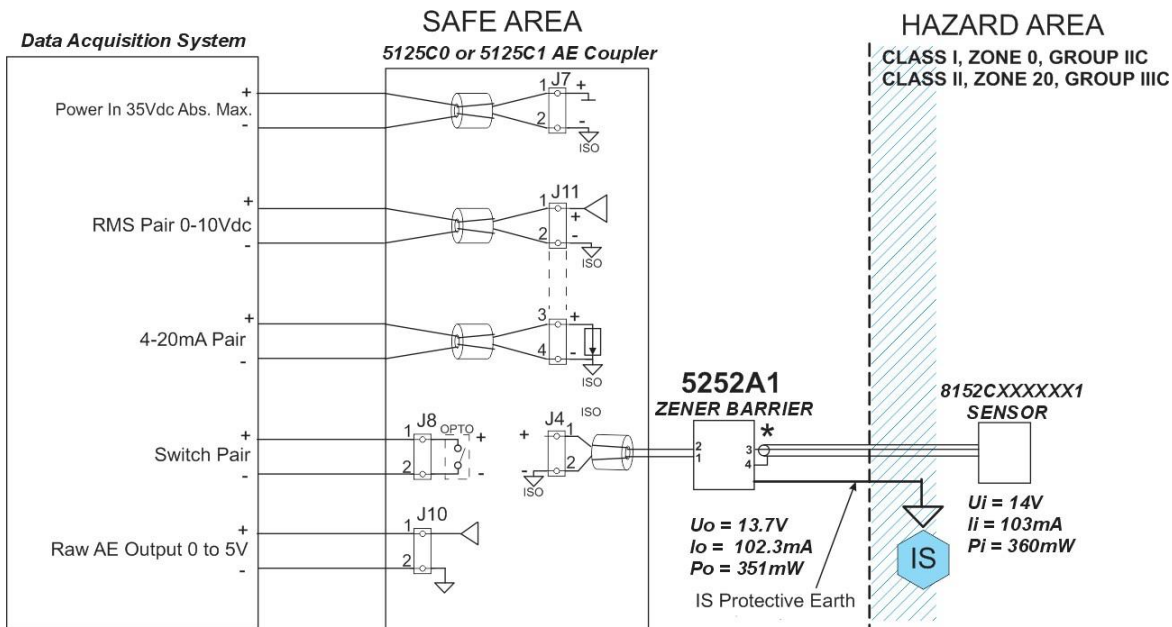
1 g = 9.80665 m/s², 1 Inch = 25.4 mm, 1 Gram = 0.03527 oz, 1 lbf·in = 0.113 N·m

MEASURING CONFIGURATIONS – for Type 8852A System, Type 8152C Sensor, Type 5125C Coupler and Type 5252A Wide Band IS Barriers

CONFIGURATION 1: Standard AE MEASURING Chain



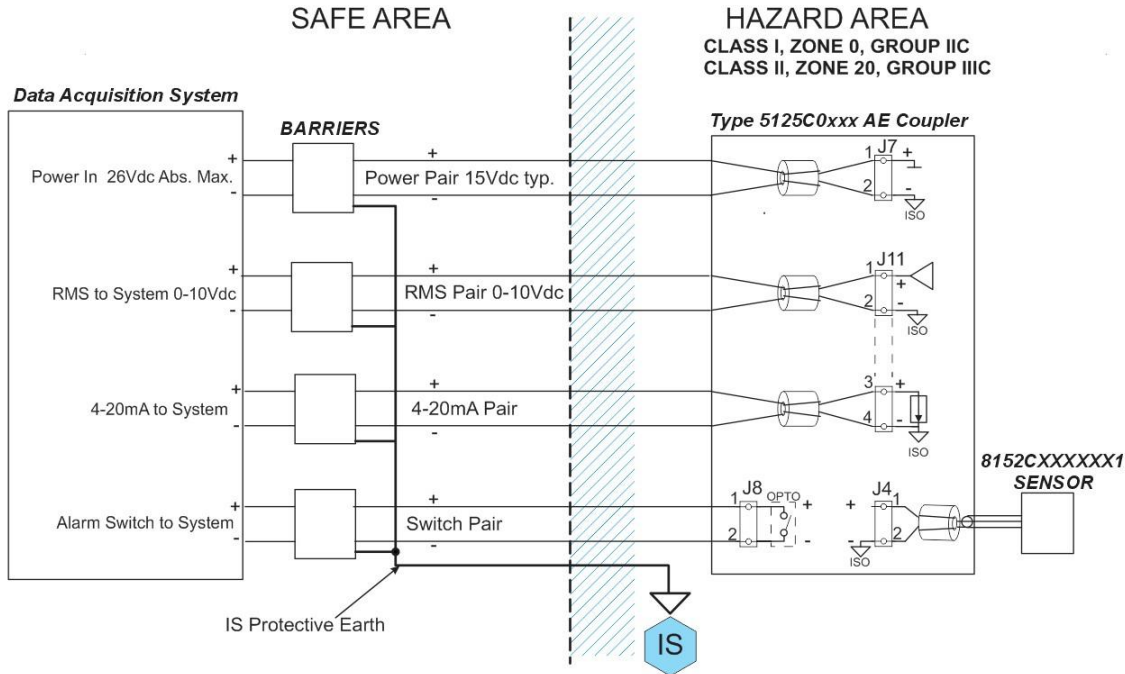
CONFIGURATION 2: Type 8152C Sensor in HAZARDOUS Area Zone 0, Type 5125C COUPLER in a Safe Area – Real-time AE output and RMS output available.



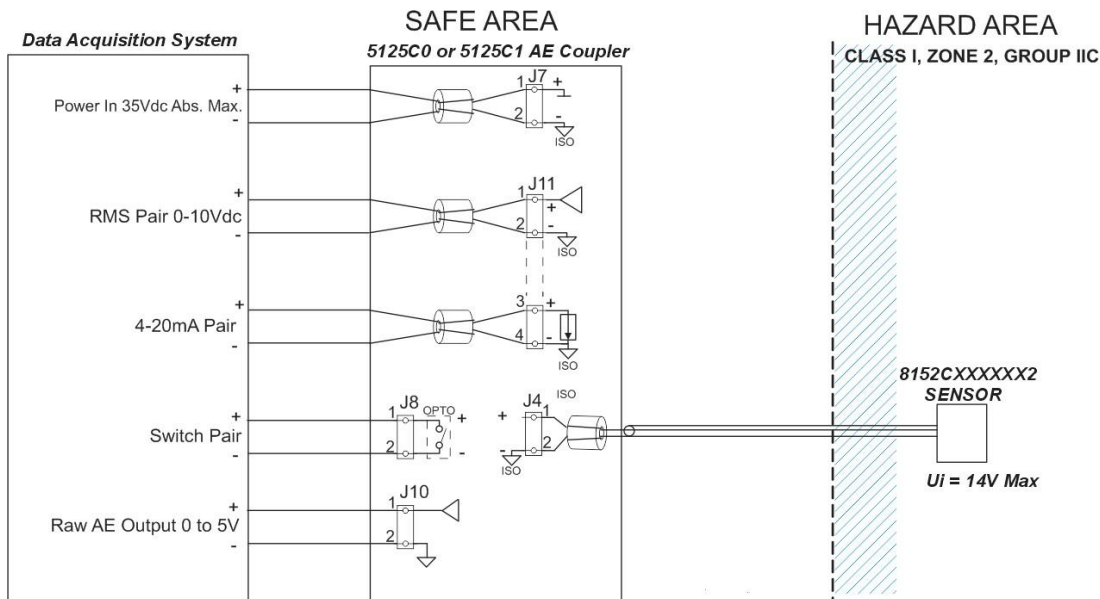
*Special Condition for Safe Use: The free ends of the cable must be terminated such that they are afforded a degree of protection of not less than IP20.

WARNING: Only ATEX Sensors Type 8152C... with serial number SN 4944583 and higher are compatible with the Type 5252A1 Wideband Zener Barrier.

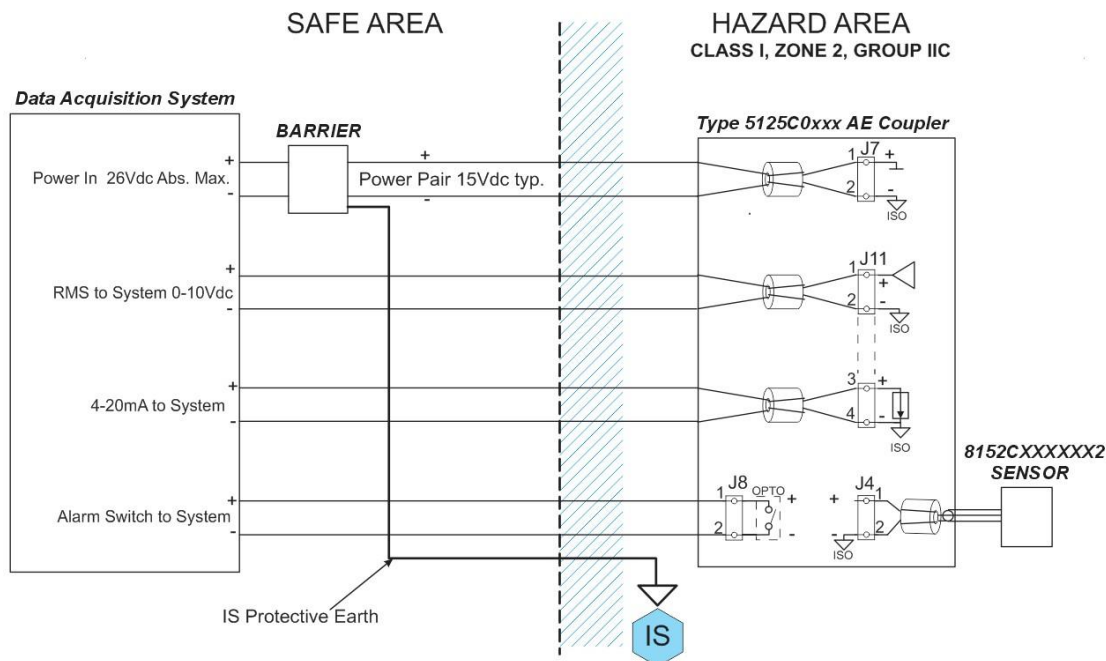
CONFIGURATION 3: Type 8152C Sensor in HAZARDOUS Area Zone 0, Type 5125C Sensor in HAZARDOUS Area Zone 0 – only RMS output available.



CONFIGURATION 4: Type 8152C Sensor in HAZARDOUS Area Zone 2, Type 5125C COUPLER in a Safe Area – Real-time AE output and RMS output available.



CONFIGURATION 5: Type 8152C Sensor in HAZARDOUS Area Zone 2, Type 5125C Sensor in a HAZARDOUS Area Zone 2 – only RMS output available.



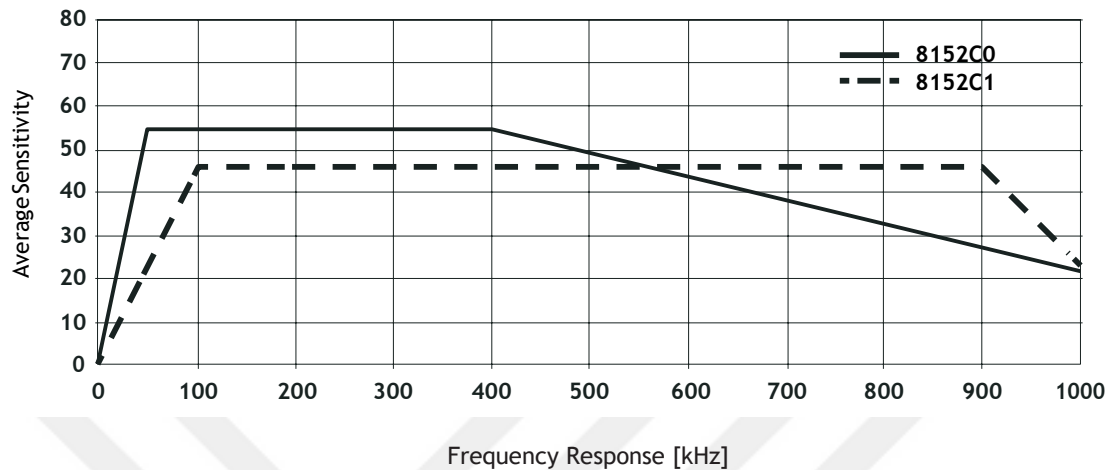


Fig. 1: Types 8152C0 and 8152C1 frequency response spectrum

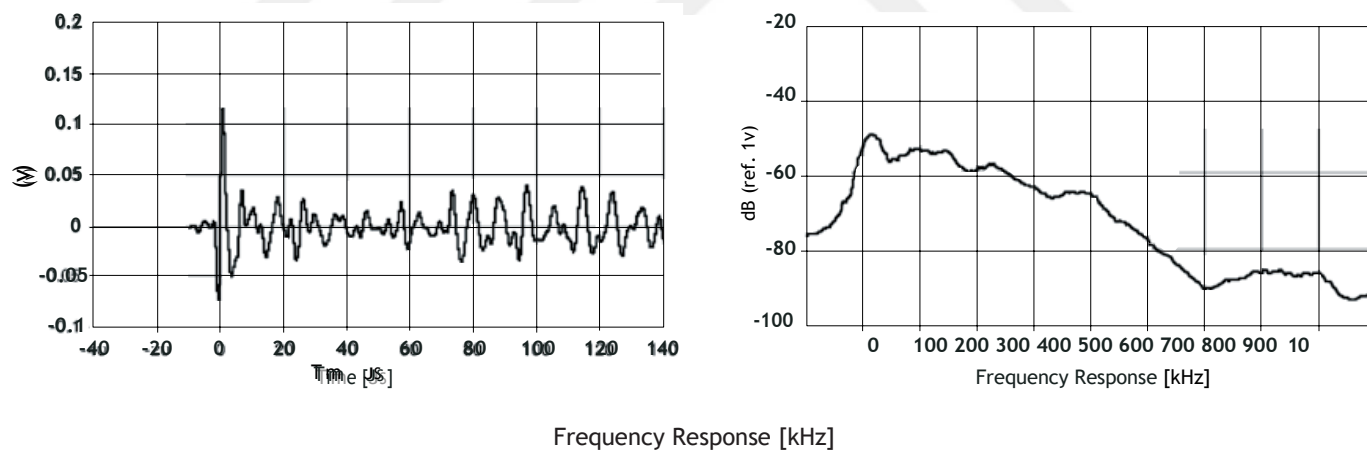


Fig. 2: AE-Sensor frequency response example in both time and frequency domain using AE real-time output from coupler

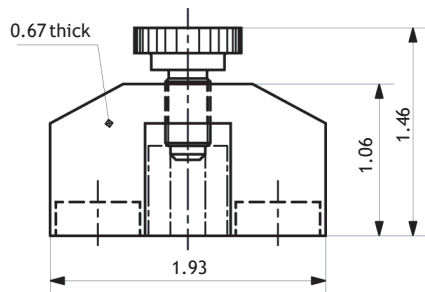
Application

The AE measuring chain is dedicated to industrial customers from Automotive, Petrochemical, Power Generation and Aerospace industries who need to monitor bearing based machinery, pressure vessels or flow turbulence with high frequency acoustic signatures. AE measuring can be used where vibration sensors cannot due to the high energy provided by the emitted elastic waves. It also allows for separation of a high vibration environment from fatigue and failure signals of interest. The measuring chain, for example, can be used for non-destructive testing or permanent online monitoring of continuous processes for conditional and preventive maintenance. The high temperature operation, up to 165 °C [330 °F], and ATEX certifications option allows usage in hazardous environments, such as processing industries application where explosive gas and dust is always present.

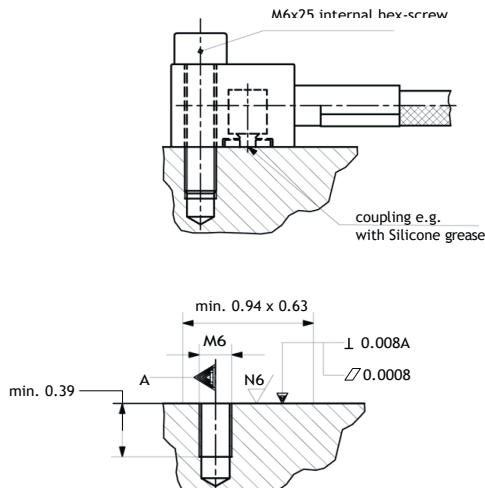
MOUNTING

The AE Sensor is simply mounted with a M6, 1/4" machine screw or a Type 8443B magnetic clamp onto the surface of the structure. A minimum tightening torque is sufficient for a reproducible and constant coupling. The smoother the mounting surface, the better the results. The use of a highly viscous grease (e.g. silicone grease) between coupling surfaces is recommended.

Type 8443B Magnetic Clamp



MOUNTING AE-Sensor



INCLUDED Accessories

- Mounting screw, 1/4-28 x 1"
- Mounting screw, M6x25 mm

Type

431-0500-001
431-0497-001

Optional Accessories

- Magnetic clamp Type 8443B
- Non-Intrinsically Safe Piezotron® AE Coupler 5125C0, 5125C1
- Intrinsically Safe Piezotron® AE Coupler (ATEX/CSA Zone 0) 5125C0x0x
- Intrinsically Safe Piezotron® AE Coupler (ATEX/CSA Zone 2) 5125C0x2x
- Intrinsically Safe Wideband Zener Barrier 5252A1

Please reference Type 5125C or 5252A1 data sheets for more information.

Ordering Key

Type 8152C

☐
☐
☐
☐
☐

Sensitivity

57 dBref 1 V(m/s)	0
48 dBref 1 V(m/s)	1

PFA Cable Length in m

yy = standard length 03, 05, 10, 15, 20 m	yy
---	----

Aarmor CONDUIT

No Conduit	00
yy = standard length 03, 05, 10, 15, 20 m (similar to PFA cable)	yy

Cable Termination

Pigtail or 7/16-20 conduit adaptor (for connection to Type 5125C...)	0
¼ NPT male conduit adaptor & pigtail cable termination (for connection to customer system)	1
M13x1-6 g conduit adaptor & pigtail cable termination (for connection to customer system)	2

Intrinsically Safe Certification

None	0
Zone 0 Certification in Europe & North America	1
Zone 2 Certification in Europe & North America	2