

UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI TAŞLAMA KOŞULLARI ALTINDA OLUŞAN TERMAL HASARIN
AKUSTİK EMİSYON İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah DALKIRAN

EKİM, 2022

UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI TAŞLAMA KOŞULLARI ALTINDA OLUŞAN TERMAL HASARIN
AKUSTİK EMİSYON İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah DALKIRAN

UŞAK, 2022

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.

Abdullah DALKIRAN



FARKLI TAŞLAMA KOŞULLARI ALTINDA OLUŞAN TERMAL HASARIN AKUSTİK EMİSYON İLE TESPİTİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Abdullah DALKIRAN

UŞAK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim,2022

ÖZET

Taşlama, diğer talaşlı imalat yöntemleri ile yeterli ölçüm hassasiyeti ve yüzey kalitesinin alınamadığı durumlarda kullanılan son imalat işlemidir. Bu tezde, taşlama esnasında oluşan yanık hasarının akustik emisyon (AE) faaliyetlerinin izlenmesiyle tespiti detaylandırılmaktadır. Yanık etkisi, üç farklı çalışma koşulu (yüksek kesme hızı, yüksek besleme miktarı ve daha az elmaslama miktarı) altında elde edilen akustik emisyon (AE) verilerinin, sürekli dalgacık dönüşümü (CWT) esaslı anlık enerji ve sinyal fazı bilgileri yardımıyla tespit edilmiştir. DeneySEL sonuçlar bütün çalışma koşulları için yanmış iş parçasından elde edilen AE sinyalinin anlık enerjisinin hasarsız durumda elde edilen anlık enerji değerine göre azaldığını göstermiştir. Benzer biçimde yanık durumdaki AE sinyalindeki faz sapması da sağlıklı durumdakine göre daha az değişim göstermiştir. Sürekli Dalgacık Dönüşümü sonuçları, Hilbert-Huang dönüşümü yöntemiyle kıyaslanmış ve sonuçların birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taşlama, akustik emisyon, sürekli dalgacık dönüşümü, skalogram,
Hilbert-Huang dönüşümü, kesme hızı, besleme, elmaslama etkisi.

Sayfa Adedi : 79

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. İsa YEşİLYURT



DETECTION OF THERMAL DAMAGE USING ACOUSTIC EMISSION UNDER DIFFERENT GRINDING CONDITIONS

(M.Sc. Thesis)

Abdullah DALKIRAN

**UŞAK UNIVERSITY
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE
Mechanical Engineering Department**

October, 2022

ABSTRACT

Grinding is the last manufacturing process used in cases where adequate measurement accuracy and surface quality cannot be obtained with other machining methods. This thesis presents the detection of burn damage during grinding using acoustic emission (AE) activities. The burn effect was determined using the instantaneous energy and signal phase derived from the continuous wavelet transform (CWT) under different grinding operations (e.g. a higher cutting speed, a larger infeed and a smaller amount of dressing depth). Experimental results showed that the instantaneous energy of the AE signal obtained from the burnt case exhibits a decrease compared to that of the undamaged condition. Similarly, the AE signal for the burnt yields a lesser amount of phase deviation compared to the intact case. Continuous Wavelet Transform results were compared with those of the Hilbert-Huang transform and found that both methods yield very similar results.

Keywords : Grinding, acoustic emission, continuous wavelet transform, Hilbert-Huang transform, cutting speed, infeed, dressing effect.

Number of pages: 79

Adviser : Prof. Dr. İsa YESİLYURT



TEŞEKKÜR

Öncelikle, benden gerek maddi gerekse manevi olarak bir an olsun desteğini esirgemeyen, bana doğruyu öğreten ve fikirlerimin yapılanmasını sağlayan hocam Sn. Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT'a teşekkürlerimi bir borç bilir, kendisine şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasındaki deneysel verilerin elde edilmesi ile ilgili yardımcı olan Orta Doğu Rulman Sanayi (ORS) Tic. A. Ş. şirketine ve de Araştırma-Geliştirme ve İmalat bölümlerine teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her konuda bana destek veren başta babam Sn. Prof. Dr. Sayın DALKIRAN başta olmak üzere her zaman yanımda olan aileme ve bugüne kadar üzerimde emeği olan tüm hocalarıma şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	16
1.1 Durum İzleme Faaliyetleri.....	16
1.2 Duruma Dayalı Bakım.....	17
1.2.1 Makinede Durum İzleme ve Teşhis (Ball, 1991).....	17
Durum İzleme Teknikleri.....	19
Taşlama Yanıklarının Potansiyel Nedenleri	21
1.3.1 Taşlama Yanıklarından Kaçınmak İçin İpuçları	21
1.3.2 Taşlama Yanığı Tespitinin Önemi	21
1.4 Literatür Taraması	22
1.4 Tezin Amacı	25
1.5 Tezin Organizasyonu	26
2. TAŞLAMA	28
2.1 Taşlama İşlemi.....	28
2.2 Taşlama Çeşitleri	29
2.3 Yüzey Pürüzlülüğü	30
2.4 Taşlamaya Etki Eden Faktörler	30
2.4.1 Aşındırıcı Taşın Sertliği	30
2.4.2 Tane Büyüklüğü.....	30
2.4.3 Tane Sertliği.....	31
2.4.4 Taşın Dokusu	31
2.4.5 Malzeme ve Şekli.....	31
2.4.6 Kesme Hızı.....	31
2.4.7 İş Parçasının Hızı	32
2.4.8 Talaş Derinliği	32
2.4.9 Temas Yüzeyi	33
2.4.10 Kesme Sıvısı	33
2.4.11 Isı Oluşumu	34
2.4.12 Elmaslama.....	35
3. AKUSTİK EMİSYON.....	37
3.1 Akustik Emisyon Tekniği	37
3.2 Akustik Emisyon'un Tarihçesi	38
3.3 Akustik Emisyon İzlemenin Prensipleri	39
3.4 Akustik Emisyon İzleme Sistemi	39
3.5 Akustik Emisyon Sinyalinin Özellikleri.....	41

3.5.1 Genlik.....	42
3.5.2 Yükselme Zamanı	42
3.5.3 Devam Süresi	42
3.5.4 Sayı	43
3.5.5 Marse.....	43
3.6 Akustik Emisyon Ekipmanları.....	43
4. AKUSTİK EMİSYONA DAYALI TERMAL HASAR TESPİTİ VE TEŞHİSİ	44
4.1 Zaman Alanı Analizi	44
4.2 Frekans Alanı Analizi	45
4.3 Birleşik Zaman-Frekans Yöntemleri	46
4.3.1 Sürekli Dalgacık Analizi (CWT)	46
4.3.2 Deneysel Mod Ayrışımı	55
4.3.3. Sayısal Doğrulama ve Performans Değerlendirmesi	57
5. DENEYSEL VERİLERİN İNCELENMESİ	61
5.1 Proses Parametrelerinin Tanımlanması ve Deney Düzenegi.....	61
5.2 Deney Sonuçları	63
5.2.1 Düzenli Taşlama	63
5.2.2 Yüksek Kesim Hızında Taşlama.....	65
5.2.3 Daha Büyük Besleme Hızında Taşlama	68
5.2.4 Daha Küçük İşleme Kesme Derinliğinde Taşlama	69
6. SONUÇLAR	73
6.1 Amaçlar	73
Sonuçlar	73
Öneriler.....	74
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 1.1. Bilinen bir izlenen parametre yaşam döngüsü.....	4
Şekil 1.2. Mühendislik izleme ve teşhisi için birleşik bir model.....	5
Şekil 2.1. Taşlama taşı ölçüleri.....	15
Şekil 2.2. Taş hızı ve talaş derinliğinin taşlama kuvvetleri üzerine etkisi.....	17
Şekil 2.3. Hassas taşlamada takım aşınmasının kaldırılan talaş miktarı ile ilişkisi.....	20
Şekil 3.1. Akustik emisyon oluşum ve algılanması şematiği.....	23
Şekil 3.2. Algılayıcıda elektronik sinyale dönüşmüş bir akustik emisyon sinyali.....	24
Şekil 3.3. Sönümlü basit sinüzoidal titreşim.....	24
Şekil 3.4. Akustik emisyon sinyali ve özellikleri.....	25
Şekil 4.1. Çeşitli ölçeklerde 1 Hz Morlet dalgacığının gerçek kısmı.....	31
Şekil 4.2. 1 Hz Morlet dalgacığının farklı ölçeklerde frekans alanı gösterimleri.....	31
Şekil 4.3. Dalgacık dönüşümünün zaman-frekans penceresi.....	33
Şekil 4.4. Simüle edilmiş sinyal ve onun skalogramı, HHT ve faz bilgisi.....	39
Şekil 4.5. Sürekli dalgacık dönüşümünün hızlı hesaplama prosedürü.....	40
Şekil 5.1. Dalma tipi CNC silindirik taşlama makinesi.....	41
Şekil 5.2. (a) Normal taşlama için ham akustik emisyon sinyali, (b) boşta kalma süresi için akustik emisyon sinyalinin büyütülmüş spektrumu, (c) kesme periyodu için akustik emisyon sinyalinin spektrumu, (d) filtrelenmiş akustik emisyon sinyalinin spektrumu, (e) 27 kHz civarında filtrelenmiş akustik emisyon sinyalinin yakınlaştırılmış spektrumu.....	43
Şekil 5.3. Düzenli taşlama için akustik emisyon sinyalinin (a) CWT (Sürekli Dalgacık Dönüşümü), (b) HHT, (c) tahmini anlık enerji, (d) ortalama frekans değişimi, (e) sinyal fazları, (f) kesme dönemleri için faz sapmaları.....	44
Şekil 5.4. Daha yüksek bir kesme hızı uygulandığında sağlıklı ve yanma koşulları için akustik emisyon sinyallerinin zaman, frekans, sürekli dalgacık dönüşümü (CWT) ve Hilbert-Huang dönüşümü (HHT).....	45
Şekil 5.5. Yüksek kesme hızı uygulandığında sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin skalogram ve HHT tabanlı anlık özellikleri.....	46

Şekil 5.6. (a) Yüksek kesme hızı uygulaması sonrası elde edilen sağlıklı ve (b) hasarlı parçaların yüzeyi.....	46
Şekil 5.7. Daha büyük besleme uygulaması esnasında sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin zaman, frekans, CWT ve HHT dönüşümleri.....	47
Şekil 5.8. Daha büyük besleme uygulandığında sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin skalogram ve HHT tabanlı anlık özellikleri.....	48
Şekil 5.9. Daha az elmaslama miktarı uygulandığından sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin zaman, frekans, CWT ve HHT dönüşümleri.....	49
Şekil 5.10. Daha küçük işleme kesme derinliği uygulandığında sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin skalogram ve amprik mod ayrışımı tabanlı anlık özellikleri.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simge	Açıklama
A	Genlik
a	Talaş açısı
D	Devam süresi
d	Talaş derinliği
E	Bağıl sinyal genliği
F	Frekans
N	Sayı
R	Yükselme zamanı
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri
$S(t, f)$	Zaman-frekans bölgesi enerji yoğunluğu fonksiyonu
T	Pencere genişliği
V	İş parçasının hızı
$X(f)$	Zaman bölgesi sinyalinin fourier dönüşümü
n	Frekans momenti sırası
rms	Root mean square (karelerin ortalamasının karekökü)
t	Zaman-pencere pozisyonu
$w(\tau)$	Pencere pozisyonu
$x(t)$	Zaman bölgesi sinyali
μV	Elektrik potansiyel farkı
ξ	Ksi
τ	Zaman değişkeni
φ	Kayma açısı

Simge**Açıklama** $\|\cdot\|$

Norm

 Δ_{wf}

Spektral pencerenin yarıçapı

 Δ_{wt}

Zaman penceresinin bant genişliği

 F_c

Crest faktörü

 K_r

Kurtosis

 $L^2(\mathfrak{R})$

Uzay

 $M_n(t)$

T zamandaki frekans momenti

 P_p

Tepe-tepe değeri

 T_t

Zamanlayıcı sıfırlama

 V_t

Eşik gerilimi

 f_s

Örnekleme frekansı

 $\bar{x}$

Zaman bölgesi sinyalinin ortalama değeri

*

Eşlenik

Kısaltma**Açıklama**

AE

Akustik emisyon

CWT

Continuous wavelet transform (sürekli dalgacık dönüşümü)

dB

Desibel

EEMD

Topluluk amprik mod ayrıştırması

EMD

Amprik mod ayrışımı

FFT

Fourier dönüşümü

Kısaltma	Açıklama
HRc	Rockwell sertlik
Hz	Frekans
IE	Instant energy (anlık enerji)
IPS	Anlık güç spektrumu
STFT	Short time Fourier transform (kısa zamanlı Fourier dönüşümü)
WV	Wigner-Ville dönüşümü



1. GİRİŞ

Bu bölümün amacı, bakım stratejilerine ve durum izleme tekniklerin kısa bir giriş yapmaktır. Bu temelden hareketle, taşlamada yanık hasarının izlenmesinde titreşim analizinin kullanılmasının nedenleri açıklanmış ve farklı titreşim tabanlı teknikler özetlenmiştir. Bu araştırma çalışmasının amaçları ve organizasyonu da bu bölümde verilmiştir.

1.1 Durum İzleme Faaliyetleri

Makineleri ve ekipmanlarının bakımı, endüstri için ve üretimin sürekliliği için oldukça ekonomik öneme sahiptir. Üretimin sürekliliği, yatırılan sermayenin korunması ve ekonomik operasyon, uzun vadede ancak hasarı tahmin etmek ve onarımlarının programlanması ile sağlanabilir. Bakım stratejileri üç ana grupta sınıflandırılabilir (Rao, 1995; Tschuschke, 1997; Neale ve Associates, 1979; Ball, 1991):

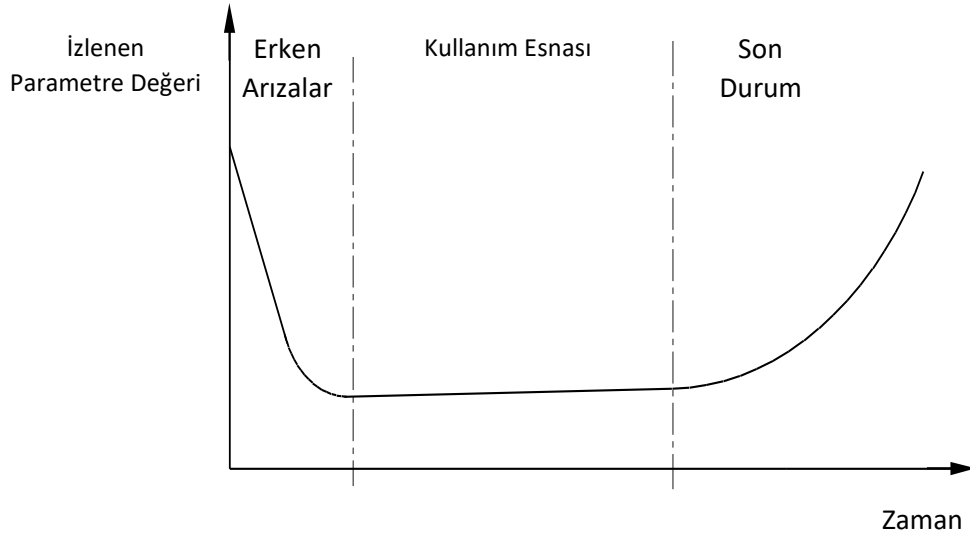
- i. Arıza Bakımı (Arıza Halinde): Bu, bir arıza oluşana kadar makinenin çalışmasına izin verilip ve arızayı önlemek için önceden belirlenmiş herhangi bir işlem yapılmaması ile arıza oluştuğundan sonra yapılan bakım stratejisidir. Bu bakım türü, yalnızca makinenin değiştirilmesi ucuzsa, parça değişimi kolay yapılıyor, tedarik esnasında sıkıntı yaşanmıyorsa ve arıza önemli başka bir hasar vermiyorsa düşünülebilir.
- ii. Düzenli Önleyici Bakım (Planlı Bakım): Bu bakım türü, makinenin çalışma koşullarını korumak için belirli zaman aralıklarında gerçekleştirilen bakım türüdür. Bakım zaman aralıkları, geçmiş bakım bilgilerinin istatistiksel analizine veya üreticinin vermiş olduğu verilere dayanabilir.
- iii. Duruma Dayalı Bakım (Öngörücü Bakım): Bu bakım türünde, makineler artık hasara dayalı bir politikaya göre değil, durumlarına göre bakım yapılır. Makine durumunu belirlemek, değerlendirmek ve tahmin etmek ve herhangi bir hatayı doğru bir şekilde teşhis etmek için titreşim, sıcaklık ve diğer proses parametreleri gibi düzenli olarak izlenebilen parametrelerden bilgi çıkarılır.

1.2 Duruma Dayalı Bakım

1.2.1 Makinede Durum İzleme ve Teşhis (Ball, 1991)

Kullanılan teknik ne olursa olsun, durum izlemenin altında yatan temel özellik, veri birikimidir. Yalnızca uygun bir süre boyunca yeterli veri toplanabildiğinde, normal durumu belirten parametrelerin değerleri belirlenebilir. Yani, normal durumda bir parametrenin değerini bilmeden, gelişmekte olan bir arızanın oluşturacağı anormal bir değeri tespit etmek mümkün değildir.

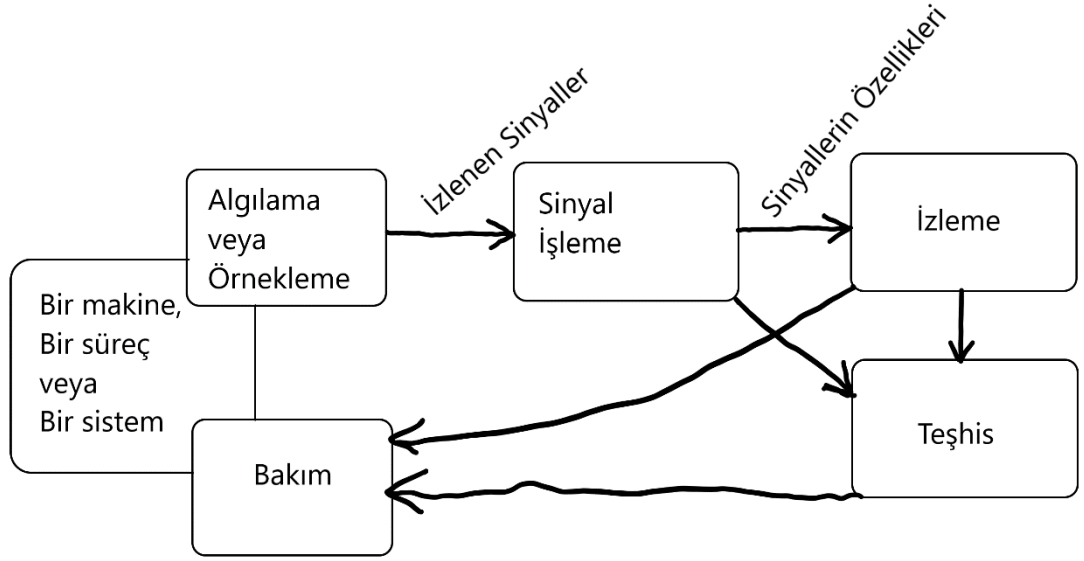
Bir makinenin ömrünün iki farklı kusur grubu tarafından kontrol edildiği düşünülebilir: Erken yaşam kusurları, Son yaşam kusurları. Erken yaşam kusurlarına yetersiz boşluklar, eşleşen yüzeylerdeki pürüzlülük ve işleme, montajdan kalan kalıntılar gibi örnekler verilebilir. Bu tarz kusurlar zamanla kendilerini temizleme eğilimindedir ve çalışma periyodunu oluşturur. Bu süre boyunca izlenen değişken zamanla azalacaktır. Bu değişkenlere örnek olarak şunlar verilebilir: Yatak sıcaklığı, Manyetik tapanın üzerinde birikintilerin birikme hızı gibi. Erken yaşam kusurlarından dolayı yaşanabilecek arızaların olasılığı başlangıçta yüksektir. Bundan dolayı, arızalar alıştırma sırasında giderilebileceğinden parametreler bozulmadan dikkatlice izlenmelidir. Nihai ömür kusurları ise şunlar ve benzerleridir: Aşırı yük, gevşeklik, aşınma, yorulma. Bu tarz kusurlar izlenen parametre değerlerinde bir artışla birlikte zamanla artan arıza olasılığına neden olur. Genel olarak, izlenen bir parametre tutarlı bir şekilde değişiklik gösterecektir. Yani ömrün ilk zamanında azalma, normal yaşam esnasında sabit kalma ya da yavaş bir şekilde yükselme ve son zamanlarında da artış şeklinde bir değişikliğe şahit olunacaktır. Bu durum şekil 1.1 de temsil edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.1. Bilinen bir izlenen parametre yaşam döngüsü

Bir makineden gelen bilgiler, ya periyodik izleme olarak bilinen düzenli aralıklarla yapılan ölçümlerle ya da kablolu olarak bilinen sürekli izlemeyle çıkarılabilir. Taşınabilir veri toplayıcılar tarafından alınan ölçümler daha sonra sisteme yüklenir, arşivlenir ve her ölçüm turunun sonunda karşılaştırmalı olarak değerlendirmesi yapılır. Bu yöntem, durumu hayli uzun bir süre boyunca kötüleşen düşük ve orta kritikteki makineler için uygun maliyetli bir çözüm olabilir. Makinelerin kritiklik seviyesine göre performansını maksimum seviyede tutabilmek için kısa izleme aralığı seçilebilir ve bu gibi durumlarda kablolu izleme olarak adlandırılan sürekli izleme kullanılmalıdır.

Genelde makineler, süreçler ve sistemler arasında farklılık olmasına rağmen, mühendislik izleme ve tanılamada şekil 1.2'deki gibi bir yöntem izlenmektedir.



Şekil 1.2. Mühendislik izleme ve teşhisi için birleşik bir model

Şekilde de gösterildiği gibi bir sistemin sağlık durumu yani sistemin durumu, sistemin girişi ve duyuşal sinyallerde, sistemin gürültüsünden de etkilenen çıkışları olarak düşünülebilir (Leondes, 2000).

Durum İzleme Teknikleri

Makinelerdeki arızaların varlığını tespit etmek için bir dizi yöntem mevcut olmasına rağmen, izleme teknikleri altı kategoride gruplandırılmaktadır.

- **Hisse Dayalı Yöntemler**

Bu yöntemler, izlemeye yardımcı olmak için duyuşal geliştirme cihazlarını da içerebilen temel durum izleme teknikleridir. (Rao, 1995; Ball, 1991; Cempel 1991).

- **Performans İzleme**

Bu tür durum izleme tekniği ile, herhangi bir bozulmayı belirlemek için makinenin performansını etkileyen parametreler izlenir. Bu parametrelere örnek olarak şunlar verilebilir: Kuvvet, Hız, Tork vb. İzlenen parametrelerden herhangi bir önemli sapma, makinedeki arızanın göstergesi olarak kabul edilir (Rao, 1995).

- **Sıcaklık İzleme**

Bu teknik, bir işlemin çalışma sıcaklığını kontrol etmek veya herhangi bir arızadan kaynaklanan ısı üretim kaynaklarını belirlemek için kullanılır. Kontrol için termometreler, termografik boyalar ve termal kameralar gibi çeşitli termal sensörler kullanılır (Rao, 1995; Neale ve Associates, 1979; Ball, 1991; Cempel, 1991)

- **Aşınma Parçacıklarını İzleme**

İki yüzey yeterli bir normal kuvvetle birbirine karşı hareket ettirilirse aşınma meydana gelir. Bununla birlikte, yeterli bir yağlamanın varlığı, temiz bir çalışma ortamı sağlandığında aşınmanın oluşumu engellenebilir. Aşınma başlarsa temas eden yüzeylerden ayrılan parçacıklar yağı kirletir ve yağda izleme ile aşınma kalıntıları tespit edilebilir. Yağın durumunu izleme, demirli kalıntı birikiminin kanıtını sağlayan manyetik tapaların basit kullanımından; kalıntı bileşiminin, birikim hızının ve parçacık şeklinin hasarlı bir bileşeni ve arıza modunu belirleyebildiği yağın spektrometrik ve ferrografik analizine kadar uzanır (Rao, 1995; Neale ve Associates, 1979; Ball, 1991).

- **Titreşim İzleme**

Tüm durum izleme teknikleri arasında, makine durum izlemede en fazla bilgiyi içeren ve bundan dolayı da en yaygın kullanılan teknik titreşim izleme tekniğidir (Rao, 1995; Cempel, 1991; Lyon 1987; Randal, 1987). Makine çalışması, genellikle makinenin bir bölümünden diğerine iletilen titreşimi üreten kuvvetlerin ve hareketlerin üretilmesini içerir. Bir arıza meydana geldiğinde, izlenen titreşim özellikleri değişir. Titreşim izleme birçok çeşit arızayı tespit için kullanılır. Bunlara örnek olarak şunlar verilebilir: Hatalı rulmanlar/dişliler, uygun olmayan boşluklar, bükülmüş veya eksantrik mil, yanlış hizalama vb. Diğer izleme tekniklerinden farklı olarak, titreşim izleme, rulman arızalarını tespit etmek ve ayırt etmek için çok uygun bir tekniktir.

- **Akustik Emisyon İzleme**

Mekanik bir bileşen yapısal olarak hasar gördüğünde, akustik emisyon oluşur. Ses sinyalinin izleyerek veya sinyal spektrumundaki değişiklikleri analiz ederek bazı hatalar tanımlanabilir. Akustik emisyon, sinyal-gürültü oranının düşük olması ve bazen gürültü seviyesindeki artışın yorumlanmasının zor olmasından dolayı çok tercih edilmez ancak biz bu araştırma çalışmamızda rulmanda oluşan yanık hasarının analizinde akustik emisyon sinyalleri ile çalıştık.

Taşlama Yanıklarının Potansiyel Nedenleri

Taşlama yanığı, tipik olarak taşlama işleminin karmaşıklığına bağlı olarak çok çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilir. Taşlama yanığı, tek bir faktörden veya aşağıdaki gibi faktörlerin kombinasyonundan kaynaklanabilir.

- Soğutma uçlarının yanlış şekli veya düzeninden kaynaklı zayıf soğutma
- Yanlış soğutma sıvısı basıncı veya miktarı
- Soğutma sıvısının özelliği
- Besleme hızları
- Çalışma koşulları
- Taşlama taşı veya iş parçasının geometrisi

1.3.1 Taşlama Yanıklarından Kaçınmak İçin İpuçları

Soğutma sıvısını değiştirmeden veya bileşenlerin geometrisini değiştirmeden önce, basit ayarlar kontrol edilmeli, düzeltilemediği takdirde soğutma sıvısı ve bileşen geometrisi değişimi düşünölmelidir.

- Soğutma sıvısı memesinin (nozzle) şekli, kesiti ve konumu, taşlama boşluğuna ve taşlama çarkındaki gözeneklere yeterli ve doğru soğutma sıvısı akışı sağlamada kritik faktörlerdir. Nozuldaki soğutma sıvısı çıkış hızı, soğutma sıvısı jetinin çark tarafından saptırılmasını önlemek için taşlama çarkının çevresel hızına yakın olmalıdır.
- Taşlama taşı yüzeyinin talaş ve erimiş malzemeden temizlenmesi, taşı keskin tutar ve taşlama işleminde istenmeyen sürtünmeyi önler. Bu, kesici taş üzerine yüksek basınçta soğutma sıvısı püskürtmek için kesici taş yüzeyine dik olarak yerleştirilmiş temizleme memeleri ile sağlanabilir.

1.3.2 Taşlama Yanığı Tespitinin Önemi

Taşlanmış bir iş parçasında yüzey kalitesi istenilen değerde olmasına rağmen, yüzeyde oluşan ve tespit edilemeyen termal hasarlar kullanım esnasında ciddi sorunlara yol açabilir. Taşlama yanıkları malzemenin mikro yapısında değişikliklere neden olur yorulma ömrünü kısaltır ve dinamik olarak yüklenen bileşenlerde ciddi arızalara neden olur. Bunlara ek olarak, tespit edilemeyen termal hasarlar ürünlerin yeniden işlenmesi veya hurdaya çıkması gibi ekonomik kayıplara neden olmakla beraber, ürünün marka değerinin zedelenmesine sebep olur.

1.4 Literatür Taraması

Taşlama işleminin durumunu ortaya çıkarmak için farklı durum izleme yöntemleri ve teknikleri kullanılmıştır. Bunlar temel olarak teorik ve deneysel çalışmalar, akustik emisyon yada ultrasonik yaklaşımlarla yapılan çalışmalar, titreşim ve gürültü analizi yardımı ile yapılan çalışmalar olarak sınıflandırılabilir.

Yang (Yang ve ark., 2014) makalesinde taşlamada yüzey yanması için izleme yaklaşımlarına odaklanmış ve bu amaçla akustik emisyon (AE) ve topluluk amprik mod ayrıştırmasına (EEMD) dayalı tahribatsız yanık algılama yöntemi önermiştir. Çalışmaları için taşlama yanığını taklit yöntemi olarak lazer ışınlarıyla yapay yanık üretmiştir. Çalışmaların sonucunda yanık hasarının 150 kHz ile 400 kHz frekans aralığında sinyaller oluşturduğu tespit edilmiştir.

Guo, Li ve diğerleri (Guo ve ark., 2019), makalede taşlama sinyallerinin işlenmesi, sinyal özelliklerinin çıkarılması, optimum özellik alt kümesinin seçimi ve taşlama yanığının sınıflandırılmasından oluşan akıllı bir taşlama yanığı algılama sistemi sunmuşlardır. Öncelikle fiziksel sinyalleri bir dinamometre, ivmeölçer ve akustik emisyon sensörü yardımıyla toplamışlar ardından dalgacık paketi ayrıştırması ve topluluk amprik mod ayrıştırmasından yapmışlardır. Böylelikle zaman alanında ve frekans alanında büyük miktarda ön özellik çıkarmışlardır. Özellik boşluğunun boyutluluğunu azaltmak ve özelliğin taşlama yanmasıyla ilgisini artırmak için filtre ve sarma yöntemini birleştiren iki aşamalı bir özellik seçim stratejisi uygulamışlardır. Çalışmaların sonucunda iki aşamalı özellik seçim yönteminin model için optimum özellik alt kümesini sağlayabildiğini ve yığınlı seyrek otomatik kodlayıcı modelinin tüm karşılaştırmalı modeller arasında en az özellik ile taşlama yanıklarının en iyi eğitim ve test sınıflandırma oranını elde ettiğini tespit etmişlerdir.

Sackmann, Heinzl ve diğerleri (Sackmann ve ark., 2020), çalışmalarında taşlama yanıklarının tespitini daha da iyileştirmek için yüzey bütünlüğü üzerindeki sürece özgü etkilerin tahribatsız karakterizasyonu için Barkhausen gürültü ölçümünü kullanmışlardır. Makale sonucunda Barkhausen gürültüsünün çok parametrelili taşlama yanık analizinin güvenilirliğinde bir iyileşme sağladığı tespit edilmiştir.

Teixeira, Rego ve diğerkleri (Teixeira ve ark., 2019), makalede, faz dönüşümlü hasarların yanı sıra artık gerilme durumundaki modifikasyonları kapsayan Hall yöntemi ile üç farklı hasar derecesi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, kalıcı indüksiyonda yanık derecesi ile doğrudan ilişkili bir değışiklik tespit etmişlerdir.

Yang, Yu ve diğerkleri (Yang ve ark., 2014), makalede, yanık taşlama özelliğı ekstraksiyonu için motor akım sensörleri, voltaj sensörleri, hızlandırıcı ve akustik emisyon sensörünü kullanan bir sensör sistemi sunmuşlardır. Yeni yöntem olan Hilbert-Huang dönüşümü (HHT), ham akustik emisyon ve hızlandırıcı sinyallerini sindirmek ve taşlamanın yanık özelliklerini çıkarmak için bir sinyal işleme aracı olarak uygulamışlardır. Hesaplamayı basitleştirmek için IMF bileşenlerini ortalama enerji yüzdesini kullanan bir filtreleme kriteri önermişlerdir. Sonuçlar, taşlama yanığı tespitinde HHT'nin akustik emisyon sinyallerine uygulanmasının büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, EMD yönteminin fiziksel anlamını doğrulayan içsel mod işlevi (IMF) aracılığıyla tekerler dönüş hızı başarılı bir şekilde ortaya çıkarılabilir.

Mokbel ve Maksoud (Mokbel ve Maksoud, 2000) akustik emisyon tekniğini kullanarak elmaş 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 genliğı hem de yüzey pürüzlülüğündeki değışikliklerin, 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.

Hübner, Duarte ve diğerkleri (Hübner ve ark., 2020) taşlama yanmasını izlemek için akustik emisyon sinyallerinin zaman-frekans görüntülerine ve evrişimli sinir ağlarına dayanan yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Deneysel verileri farklı kesme koşulları altında N2711 kalite çelik üzerinde yapılan taşlama testlerinden elde edilmiştir. Kısa süreli Fourier dönüşümü, sürekli dalgacık dönüşümü ve Hilbert-Huang dönüşümü dahil olmak üzere üç farklı zaman frekansı analizi, CNN modelleri için girdi görevi gören görüntüleri oluşturmak için kullanıldı.

Sonuçta taşlama yanıklarının izlenmesi için geleneksel makine öğrenme tekniklerinin kullanıldığı literatürde bildirilenler dikkate alındığında daha üstün olduğu tespit edilmiştir.

Mičietová, Neslušan ve diğerleri (Mičietová ve ark., 2017), barkhausen gürültüsüne dayalı tahribatsız mikro manyetik teknikle taşlama sonrası yüzey hasarının tespitini yapmışlardır. Çalışmalarında, yüksek ve düşük frekans tekniklerini ve yüzey yanığını, ısıdan etkilenen bölgenin kalınlığını tespit etme hassasiyetlerini karşılaştırmışlardır. Araştırmaları sonucu, düşük frekans tekniğinin, taşlama işlemlerinden sonra elde edilen ısıdan etkilenen bölgelerin nispeten yüksek kalınlığı nedeniyle yüzey yanmasını yüksek frekans tekniğine göre daha net bir şekilde tespit edebildiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, mikro manyetik testin, barkhausen gürültü döngüsünün tepe değeri gibi parametrelerin işlenmiş yüzeyin termal yükü ile ilişkili olduğu çok parametrik bir teknik olarak ek yönleri tartışmışlardır.

Opoku (Opoku ve Kevin, 2005), manyetik barkhausen gürültüsünün (MBN), taşlama sırasında herhangi bir mikroyapısal değişiklik olmadığında taşlama yanığının başlangıcını tespit için hızlı bir tahribatsız teknik üzerine çalışma yapmıştır. Çalışması sonucunda MBN tekniğinin, taşlama yanıklarının meydana gelmeden önce tespit edilmesinde uygulanması, atıkların sınırlandırılabilmesi ve bileşenlerin yüzey bütünlüğünden ödün vermeden taşlama işlemlerinin optimize edilebileceğini tespit etmiştir.

Demir ve Güllü (Demir ve Güllü, 2008) 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 sonrasında, artan taş sertliği ile yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli artışlar olduğu gözlemlenmiş fakat taşlama kuvvetlerinde belirgin bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

Lui, Chen vd. (Liu ve ark., 2006) lazer ısımasının neden olduğu termal genleşmenin, taşlama termal davranışını simüle etmek için tasarlanan akustik emisyon özelliklerini araştırmışlardır. Dalgacık paket dönüşümleri kullanılarak taşlama yanma sıcaklığındaki akustik emisyon özellikleri, diğer mekanik girişim faktörleri olmadan başarılı bir şekilde çıkarılmıştır.

Inasaki (Inasaki, 1998) 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 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.

Viera, Paulo vd. (Viera ve ark, 2019) piezoelektrik diyafram ve akustik emisyon sensörleri kullanarak yüzey taşlama işlemi sırasında seramik bileşenlerin yüzey kalitesini izlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek için kısa zamanlı fourier dönüşümüne dayanan bir değerlendirme yapılmıştır.

Kwak ve Song (Kwak ve Song, 2001) 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 yöntemini geliştirmişlerdir. Oynak titreme ve taşlama yanığı gibi taşlama yanığı gibi taşlama sorunları meydana geldiğinde, RMS'in ve hızlı fourier dönüşümünün tepe noktası, standart sapma ve hasar eşiğinin dışındaki sayım için akustik emisyon parametrelerinin değerleri doğrusal olmayan şekilde arttığı tespit edilmiştir. İlerleme hızları ne kadar çok uygulanırsa akustik emisyon parametrelerinin seviyeleri o kadar yüksek olduğu belirtilmiştir.

1.4 Tezin Amacı

Genellikle iş parçalarının yüzeyi insan gözüne hatta dokunmasına bile pürüzsüz gelebilir. Fakat mikroskop altında yüzey incelendiğinde yüzeyin yapısı ve üretim süreçlerinin meydana getirdiği karmaşık bir yapı olduğu görülecektir. Bu yapıya literatürde “doku” olarak adlandırılmaktadır. Doku, bir ürünün performansını, kalitesini ve hizmet ömrünü etkileyebilmektedir (Okuyama ve ark., 1993). Bundan dolayı ticari, teknolojik birçok nedenden dolayı yüzey pürüzlülüğü önemlidir.

Hassas taşlamada karşılaşılan en ciddi sorunlardan bazıları taşlama esnasında meydana gelen ısıdan kaynaklanmaktadır. Taşlanmış yüzeydeki ısı hasarı, taşlama yanması ve termal çatlaklar olarak görülmektedir. Taşlama esnasında hızlı ısıtma ve soğutma deliği nedeniyle bitmiş yüzeyde istenmeyen artık çekme gerilmeleri gelişebilir. Bu problemin çözümüne mantıklı bir yaklaşım, taşlama ısısı ve sıcaklıklarının temelden anlaşılması ile yapılabilir.

Literatür araştırması sırasında genelde taşlama sonrasında iş parçası yüzey kalitesinin durumunu belirlemek için kısa zamanlı fourier dönüşümü kullanımına rastlanılmaktadır (Rao, 1995; Tschuschke, 1997), ancak taşlama esnasında farklı çalışma koşullarında meydana gelen akustik emisyon sinyallerinin dalgacık dönüşümü yardımıyla incelenmesine rastlanılmamıştır. Bu çalışmada akustik emisyon faaliyetleri dikkate alınarak, farklı taşlama koşulları altında malzemede meydana gelen termal hasarların dalgacık dönüşümü yardımıyla incelenmesi sunulmaktadır. Bu amaca esas teşkil etmek amacıyla öncelikle:

- Literatürde akustik emisyon ve titreşim esaslı yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalarının özetlenmesi
- Akustik emisyon yönteminin açıklanması
- Analiz esnasında kullanılan zaman, frekans bölgesi incelemeleri ve dalgacık dönüşümü hakkında teorik bilgilerin verilmesi
- DeneySEL verilerin incelenmesi ve sonuçlarının açıklanması

aşamaları gerçekleştirilerek termal hasar tespit edilmiştir.

1.5 Tezin Organizasyonu

Bu çalışmada hedeflenen sonuçlara ulaşabilmek için yapılan çalışmalar ve kullanılan çalışmalar aşağıda verilmiştir:

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 yöntem çeşitleri hakkında detaylı açıklamalar verilmektedir.

Bölüm 3: Akustik emisyon tekniğı tarihçesi ve izleme prensipleri ile beraber, akustik emisyon sinyallerinin özellikleri hakkında bilgiler verilmektedir.

Bölüm 4: Farklı taşlama koşullarında oluşan akustik emisyon sinyallerinin incelenmesi için kullanılacak yöntemler ve teorik esaslar detaylı bir şekilde verilmektedir.

Bölüm 5: Farklı taşlama koşullarında meydana gelen akustik emisyon sinyallerinin deneysel olarak incelenmesi verilmektedir.

Bölüm 6: Bu çalışmaya ait genel sonuçlar verilmektedir.



2. TAŞLAMA

Bu bölüm talaşlı imalatta temel şekillendirme yöntemlerinden biri olan taşlama işleminin tanımını ve tekniklerini açıklamaktadır. Taşlama terimleri de bu bölümde açıklanmaktadır.

2.1 Taşlama İşlemi

Taşlama işlemi, aşındırıcı bir malzemeden yapılmış olan ve kesme kısımlarının düzenli bir geometrik yapısı olmayan bir takım ile talaş kaldırma işlemidir. Taşlamada kesme denilen işlem taş denilen takımın dönme hareketi ile meydana gelir. İlerleme işlemi ise parça ya da takım tarafından yapılır. Taşlama işlemi; genellikle tornalama, planyalama, vargelleme ve frezeleme gibi işlemlerden sonra ölçünün istenilen değerde olması ve yüzey kalitesini iyileştirmek için uygulanan imalat yöntemlerinin son işlemidir. Hassas taşlama şartlarında $2\mu m$ ölçü tamlığı elde etmek mümkündür (Rao, 1995). Taşlama işlemi, işin biçimine ve taşla işin bağlı hareketine göre adlandırılır. Buna göre taşlama çeşitleri aşağıdaki gibidir:

- Silindirik taşlama
 - o Dış yüzey
 - o İç yüzey
- Konik taşlama
- Krank taşlama
- Puntasız taşlama
 - o İç yüzey
 - o Dış yüzey
- Düzlem taşlama
 - o Yatay milli
 - o Düşey milli
- Dalma taşlama
 - o İç yüzey
 - o Dış yüzey
- Profil taşlama
 - o Özel profiller
 - o Vida
 - o Dişli çark
- Elektrokimyasal taşlama

Tařlama iřlemi, iř parçası yzeylerinde yksek olcu hassasiyeti ve dűk yzey prűzlűlűgű elde etmemizi saęladıęından dolayı endűstride bűyűk ۆnem tařır. Tařlama iřleminin endűstriyel ۆretimde saęladıęı ۆstűnlűkler ařaęıdaki gibidir:

- Yksek olcu tamlığı
- ۆstűn yzey kalitesi
- Sertleştirilmiş parçaların işlenebilmesi
- Birlikte çalışacak parçaların alıştırılması kolaylığı
- Diğer takım tezgahlarında parçaların işlenebilmesi
- ۆretimde serilik
- Alet ve takım bileme vb.

Tařlama iřlemini oluřturan ana bileřenler bařlıca kesici tař, iř parçasıdır. Kesici tař, sert ařındırıcı parçacıkların organik veya inorganik birleřtirme elemanlarıyla fırınlanması ve bu yolla birleřtirilmesiyle elde edilir. Kesici tařların, tařlama tezgahında yksek devirlerde dűndűrűlűk yavař bir řekilde iř parçası yzeyine temas etmesi saęlanır. Bu temas ettięi nokta 0 noktası olarak kabul edilir. Kullanılan tařın ۆzellikleri ve iř parçasının malzeme ۆzellikleri gűz ۆnűnde bulundurularak dűřűk derinliklerde talař verilerek hassas olcuye gűre yzey iyileřtirmesi yapılır.

Tařlama işleminde, taşı kendi ekseni etrafında dairesel dűnme hareketi yapar ve aynı zamanda verilen talaş derinliği kadar iř parçasına dalar. Aynı anda iř parçası da taşlama taşına doğru ilerleyerek kesmeyi kolaylaştırır.

2.2 Taşlama eşitleri

İmalat esnasında kullanılan tařlama iřlemleri dűzlem yzey tařlama ve silindirik yzey tařlama olmak ۆzere 2 ana gruba ayrılır. Dűzlem yzeyi tařlama iřleminde, kendi ekseni etrafında dűnen kesici tař yardımıyla iř parçası yzeyinden dűzlemsel olarak talař kaldırma iřlemidir. Buna karřılık silindirik tařlama iřlemi, dairesel kesitli iř parçaları yzeyinden kesici tař yardımıyla talař kaldırma operasyonudur.

2.3 Yüzey Pürüzlülüğü

Genellikle iş parçalarının yüzeyi insan gözüne hatta dokunmasına bile pürüzsüz gelebilir. Fakat mikroskop altında yüzey incelendiğinde yüzeyin yapısı ve üretim süreçlerinin meydana getirdiği karmaşık bir yapı olduğu görülecektir. Bu yapı literatürde “doku” olarak adlandırılmaktadır. Bu yapı, doku, bir ürünün performansını, kalitesini ve hizmet ömrünü etkileyebilmektedir (Tschuschke, 1997). Bundan dolayı ve ticari, teknolojik birçok nedenden dolayı yüzey pürüzlülüğü önemlidir.

2.4 Taşlamaya Etki Eden Faktörler

İş parçasının istenen yüzey kalitesi ve ölçü tamlığında üretilmesini sağlamak taşlamanın temel amacıdır. Taşlama işleminin son proses olması veya daha sonraki proseslere iyi bir geçiş sağlaması bakımından taşlama işlem parametrelerinin doğru belirlenmesi gerekmektedir.

2.4.1 Aşındırıcı Taşın Sertliği

Aşındırıcı malzemelerin en önemli özellikleri sertlikleridir. H harfi ile O harfi dahil arasındaki harflerle sertlik ifade edilir ve H harfinden O harfine doğru sertlik artar. Sertlik derecesi, taşlama taşının kesme kalitesinin belirleyen en önemli unsurlardan biridir. Bir diğer önemli unsur ise kesme sırasında dayanabileceği sıcaklık derecesidir.

<u>9A</u>	<u>60</u>	<u>2</u>	<u>K</u>	<u>8</u>	<u>VGY</u>
Aşındırıcı Tane	Kum Sayısı	Kombi nasyon	Sertlik	Boşluk Savısı	Bağlayıcı

Şekil 2.1. Taşlama taşı ölçüleri

2.4.2 Tane Büyüklüğü

Taşlama taşlarını oluşturan değişik ölçü ve geometrik şekildeki aşındırıcı kristal yapılar tanelerdir. Bu tanelerin boyutlarını belirleyen değerler ölçülerdir. Taneler çok kaba, kaba, orta, ince, çok ince ve toz olarak literatürde genel olarak sınıflandırılmaktadır.

2.4.3 Tane Sertliği

Tane sertliği, taşlama taşlarını oluşturan tanelerin taş üzerinden sklebilme özelliğine ya da taneleri birleştiren birleştirme maddesinin taneleri bırakıp bırakmamasına göre tanelerin birbirine olan bağlantı kuvvetine denir. Taşlama taşı kesme işlemine yapması esnasında taşı oluşturan aşındırıcı taneler birleştirme maddesi aracılığıyla kolayca bırakılıyorsa ya da aşındırıcı taneler yerini kolayca terk edebiliyorsa bu yumuşak taşlama taşıdır. Bunun aksi durumda ise sert taşlama taşıdır.

2.4.4 Taşın Dokusu

Taşlama taşlarını oluşturan tanelerin birbirlerine olan mesafesine taşın dokusu ya da yapısı denir. Tanelerin birleştirme maddeleriyle birbirine bağlanması taşın dokusu göz önüne alınarak standart bir hale getirilmiştir. Taşlama taşları gözenekli bir dokuya sahiptir. Taş, iri gözenekli ise doku seyrek, küçük gözenekli ise doku sık bir yapıdadır.

2.4.5 Malzeme ve şekli

Malzemenin türü, iş parçasının şekli hem taşlama taşı seçimi hem de dakikada kaldırılan talaş hacmi üzerinde etkilidir.

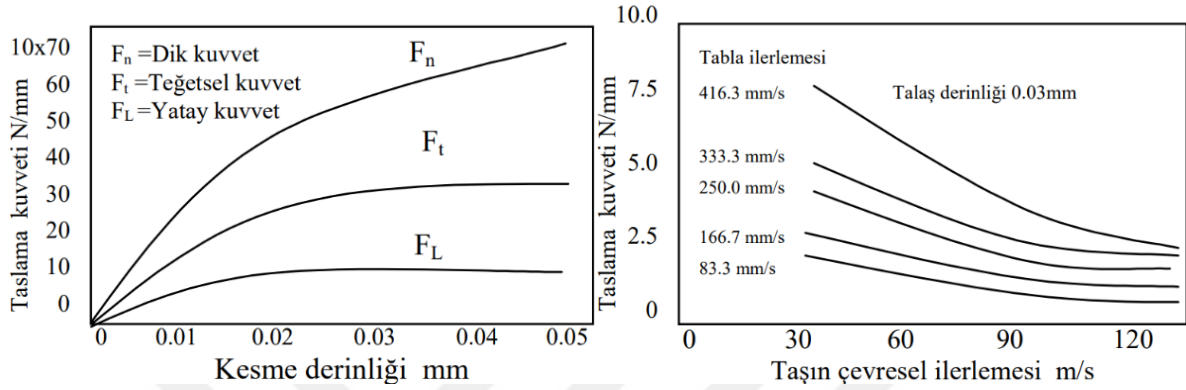
2.4.6 Kesme Hızı

Taşlama işlemine yapan taşlama taşının kesme yüzeyi üzerindeki bir noktanın saniyede metre cinsinden almış olduğu yola kesme hızı denmektedir.

Taşlama taşının normal kesme yapabilmesi için uygun çevresel hızda çalışması gerekmektedir. Bundan dolayı pek çok taşlama tezgahı motorları çift devirli ya da tek devirli olarak üretilirler. Tek devirli motorlarda, motor ve taş mili kasnakları kademeli olarak yapılır. Bu da taş çapı kldkce kademeli kasnaklar kullanarak taşlama taşının istenilen çevresel hız değerleri arasında tutulmasına imkan sağlar. Motor miline doğrudan bağlı olan zımpara taşları genellikle motorun farklı devirlerde çalıştırılması suretiyle çevresel hızları sabit tutulur.

Taşlama kuvvetleri ile taş hızı ve talaş derinliği arasındaki durum ilişkisi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Sabit tabla hızında, taşın yüksek hızlarında düşük taşlama kuvveti elde

edilmiştir. Bu olayın yüksek talaş kaldırma miktarlarında daha belirgin olduğu görülmüştür. Yani talaş miktarı ile taşlama kuvveti lineer olarak artmamaktadır. Yui ve Soo Lee yaptıkları deney sırasında deney malzemesi olarak SKD-11 (Japon Standardı) 58 HRC ve 85x40x20 boyutlarında iş parçası kullanmışlardır (Srihari ve Lal, 1996).



Şekil 2.2. Taş hızı ve talaş derinliğinin taşlama kuvvetleri üzerine etkisi (Srihari ve Lal, 1996)

Taşlama taşlarının çalışabileceği maksimum devirleri gösteren ibarelere kesinlikle uyulması gerekir. Aksi takdirde taşın kırılıp patlamasına neden olur.

2.4.7 İş Parçasının Hızı

Normal bir kesme için taşlama 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 taşta kendiliğinden bir bilenme etkisi elde edilir. İş hızı, taş hızına göre dengesiz bir şekilde artırıldığında taşın dinamik sertliği azalacağından (yumuşak etki yapacağından), taş daha çabuk aşınır.

2.4.8 Talaş Derinliği

Kesiciye bir defada verilen iş dalma miktarına talaş derinliği denir. Taş ve iş parçasının hızı doğru seçilmiş, taşın tane büyüklüğü ve sertliği de uygun ise, verilecek talaş derinliği, tezgahın 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. Bundan dolayı talaş derinliği fazla olan işlemlerde daha büyük kuvvetler ve daha büyük ısı ortaya çıkmaktadır.

2.4.9 Temas Yüzeyi

Taşılama taşının talaş kaldırarak almış olduğu yol, taşılama taşının ve iş parçasının yüzeyini oluşturur. Temas yüzeyi, iş parçasının ve taşın çapına göre değişiklik gösterir. İş parçasının çapı büyüdükçe temas yüzeyi büyür ve yüzeyden daha uzun talaşlar kalkar. İnce ve uzun talaş, kısa ve kalın talaşa göre daha az bir kesme basıncı ister. Bundan dolayı büyük çaplı parçalar uzun talaş kaldırarak taşlanırsa, taş sertleştirilmiş gibi etki eder ve geç ısınır.

Taşılama taşıyla iş parçasının buluştuğu noktada talaş kaldırma işlemi olur ve temas bölgesi boyunca iş parçasına ısı girişi olur. Bu esnada soğutma sıvısı ile soğutma yapılmalıdır. Aksi takdirde iş parçası üzerinde taşılama yanıkları oluşabilir.

Temas yüzeyi büyüdükçe sert taş yerine daha yumuşak taş kullanılmalı ve ısıyı minimize etmek için talaş boşluğu artırılmalıdır. Talaş boşluğunu artırmak için kaba taneli, büyük gözenekli ya da her ikisini içeren taşlar kullanılmalıdır.

2.4.10 Kesme Sıvısı

Taşılama işlemi ya kuru ya da ıslak yapılır. Kuru taşlamada kesme alanında oluşan ısı, hava, taşılama taşı ve iş parçası aracılığıyla dağılır. Bu tür taşılama fazla ısı oluşturmeyen bileme ve taşılama işlemleri için uygundur.

Islak taşlamada ise, oluşan yüksek ısının etkisini azaltmak için uygun bir soğutma sıvısı kullanılır. Günümüzdeki yüksek devirli taşılama tezgahlarının hemen hemen hepsinde de soğutma sıvısı kullanılmaktadır. Soğutma yapılmadığında veya 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 çarpılmalara, ısıl hasarlara ve boyut hatalarına neden olur.

2.4.11 Isı Oluşumu

İş parçası üzerinde, taşlama taşının tanelerinin temas ettiği her noktada, taş tanesi ve malzeme arasındaki sürtünme kayması nedeniyle ısı oluşmaktadır. Ayrıca plastik deformasyon esnasında da ısı oluşmaktadır. Talaş kaldırılırken tanenin önündeki bölgede şiddetli bir plastik deformasyon oluşmaktadır. Böylece kesici tanenin uç kısımlarında önemli büyüklükte ısı oluşmaktadır. Zımpara taşları üzerindeki taneler eşit aralıklı olmadıklarından dolayı bazıları diğerinden daha büyük hacimle talaş kaldırmaktadır. Bundan dolayı, kesme düzleminde farklı değerlerde ($1000^{\circ}\text{C} \sim 1500^{\circ}\text{C}$) sıcaklık oluşmaktadır. Oluşan bu yüksek sıcaklık, taşlanan iş parçası yüzeyinde termal hasarlara sebep olabilmektedir.

Talaş kaldırmada meydana gelen ısı, kaldırılacak talaş tabakasının şekil değiştirme ve ayrılması sırasında, takım-talaş ve takım-iş arasındaki sürtünme enerjisinden kaynaklanır. Oluşan ısının büyük bir kısmı (%80'den fazlası) talaş ile tahliye edilmekte, diğer bir kısmı parçaya geçmekte, geri kalanı ise takımın ısınmasına sebep olmaktadır. İşlenen parça ve kesici takımlar üzerindeki ısı düzensiz olarak dağılmaktadır. Bu sıcaklık dağılımında en yüksek sıcaklık, takımın uç kısmına yakın olan talaş yüzeylerinde meydana gelmektedir. Talaş kaldırma esnasında meydana gelen sürtünmeden dolayı, sıcaklık artışı, takımın aşınmaya karşı direncinin azalmasına ve işlenen parçanın ısıl olarak zarar görmesine neden olmaktadır. Taşlanan malzemedeki ısıl zararı azaltmak için, iş hızı artırılmalı, kuvvet azaltılmalı ve taşın sürekli keskin kalması sağlanmalıdır (Lidsay, 1971; Schey, 1987; Harris ve Lavine, 1991; Holmerg ve Matthews, 1994; Yui ve Lee, 1996).

Operasyon esnasında en büyük zorluk, ısının proses etkisi ile baş edebilmektir. İşlem anında oluşan aşırı sıcaklık hem iş parçasına hem de taşlama taşına zarar verir. İş parçasında kalıntı gerilmeler ve çatlaklar oluşur. Taşlama taşında ise yüzey parlaklığı ve sertliğe sebep olur ve bu durum taşlama işlemini zorlaştırır.

Taşlama prosesi esnasında talaş derinliği çok yüksek olduğu zaman, sürtünmenin arttığı durumda ve yeterli kesme olmadığında yüksek sıcaklık oluşur. İş parçası ve taşlama taşının aşırı ısınmasını engellemek için uygun taş sertliği seçilmelidir. Ayrıca uygun türde ve yeterli kesme sıvısı taşlama bölgesine ulaşmalıdır.

2.4.12 Elmaslama

Taşlama taşı gözeneklerinin dolması veya aşındırıcı tanelerin taş bünyesinden kalarak körlenmesi sonucu etkili talaş kaldırma özelliğini kaybeder. Taşa yeniden talaş kaldırabilme özelliğinin kazandırılması için bileme işleminin yapılması gerekir.

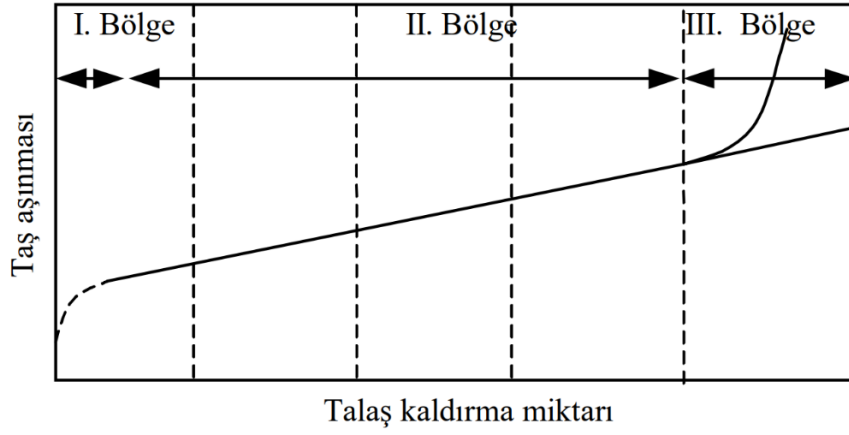
Zımpara taşları el takımlarıyla veya tezgah üzerinde bulunan bileme takımıyla bilenir. Bileme işlemi için kullanılan aparat tezgah üzerine sabitlenir. Sonra taşın çevresinden talaş kaldırılarak bileme işlemi yapılır.

Taşın yüzeyinin belirli aralıklarla temizlenmesi işlemine elmaslama denir. Taşlama taşı yüzeyinde 20 µm ile 30 µm arasında taş yüzeyi temizlenir ve bu şekilde yeni taşların açığa çıkması sağlanır. Talaş ile dolmuş taş gözenekleri açılır.

Çelik ya da diğer sert malzemelerden talaş kaldırmak, kullanma süresine bağlı olarak kesme takımlarının ömrünün kısılmasına sebep olmaktadır. Kullanılan kesicilerin kesici uçları, her talaş kaldırılmasında aşınır ve kesme kabiliyetini biraz daha kaybeder. Buna bağlı olarak talaş kesiti küçülür. Kesme gücü ve kesiciler arasında uygun bir denge sağlandığı takdirde kesicinin kesme ömrü uzar ve sık sık bilemeye ihtiyaç duyulmaz. Kesme ağzının bozulması ile kesme ağzına etki eden kuvvetler artar.

Her çeşit kesiciyle yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, körelen kesicilere gelen kuvvetler artmaktadır. Taşlama işleminde aşındırıcı tanelere gelen kuvvetler belirli bir sınırı aştığında aşındırıcı taneler bağlantı malzemelerindeki gözeneklerden kırılır ve kopar. Kopan aşındırıcı tanelerin yerine, yeni, keskin kenarlı taneler ortaya çıkarak kesme işleminin devamını sağlar. Bu işlemin sürekli olması taş diskinin çapının kademeli olarak küçülmesine sebep olur. Taş diski çapının küçülmesi sonucu iş parçasına çap büyümesi olarak yansır. Bu işlem; genellikle kendi kendine bileme olarak adlandırılır (Cander, 1975).

Hassas taşlamada, taş aşınmasının kaldırılan talaş miktarı ile bağlantısı aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 2.3. Hassas taşlamada takım aşınmasının kaldırılan talaş miktarı ile ilişkisi
(Srihari ve Lal, 1996)

Başlangıçta hızlı bir aşınma olmakta, daha sonra bu aşınma hızı yavaşlamaktadır. 3. Kısımda da hızlı bir aşınma olmakta ve kuvvet, sıcaklık ve titreşim artmaktadır. Bu yüzden, taştaki aşınma son aşamaya gelmeden taş bilenmelidir (Srivastava ve ark., 1992).

Bir taşlama işleminde, taşın körelmesinden dolayı bitirme yüzeyi kalitesi istenen sınırı aşmadan taş bilenmelidir. Dikkat edilmesi gereken husus, taşın performansını iyi durumda tutabilmek için, ne kadar süre kullanıldıktan sonra ve ne kadar ilerlemeyle taş yüzeyinin bilenmesinin belirlenmesidir. Günümüzde kimi işletmelerde bileme işlemleri, yetişmiş teknik elemanın tecrübesine ve kabiliyetine bağlı olarak yapılmaktadır. Tecrübeye bağımlı bileme işleminin zorluğunu gidermek için taşın yüzey durumunu ölçen ve tayin eden sistematik bir yöntem gereklidir. Taş yüzeyi durumunu inceleyen birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda çeşitli yöntemler kullanılmıştır.

3. AKUSTİK EMİSYON

Bu bölüm, akustik emisyon tekniğinin tarihsel gelişimine, tanımına, akustik emisyon sinyalinin izleme yöntemlerine ve özelliklerine değinmektedir.

3.1 Akustik Emisyon Tekniği

Akustik emisyon (AE), basınç, sıcaklık, yükleme vs. gibi etkilerin sonucunda malzeme içerisinde oluşan elastik gerilme dalgalarıdır. Bu elastik dalgalar AE sensörleri tarafından tespit edilir. AE kaynakları, depremler gibi doğal olaylardan, çatlakların başlaması ve büyümesine, metallerdeki faz dönüşümleri vb. şekillerde çeşitlilik gösterir.

Akustik emisyon sinyallerinin tespiti ve analizi, bir malzemedeki süreksizliğin kaynağı ve önemi hakkında önemli bilgiler elde etmemizi sağlar. Akustik emisyon testi (AE) çok yönlülüğü nedeniyle birçok endüstriyel alanda kullanırlar. Örneğin, yapısal bütünlüğün değerlendirilmesi, kusurların tespiti ve kaynak kalitesinin izlenmesi akustik emisyon testi ile yapılır.

Akustik emisyon, diğer tahribatsız muayene tekniklerinin (NDT) çoğundan 2 yönden farklıdır. Birinci fark şudur:

Akustik emisyon testi diğer NDT'ler gibi incelenen nesneye enerji sağlamak yerine, nesne tarafından salınan enerjiyi dinler. Diğer fark ise şudur:

Akustik emisyon testi bir malzemedeki dinamik süreçler veya değişikliklerle ilgilenir. Bu yöntemde çatlak büyümesi gibi yalnızca aktif özellikler vurgulanır. Gelişmekte olan ancak o anda durağan olan kusurları da tespit edebilir. Fakat akustik emisyon yoğunluğunun şiddeti, akustik bir olaya neden olacak kadar yüksek değilse kusurlar tamamen tespit edilemeyebilir. Akustik emisyon testi genelde bir bileşenin gücü ya da arıza riski ile ilgili anında bir gösterge sağlar.

Akustik emisyon testinin diğ er bir avantajı ise birden fazla sensör kullanarak hızlı ve eksiksiz hacimsel incelemedir. Avantajları arasında proses kontrolü için kalıcı sensör montajı ve numuneyi söküp temizlemeye ihtiyaç olmaması sayılabilir.

Akustik emisyon sistemleri avantajlara sahip olduğu gibi ne yazık ki bazı dezavantajlara da sahiptir. Bu sistemler bir yapıda hasarın bulunduğunu sadece niteliksel olarak  l er. Parçanın boyutu, derinliği gibi nicel sonuçlar elde etmek için ultrasonik test gibi diğ er tahribatsız muayene yöntemleri kullanılmalıdır. Bir diğ er dezavantajı sinyallere yabancı gürültü katan yüksek sesli ortamlardan kaynaklanmaktadır. Başarılı bir sonuç için sinyal ayrımı ve gürültü azaltımı şarttır.

3.2 Akustik Emisyon'un Tarihçesi

Akustik emisyon sinyalleri kontrollü bir ortamda oluşturulabileceği gibi doğal ortamlarda kendiliğinden olu abilecekleri için akustik emisyon testinin kökenini saptamak zordur. Milattan önce 6500 gibi erken bir tarihte, çömlekçilerin seramikleri soğutma esnasında duyulabilen sesleri dinledikleri ve bu sesin yapısal bozukluktan kaynaklandığını tahmin ettikleri biliniyor. Metal işlemede plastik deformasyon sırasında saf kalayın mekanik olarak ikizlenmesiyle üretilen i itilebilir emisyonlar -ki kalay çığlığı olarak bilinir- küçük Asya'daki kalay izabe fabrikalarında milattan önce 3700 civarında icat edildi.

Akustik emisyonun ilk belgelenmiş gözlemlerini 8. Yüzyılda Arap simyacı  mer ibn Hayyam yapmıştır. Hayyam bir kitabında kalay çalışıldığında “sert bir ses” çıkardığını, demirin ise dövme sırasında “ ok ses çıkardığını” yazmıştır.

19. yüzyılın sonunda yazılan kalay, demir, kadmiyum ve çinko gibi malzemelerle ilgili metinlerde duyulabilir akustik emisyonla atıfta bulunulmuştur. Farklı metaller ve akustik emisyonları arasındaki kayda değer bir korelasyon kalay ve çinko ağlaması ikizlenme arasındaki iki kiyw tanık olan Czochralski tarafından yapılmıştır. Ardından Albert Portevin ve Francois Le Chatelier stres altındaki bir Al-Cu-Mn (Alüminyum-Bakır-Manganez) alaşımından AE emisyonlarını gözlemlemiştir.

3.3 Akustik Emisyon İzlemenin Prensipleri

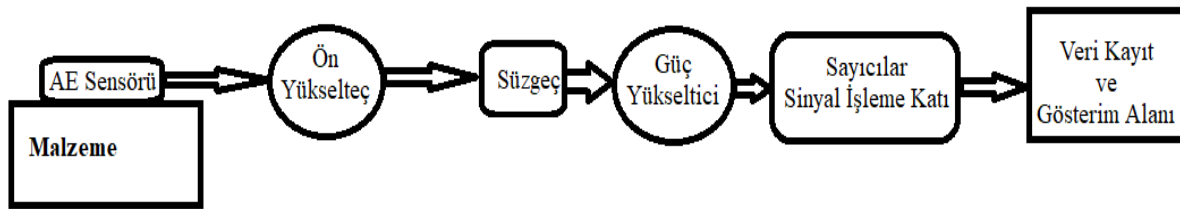
Katı bir malzemeye dışarıdan bir kuvvet uygulanıp kaldırıldıktan sonra, kuvvetin büyüklüğüne ve malzemenin özelliklerine bağlı olarak, orijinal boyutuna geri dönebilir ya da kalıcı deformasyona uğrayabilir. Bu koşullar sırasıyla elastik ve plastik deformasyon olarak bilinir.

Havada enerji salınımına “ses” denir. Prensipde malzemenin içinde çatlama nedeniyle elastik dalgalar ürer ve malzeme boyunca yayılım gösterir. Bu olay depremlere benzetilebilir. Diğer bir deyişle, Akustik emisyon (AE) katı bir malzemede “mikro depreme” sebebiyet verebilir. Akustik emisyon dalgaları malzeme yüzeyinden sensörler ile tespit edilebilir.

Çatlamayla üreyen elastik dalgalar malzemenin içinden yayılıma başlar ve yüzeydeki akustik emisyon sensörü tarafından tespit edilir. Bu durumda, yüzey titreşimleri havaya sonik dalgalar halinde yayılır. Bu yayılım muhtemelen bir kırılma sesi olarak duyulabilir.

3.4 Akustik Emisyon İzleme Sistemi

Akustik emisyon izleme sisteminin amacı akustik emisyon sensörlerinden gelen tüm sinyalleri algılamak, bunların sayı ve dağılımlarını gerilim, basınç, sıcaklık ve benzeri deney değişkeni olarak kaydetmek ve sensörlerin sınıflandırılmasını ve konumlarının belirlenmesini sağlamaktır. Akustik emisyon oluşumu ve algılanması aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilmiştir.



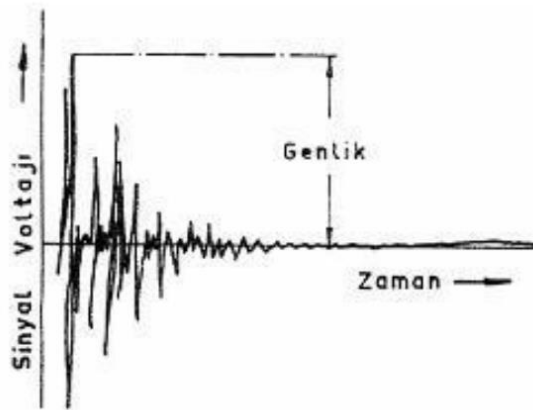
Şekil 3.1. Akustik emisyon algılama şeması

Şekilde de görüldüğü gibi uygulanan gerilim sonucu kaynaktaki ani hareket bir gerilim dalgası meydana getirir. Yapıdaki yayılan dalgalar yüzeye yerleştirilen sensörü uyarır. Malzemeye uygulanan gerilim arttıkça akustik emisyonlar çok fazla miktarda üretilir. Yüzeye

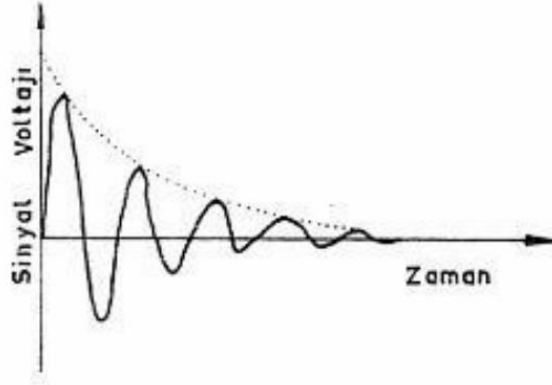
ulaşan zayıf titreşimler bir veya daha fazla sensör vasıtasıyla alınır ve yükseltilerek değerlendirilir. Bu işleme akustik emisyon yöntemi denir.

Algılayıcılar, akustik emisyon sinyallerinin malzeme yüzeyinde oluşturdukları titreşimleri elektriksel işaretlere çevirirler. Akustik emisyon uygulamalarının çoğunda, hassasiyet seviyesi yüksek ve mekanik gürültüye karşı daha az duyarlı piezoelektrik algılayıcılar kullanılır. Algılayıcıda üretilen sinyal önce elektromagnetik girişimleri minimize edecek şekilde algılayıcının yakınında bulunan bir ön yükselteç aracılığıyla yükseltilir. Bu ön yükselteç genellikle sistemin elektriksel gürültü seviyesini belirler. Tipik olarak ön yükselteç 100 kat büyüme ile 40 dB'lik bir kazanç sağlar.

Ön yükselteç ile gerekli voltaj düzeyine yükseltilen bir akustik emisyon sinyali aşağıdaki şekil 3.2 gibidir. Bu sinyal şekil 3.3'deki gibi basit sönümlü sinüzoidal titreşim olarak gösterilebilir. Sinyal, son olarak şekil 3.1'deki blok şemasında gösterilen güç yükselticinde istenilen düzeye getirilir ve sayıcılara verilir. Yapılmak istenen değerlendirmenin niteliğine göre, daha karmaşık sinyal değerlendirme ve işleme katları da kullanılabilmektedir. Sistemdeki son birimler; veri kayıt ve gösterim araçları, genellikle sinyal biçimini izlemekte kullanılır (Tuncel, 2008).



şekil 3.2. Algılayıcıda elektronik sinyale dönüşmüş bir akustik emisyon sinyali
(Tuncel, 2008)

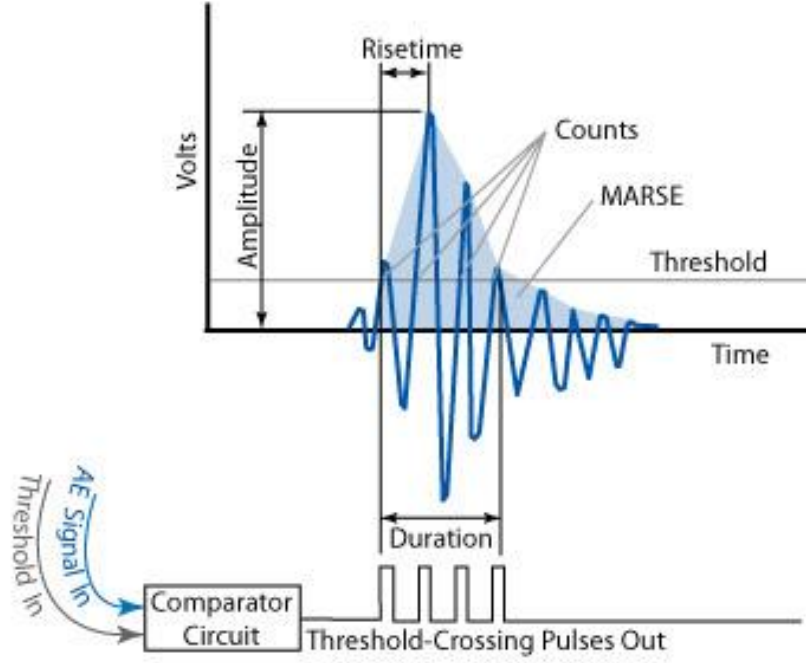


Şekil 3.3. Sönümlü basit sinüzoidal titreşim (Tuncel, 2008)

Bazı durumlarda, basit olarak sadece ses yayımını algılayabilen bir akustik emisyon sistemi yeterli olacaktır ancak yayımları karakterize etmeye ve onları, kaynakları ile ilişkilendirme yapılması durumunda daha karmaşık akustik emisyon sinyal değerlendirmeleri gerekebilir.

3.5 Akustik Emisyon Sinyalinin Özellikleri

Ekipmanın yapılandırılması ve kurulumunun tamamlanmasıyla akustik emisyon testi başlatılabilir. Sensör test yüzeyine bağlanır ve bant ya da yapıştırıcı ile yerinde tutulur. Bir operatör nesnede indüklenen gerilimler tarafından uyarılan sinyalleri izler. Yararlı bir geçici veya patlama sinyali doğru bir şekilde elde edildiğinde, genlik, sayımlar, düzeltilmiş sinyal zarfı (MARSE) altındaki ölçülen alan, süre ve yükselme süresi gibi parametreler toplanabilir. Şekil 3.4'te gösterilen akustik emisyon sinyali özelliklerinin her biri bu bölümde açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.4. Akustik emisyon sinyali ve özellikleri

3.5.1 Genlik

Genlik, A, bir dalga biçiminde ölçülen en büyük voltajdır. Desibel (dB) cinsinden ölçülür. Bu, akustik emisyon incelemesinde önemli bir parametredir çünkü sinyalin algılanabilirliği genlikle belli olur. Operatör tarafından belirlenen minimum eşiğin altındaki genliklere sahip sinyaller kaydedilmezler. Akustik emisyon genlikleri, kaynaktaki olayın büyüklüğüyle doğrudan ilişkilidir. μV 'lardan voltlar seviyesine kadar geniş bir alanı oluşturmaktadır.

3.5.2 Yükselme Zamanı

Yükselme zamanı, R, ilk eşik geçişi ile sinyal tepe noktası arasındaki zaman aralığıdır. Yükselme zamanı, akustik emisyon olayının kaynağı ile sensör arasındaki dalğanın yayılmasıyla ilgili olup bundan dolayı sinyallerin nitelenmesi ve gürültü filtresi için bir kriter olarak kullanılır.

3.5.3 Devam Süresi

Devam süresi, D, ilk ve son eşik geçişleri arasındaki zaman farkıdır. Devam süresi, farklı kaynak türlerini belirleme ve gürültüyü filtrelemek için kullanılabilir.

3.5.4 Sayı

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

3.5.5 Marse

Enerji sayımı olarak da bilinen MARSE, E , dönüştürücüden gelen doğrultulmuş doğrusal voltaj zaman sinyalinin zarfı altındaki alanın ölçüsüdür. MARSE, bağlı sinyal genliği olarak da düşünülebilir ve emisyonun enerjisi belirlenebildiği için yararlıdır. MARSE, sinyalin süresine ve genliğine de duyarlıdır. Ancak sayıları veya kullanıcı tanımlı eşikleri ve çalışma frekanslarını kullanmaz. Bu, akustik emisyon ölçümlerinde düzenli olarak kullanılmalıdır.

3.6 Akustik Emisyon Ekipmanları

Akustik emisyon testi, sahada taşınabilir aletlerle veya sabit bir laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilir. Genel olan sistemler, ölçüm, görüntüleme ve depolama ekipmanı (örneğin osiloskop, voltmetreler ve kişisel bilgisayarlar) ile birlikte bir sensör, ön yükseltici, filtre ve yükseltici içerir. Akustik emisyon sensörleri, bir akustik emisyon olayının neden olduğu dinamik harekete tepki verir. Bu, mekanik hareketi bir voltajı sinyaline dönüştüren dönüştürücüler aracılığıyla elde edilir. Bir akustik emisyon sensöründeki dönüştürücü eleman, neredeyse her zaman kurşun zirkonat titanat (PZT) gibi bir seramikten yapılan bir piezoelektrik kristaldir. Dönüştürücüler, çalışma frekansına, hassasiyete ve çevresel özelliklere göre seçilir ve iki sınıfa ayrılır. Bunlar rezonans ve geniş banttır. Akustik emisyon ekipmanının çoğu 30 kHz ile 1 MHz arasındaki tipik çalışma frekansı aralığında harekete duyarlıdır. Yüksek zayıflamaya sahip malzemeler için (örneğin plastik kompozitler), akustik emisyon sinyallerini daha iyi ayırt etmek için daha düşük frekanslar kullanılabilir. Bunun tam tersi durumda geçerlidir.

4. AKUSTİK EMİSYONA DAYALI TERMAL HASAR TESPİTİ VE TEŞHİSİ

Bu bölüm, yanık hasarı izlemesinde kullanılabilecek sinyal işleme yöntemleri açıklanmaktadır. Öncelikle zaman ve frekans etki alan analizleri detaylandırılmakta ve sonrasında sürekli dalgacık dönüşümünün esasları açıklanmaktadır. Söz konusu yöntemlerin etkinliği sayısal örnekler kullanılarak açıklanmaktadır.

4.1 Zaman Alanı Analizi

Zaman alanı analizi, bir sinyalin zaman geçmişini, tepe değerini, enerjisini, olayların etki süresini, istatistiksel özellikleri gibi parametrelerini belirlemek için kullanılır. Durum izleme çalışmalarında sinyallerin şiddeti önemli bir gösterge olmakla birlikte sinyal enerjisinin zamana göre değişimi de önemli bir özelliktir. Bazı makineler çalışmaları esnasında yüksek titreşim sergileyebilirler. Bu tarz bir makine arızaya geçtiğinde ortaya çıkan titreşimler zamanla artar ancak bu artışlar çok küçük olabilir. Böyle durumlarda net bir arıza belirtisi gözlemlemek mümkün olmayabilir.

Bir sistemin yer değiştirme, ivme, basınç, gerilme gibi özelliklerinin zamana göre değişimleri tahmin edilebiliyorsa, bu sisteme kararlı sistem adı verilir. Lokal bir hasara sahip rulmanlar, dişli kutuları gibi bazı sistemlerden elde edilen sinyallerin (titreşimlerin) zamana göre davranışlarını tahmin etmek oldukça zordur. Böyle sistemler kararlı olmayan sistemler olarak isimlendirilir ve bu tür sistemlerin davranışları ve hatta hatanın ilerleyişi istatistiksel yaklaşımlarla tahmin edilebilir (Dyer ve Stewart, 1978; Martin, 1992). Durum izlemede yaygın olarak kullanılan istatistiksel parametreler şöyledir:

Karelerinin Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square, RMS), değeri bir sinyalin güç içeriğini göstermek için kullanılan önemli bir göstergedir ve eşitlik (4.1) de ifade edildiği gibi hesaplanır (Broch, 1973):

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

Burada t zaman değişkeni ve $x(t)$ de incelenen sinyali temsil etmektedir.

Lokal hataya sahip rulmanlar veya dişli çarklardan alınan sinyaller periyodik olarak değişen impuls sinyalleri sergilerler. Bir başka ifadeyle, sinyal enerjisi lokal olarak hızlı bir değişim

sergiler. Böyle durumlarda sinyalin sivrilik (spikeness) değerin izlenmesi ve gelişimi hata hakkında önemli bilgiler sağlar. Sinyalinin sivrilik değerin tespiti için Crest faktörü ve Kurtosis değeri sıklıkla kullanılır ve aşağıdaki gibi ifade edilirler (Dyee ve Steward, 1978; Martin, 1992).

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

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

Burada P_p , tepeden tepeye değerin (sinyalin maksimum ve minimum değeri arasındaki fark), $\bar{x}$ ise sinyalin ortalama değerin belirtir ve aşağıdaki eşitlikte tanımlanmaktadır:

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

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

4.2 Frekans Alanı Analizi

Frekans alanı analizi; titreşim yanıtının genliğinin, frekansa karşı temsil edilmesidir ve bu işlem için Fourier dönüşümü kullanılmaktadır. Bir makinenin titreşim cevabı; o makineyi oluşturan bileşenlerine, montajına ve makinenin çalışmasına bağlı olarak belirlenir ve bundan dolayı her makinenin titreşim özellikleri kendine özgüdür. Uyarı kuvvetlerinin sabit kalması şartıyla ölçülen titreşim seviyesi de sabit kalacaktır. Dolayısıyla sağlıklı durumda elde edilen titreşim spektrumlarına o makinenin imzası denir. Makinede bir arıza meydana geldiğinde, söz konusu makinenin titreşim seviyesi ve frekans spektrumun şekli de değişeceğinden arızasız durumdaki frekans spektrumu ile karşılaştırılarak hasar tespit edilebilir.

Arıza tespitinde; frekans alanı analizi, modülasyonlar ve harmonik içerikler gibi bazı temel özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Bu özellikler, zaman alanı analizinde kolaylıkla belirlenemeyebilir. Bir $x(t)$ sinyalinin Fourier dönüşümü aşağıdaki gibi hesaplanır:

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

Burada “ f ” frekans değişkenini ifade eder. Belli bir frekansta “ f ” birim frekans başına sinyalin spektral yoğunluğu $|X(f)|^2$ ’dir ve frekans alanındaki toplam sinyal enerjisi, tüm frekanslar üzerindeki spektral yoğunluk fonksiyonu toplanarak hesaplanabilir. Parseval teoremine göre hem zaman hem de frekans alanlarında hesaplanan toplam enerji birbirlerine eşittir:

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

4.3 Birleşik Zaman-Frekans Yöntemleri

Spektral gösterim, sinyalin frekans içeriğini göstermekle beraber, frekans bileşenlerinin zamana göre nasıl değiştikleri hakkında herhangi bir bilgi sağlamaz. Kararsız sinyallerin özelliklerini belirlemede yukarıda sözü edilen yöntemlerin hiçbirisi yeterli değildir. Bu sebeple bu bölümde sinyal içeriğini aynı anda hem zaman hem de frekansın bir fonksiyonu olarak temsil eden birleşik zaman-frekans yöntemlerinden biri olan sürekli dalgacık dönüşümü açıklanmaktadır.

4.3.1 Sürekli Dalgacık Analizi (CWT)

Dalgacık dönüşümü kararsız sinyallerin genişletilmesi ve ayrıştırılması için kullanılan matematiksel fonksiyonlardır. Dalgacıklar, dalgacık dönüşümünün temelini oluştururlar ve zaman alanından gelen sinyallerin zaman ölçeğine veya zaman-frekans alanına eşitlenmesine yararlar. Farklı zamanlarda ve farklı frekanslarda farklı bir çözünürlüğün elde edilebilmesi de dalgacık analizinin bir diğer avantajıdır. Dalgacık dönüşümü, zaman sinyali $x(t)$ ’nin, ana dalgacık olarak isimlendirilen tek bir dalgacıktan türetilen dalgaya ya da dalgacıklara ayrıştırılmasını gerçekleştirir. Farklı frekanslardaki dalgacıklar, analiz edilen dalgacığın içine genişleme dahil edilerek üretilir.

$$h_a(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} h\left(\frac{t}{a}\right) \quad (4.8)$$

Burada $h(t)$ ana dalgacık, a ($a > 0$) ölçek parametresidir. Genişletilmiş dalgacık, analiz edilen dalgacık ile aynı enerjiye sahip olacak biçimde $a^{1/2}$ faktörü ile normalleştirme işlemine

tabi tutulur. Analiz dalgacığı $h(t)$ ve farklı ölçeklerdeki dalgacık ailesi geleneksel olarak 0 civarında odaklandığından ve çok hızlı azalmaya sahip olduklarından, b ($b \in \mathbb{R}$) tüm zaman fonksiyonunu kapsayacak şekilde dalgacıklar zaman içinde şu şekilde kaydırılır:

$$h_{b,a}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} h\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (4.9)$$

$h_{b,a}(t)$ genişletilmiş ve kaydırılmış dalgacık fonksiyonudur. Denklem (4.9)'un yorumu, dalgacık fonksiyonlarının $h_{b,a}(t)$ boyutunun genişleme ya da ölçekleme a ile değiştiğidir. Büyük ölçekler seçildiğinde, elde edilen $h_{b,a}(t)$ düşük frekanslı dalgacık fonksiyonları haline gelir ve zamana göre genişler. Aynı şekilde bunun tersi de geçerlidir. Yani, küçük ölçekler seçildiğinde, elde edilen $h_{b,a}(t)$ yüksek frekanslı dalgacık fonksiyonları haline gelir. Bir sinyalin denklem (4.9) ile verilen dalgacıklara genişletilmesi, sürekli dalgacık dönüşümü (CWT) olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi tanımlanır (Bentley ve McDonnell, 1994; Chui, 1992; Meyer, 1993; Rioul ve Vetterli, 1991; Grossmann ve ark., 1989; Heneghan ve ark., 1994):

$$CWT_x(b, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) h\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (4.10)$$

4.3.1.2 Analiz Edilen Dalgacık

$h(t)$ olarak adlandırılan analizi yapılmış dalgacık salınımlı olmalı ve hızlı bir azalmaya sahip olmalıdır. Salınımın gerekli olmasının sebebi dalgacık dönüşümünün belirli bir a ölçeğinde ve b zamanı civarında sinyal ve dalgacık arasındaki benzerliği ölçekbilmesidir. Hızlı azalmanın dahil edilmesi, iyi bir yerelleştirme sağlar. Dalgacık çok hızlı bir azalmaya sahipse, b zamanı civarında iyi yerleşmiştir. Dalgacığın azalması, zaman ilerledikçe hızlı bir biçimde sıfıra yaklaşması olarak tanımlanabilir (Chui, 1992; Meyer, 1993). Yani:

$$\int_{-\infty}^{\infty} h(t) dt = 0 \quad (4.11)$$

Diğer bir özellik ise dalgacık dönüşümünün tersine çevrilebilir (invertible) olmasıdır. Yani orijinal $x(t)$ sinyali $CWT_x(b, a)$ değerlerinden yeniden oluşturulabilmelidir. $x(t)$ 'yi $CWT_x(b, a)$ 'den yeniden elde etmek için analiz eden dalgacığın Fourier dönüşümü, kabul edilebilirlik koşulu olarak bilinen aşağıdaki şarta tabidir (Chui, 1992):

$$C_h = \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 \frac{df}{|f|} < \infty \quad (4.12)$$

Burada $H(f)$, $h(t)$ 'nin Fourier dönüşümünü ifade etmektedir. Kabul edilebilirlik koşulunu yerine getirmenin diğer bir yolu, $H(f)$ 'yi $f < 0$ için 0'a eşitlemektir. Dalgacık dönüşümü bu nedenle sabit durum bileşenine sahip değildir. Eğer denklem 4.12 sağlanırsa $x(t)$ sinyali denklem 4.10 ile aşağıdaki gibi yeniden yapılabilir (Chui, 1992):

$$x(t) = \frac{1}{c_h} \iint CWT_x(b, a) \frac{1}{\sqrt{a}} h^* \left(\frac{t-b}{a} \right) \frac{dad b}{a^2} \quad (4.13)$$

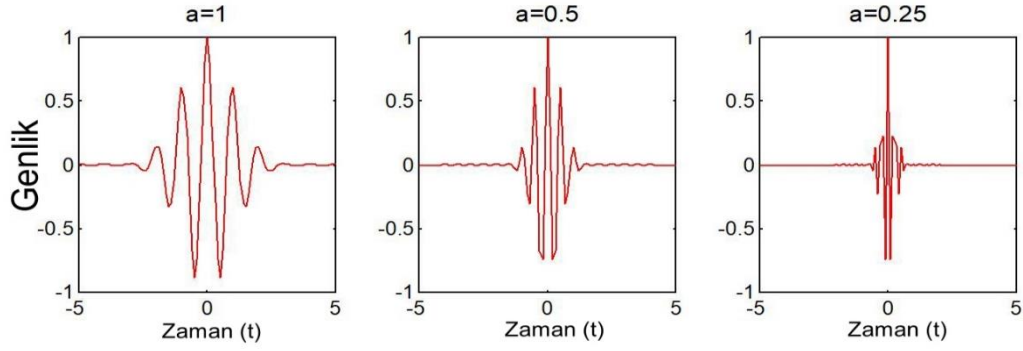
Matematiksel olarak, dalgacık dönüşümü ana dalgacık seçiminde esnekliğe sahiptir. Morlet dalgacığı, Fourier analizi ile yakından ilişkili olduğu için ve anlaşılması daha kolay olduğundan yapılan çalışmada ana dalgacık olarak Morlet dalgacığı kullanılmıştır. Morlet dalgacığının zaman ve frekans alanlarındaki tanımlamaları aşağıdaki gibidir (Chui, 1992):

$$h(t) = \exp(j2\pi f_0 t) \exp \left(-\frac{t^2}{2} \right) \quad (4.14)$$

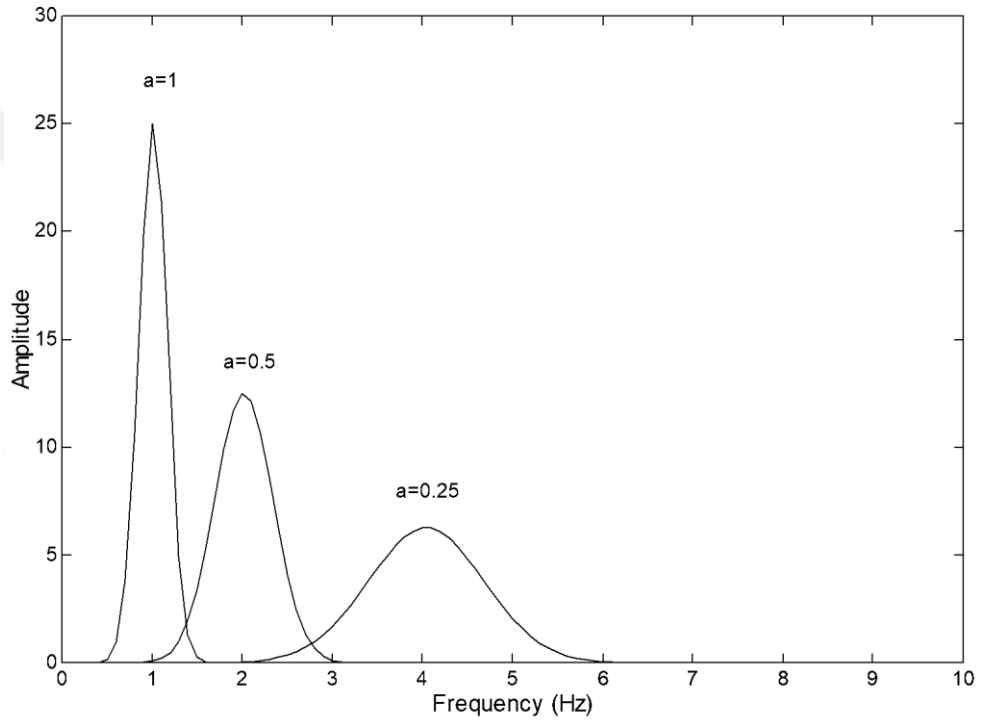
$$H(f) = \sqrt{2\pi} \exp \left(-2\pi^2 (f - f_0)^2 \right) \quad (4.15)$$

Burada, f_0 ana dalgacığın merkez frekansını ifade eder. Gerçekte Morlet dalgacığının kendisi kabul edilebilir değildir, fakat uygun bir merkez frekansının seçilmesiyle (örneğin $f_0 \geq 0,875 \text{ Hz}$, Morlet dalgacığı pratikte kabul edilebilir hale gelir (Grossmann ve ark., 1989; Heneghan ve ark., 1994).

Şekil 5.3 ve 5.4 çeşitli ölçeklerde 1 Hz Morlet dalgacığının gerçel kısmını ve Fourier dönüşümünü göstermektedir. Temel fonksiyon $t = 0$ zamanda merkezlenmiş ve $-5 \leq t \leq 5$ bir zaman aralığı içinde tanımlanmıştır. Şekil 5.3'ten görüldüğü üzere dalgacıkların bant genişliği merkez frekansıyla orantılı (genişleme ile ters orantılı) olarak değişmektedir. Ölçek küçüldükçe, dalgacıklar zamanla daha kompakt hale gelir, dönüşümün zaman çözünürlüğü iyileşir ancak frekans çözünürlüğü, belirsizlik ilkesine göre, bozulur (Bentley ve McDonnell, 1994; Chui, 1992; Rioul ve Vetterli, 1991).



Şekil 4.1. Çeşitli ölçeklerde 1Hz Morlet dalgacığının gerçek kısmı (Yeşilyurt, 1997)



Şekil 4.2. 1 Hz Morlet dalgacığının farklı ölçeklerde frekans alanı gösterimleri (Yeşilyurt, 1997)

4.3.1.3 Dalgacık Dönüşümü ile Zaman-Frekans Analizi

Hızlı sönümlü dalgacıkların zaman ve frekansta iyi lokalize olup ve pencere fonksiyonları olarak kullanılabileceği bir önceki bölümde açıklanmıştır. Bir pencere fonksiyonunun merkezi t_h ve yarıçapı Δ_{ht} aşağıdaki denklemlerle hesaplanır (Chui, 1992):

$$t_h = \frac{1}{\|h\|_2^2} \int_{-\infty}^{\infty} t |h(t)|^2 dt \quad (4.16)$$

$$\Delta_{ht} = \frac{1}{\|h\|_2^2} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} (t - t_h)^2 |h(t)|^2 dt \right\}^{1/2} \quad (4.17)$$

Burada $\| \cdot \|_2, L^2(\mathfrak{R})$ alanı için normdur ve aşağıdaki gibidir:

$$\|w\|_2 = \langle w, w \rangle^{1/2} \quad (4.18)$$

Zaman sinyalindeki dalgacık “ b ” konumuna kaydırıldığında $x(t)$ sinyalinin dalgacık dönüşümü aşağıdaki gibi bir zaman penceresi içinde sınırlandırılacaktır (Chui, 1992):

$$(b + at_h - a\Delta_{ht}, b + at_h + a\Delta_{ht}) \quad (4.19)$$

Dalgacık fonksiyonu $b + at_h$ ’tadır ve genişliği $2a\Delta_{th}$ ’dır. Dalgacık dönüşümü, sinyali belirli bir frekans aralığında eş zamanlı olarak analiz eder. Bu frekans alanında denklem 4.10’da verilmiş olup dalgacık dönüşümünü ifade ederek basit bir ispatı yapılabilir:

$$CWT_{x,X}(b, a) = \langle x(t), h_{b,a}(t) \rangle = \langle X(f), H_{b,a}(f) \rangle \quad (4.20)$$

Burada “ $\langle, \rangle$ ” iç çarpımı, $X(f)$ sinyal temel fonksiyonunun Fourier dönüşümünü, $H_{b,a}(f)$ ise ölçeklenmiş ve ötelenmiş dalgacığın Fourier dönüşümünü temsil eder ve aşağıdaki biçimde ifade edilir.

$$H_{b,a}(f) = \sqrt{a} e^{-j2\pi f b} H(af) \quad (4.21)$$

Bu denklemde $H(af)$ genişletilmiş dalgacığın Fourier dönüşümünü temsil etmektedir. 4.20 denklemde $X(f)$ ve $H_{b,a}(f)$ ’nin yerine konulması, frekans alanındaki $CWT_x(b, a)$ ’yı verir:

$$CWT_X(b, a) = \sqrt{a} \int_{-\infty}^{\infty} X(f) H^*(af) e^{j2\pi f b} df \quad (4.22)$$

$H(f)$ frekans alanında bir pencere fonksiyonu ise, merkezi f_h ve yarıçapı Δ_{hf} olarak hesaplanabilir. $H(af)$ ana dalgacığın merkez frekansı olarak alındığında aşağıdaki denklem oluşturulmuş olur (Chui, 1992):

$$H^*(af) = \eta_a \left(a \left(f - \frac{f_h}{a} \right) \right) \quad (4.23)$$

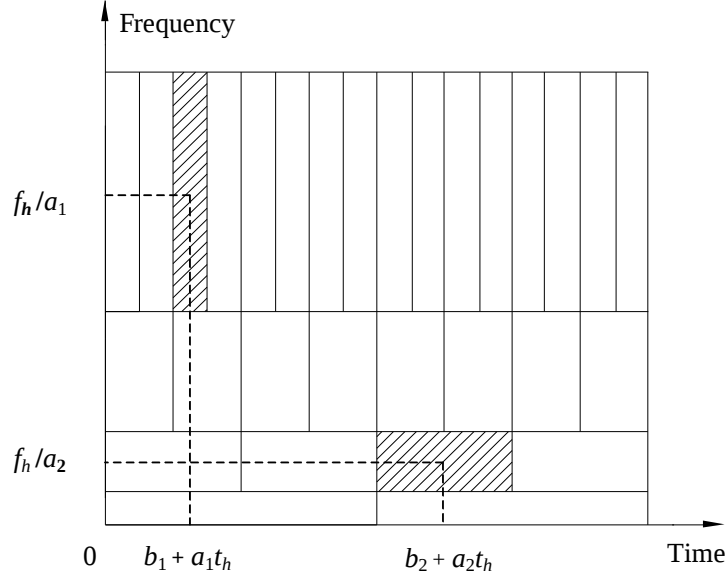
f_h/a dalgacık penceresinin frekans alanında merkezlendiği frekanstır ve buna merkez frekansı denir. Denklem 4.19'a referansla, dalgacık penceresinin frekans alanında Δ_{hf}/a yarıçapına sahip olduğu görülecektir. Bundan dolayı denklem 4.22 tarafından verilen dalgacık dönüşümü aşağıdaki gibi sınırlı bir frekans penceresi içinde $X(f)$ 'nin yerel bilgisini verir:

$$\left(\frac{f_h}{a} - \frac{\Delta_{hf}}{a}, \frac{f_h}{a} + \frac{\Delta_{hf}}{a} \right) \quad (4.24)$$

Denklem 4.24, frekans penceresinin genişliğinin $2\Delta_{hf}/a$ olduğunu ve bunun büyük genişleme değerleri için çok sıkı hale geldiğini belirtir. Denklem 4.19 ve denklem 4.24 göz önüne alındığında, sürekli dalgacık dönüşümü tarafından değerlendirilen $x(t)$ bilgisi, her bir genişleme ve öteleme değeri çifti için 2 boyutu esnek bir zaman-frekans penceresi içinde sınırlandırılır. Bu esnek zaman-frekans penceresi aşağıdaki gibidir:

$$(b + at_h - a\Delta_{ht}, b + at_h + a\Delta_{ht}) \times \left(\frac{f_h}{a} - \frac{\Delta_{hf}}{a}, \frac{f_h}{a} + \frac{\Delta_{hf}}{a} \right) \quad (4.25)$$

Denklem 4.25'den $CWT_x(b, a)$ 'nın $x(t)$ sinyalinin değişen bir zaman-frekans çözünürlüğü ile bir zaman-frekans analizini sunduğu sonucuna varılır. Pencere, a 'nın küçük değerleri için zaman alanında otomatik olarak daralır ve bunun tersi de olabilir. Hem zaman hem frekans alanındaki analiz penceresi genişlikleri genişleme ile daralmasına veya gerilmesine rağmen, zaman-frekans penceresinin alanı her zaman sabittir ve aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi $4\Delta_{ht}\Delta_{hf}$ 'ye eşittir.



Şekil 4.3. Dalgacık dönüşümünün zaman-frekans penceresi (Yeşilyurt, 1997)

4.3.1.4 Bir Sinyalin Skalogram Esaslı Ortalama Frekansı ve Fazı

Bir dağılımın frekans momentleri, bir sinyalin ortalama spektral özelliklerini belirlemekte ve az sayıda parametre ile dağılımı karakterize etmek için kullanılır. CWT kullanılarak, belirli bir frekans aralığında bir sinyalin zamana bağlı enerji yoğunluğunu ifade eden fonksiyona skalogram denir ve sürekli dalgacık dönüşümünün genliğinin karesi ile ifade edilir. Sinyal enerjisi, skalogram tarafından korunur ve skalogramın bütün (b-a) düzlemi üzerinde integrasyonu alınarak bulunur. Yani:

$$E_T = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \frac{1}{C_h} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |CWT(b, a)|^2 \frac{da db}{a^2} \quad (4.26)$$

Burada C_h , aşağıdaki şekilde kabul edilebilirlik koşuludur ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$C_h = \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 \frac{df}{|f|} < \infty \quad (4.27)$$

Bu formülde $H(f)$, ana dalgacık $h(t)$ 'nin Fourier dönüşümüdür. Bir sinyalin skalogramı tanımlandıktan sonra, belirli bir t zamanındaki frekans momentleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$M_n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f^n |CWT(b, a)|^2 df \quad (4.28)$$

Burada n ($n = 0,1,2,3, \dots$) frekans momentinin mertebesini belirtir. 0. dereceden moment $M_0(t)$ 'nin anlık sinyal enerjisi $IE(b)$ 'yi verdiği görülebilir. Yani:

$$IE(b) = \frac{1}{C_h} \int |CWT(b, a)|^2 \frac{da}{a^2} \quad (4.29)$$

Bir $x(t)$ zaman sinyalinin skalogramı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$CWT(b_1, a)CWT^*(b_2, a) = |a| \left(\int_{-\infty}^{\infty} X(w)H^*(aw)e^{jwb_1}dw \right) \left(\int_{-\infty}^{\infty} X^*(w)H(aw)e^{-jwb_2}dw \right) \quad (4.30)$$

4.31 denkleminin düzenlenmesi ve basitleştirilmesi şöyledir:

$$CWT(b_1, a)CWT^*(b_2, a) = \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 \left(\int_{-\infty}^{\infty} |a||H(a\omega)|^2 d\omega \right) e^{j\omega(b_1-b_2)} d\omega \quad (4.31)$$

Ölçek ve frekans arasındaki ilişki şu şekilde ifade edilebilir:

$$\omega = \frac{\omega_0}{a} \quad (4.32)$$

burada ω_0 , rad/sn biriminden dalgacık merkez frekansını gösterir. (4.32) denkleminin türevi, (4.31) denkleminin iç integraline ikame edilirse, CWT'nin merkez frekansı ile kabul edilebilirlik koşulu arasındaki ilişkiyi verir. Yani:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |a||H(a\omega)|^2 df = -\omega_0 \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} |H(a\omega)|^2 \frac{da}{a}}_{C_h} \quad (4.33)$$

Ardından denklem (4.31) şu hale gelir:

$$CWT(b_1, a)CWT^*(b_2, a) = -\omega_0 C_h \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 e^{j\omega(b_1-b_2)} d\omega \quad (4.34)$$

Parseval teoremine göre (4.34) denklemi anlık güç cinsinden aşağıdaki gibi de yazılabilir:

$$CWT(b_1, a)CWT^*(b_2, a) = -\omega_0 C_h \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 e^{-j\omega(b_1-b_2)} dt \quad (4.35)$$

(4.35) denkleminin ters Fourier dönüşümünü almak, $b_1 = b_2$ olduğunda verir

$$\int_{-\infty}^{\infty} |CWT(b, a)|^2 d\omega = -\omega_0 C_h |x(t)|^2 \quad (4.36)$$

Anlık frekansın ve sinyal fazının hangisi olduğu varsayılarak, denklemin (4.36) zamana göre türevi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\int_{-\infty}^{\infty} CWT(b, a) \left(\underbrace{(-j\omega) \sqrt{a} \int_{-\infty}^{\infty} X^*(\omega) H(a\omega) e^{-j\omega t} d\omega}_{CWT^*(b, a)} \right) d\omega = -j\omega_0 C_h \omega |x(t)|^2 \quad (4.37)$$

Basitleştirilmiş denklem (4.37), sinyalin zamana bağlı anlık frekansını verir. Yani:

$$\omega(t) = \frac{\omega_0 \int_{-\infty}^{\infty} |CWT(b, a)|^2 \frac{da}{a^3}}{\int_{-\infty}^{\infty} |CWT(b, a)|^2 \frac{da}{a^2}} \quad (4.38)$$

Anlık frekans elde edildikten sonra, entegrasyonu, aşağıda verildiği gibi açmaya gerek kalmadan basitçe sinyal fazını verir:

$$\varphi(t) = \int_0^T \omega(t) dt \quad (4.39)$$

burada T , $x(t)$ 'nin zaman süresini gösterir. Denklem 4.38'den anlık frekans (Instantaneous Frequency-IF)'nin yalnızca $IE(b) > 0$ olan b değerleri için anlamlı olduğu görülebilir ve bu şart skalogram tarafından her zaman sağlanmaktadır. Sinyal fazı her ne kadar anlık frekansın bükülmeye gerek kalmadan (unwrapping) basitçe integrali sayesinde hesaplanabileceği gibi, ortalama frekanstaki hatalar entegrasyon sebebiyle artabilir ve bu da sinyal fazının belirlenmesinde hatalara neden olur (Rioul ve Vetterli, 1991). Bu hatayı azaltmak için dikkate alınana zaman frekans bölgesi dönüşümünün yüksek bir zaman frekans çözünürlüğüne sahip olması gerekir. CWT lineer bir dönüşümdür ve zaman-frekans düzleminde iyi bir lokalleşme sağlar. Buna karşılık CWT aynı anda keyfi olarak yüksek bir zaman-frekans çözünürlüğü sağlamaz. Dalgacıkların bant genişliği genişlemeden olumsuz etkilenen ve daha iyi bir lokalizasyon ile sonuçlanan merkez frekanslarıyla orantılı olarak değişir. Ölçek küçüldükçe, dalgacıklar zamanda daha iyi lokalize olduğundan dönüşümün

zaman çözünürlüğü iyileşir, ancak frekans çözünürlüğü belirsizlik ilkesine göre bozulur (Haase ve Widjajakusuma, 2003).

4.3.2 Deneyisel Mod Ayırışımı

Deneyisel mod ayırışımı (DMA) durağan ve doğrusal olmayan sinyallerin analizinde kullanılan bir metottur. Bu metodun başlangıç noktası lokal titreşim adımlarındaki sinyalleri dikkate almaktır. Bu analizde sinyal tekrarlamalı ve uyarlamalı bir işleminden geçirilerek sonlu sayıda içsel mod fonksiyonlarına ayrıştırılmaktadır. Fourier veya dalgacık dönüşümünden farklı olarak deneyisel mod ayırışımında sabit bir taban işlevi gerekmemektedir (Huang ve ark., 1998). Bundan dolayı sinyalin doğasına uygun bir biçimde sinyal uyarlamalı bir metottur. Yöntemin ana fikri sinyaldeki yerel salınımları yakalayıp sinyali farklı frekanslardaki öz bileşenlerine ayrıştırmaya dayanır (Huang ve ark., 1998; Rilling ve ark., 2003).

Bu metot ilk olarak 1998'de Huang tarafından önerilmiştir (Huang ve ark., 1998). Dalgacık tekniğine benzer olarak çeşitli seviyelerden süzgeçlere sahip olduğu varsayılabilir ama bütünüyle incelenirse sinyale bağımlı uyarlamalı bir teknik olduğu görülebilir. Gürültü giderme ve buna benzer birçok alanda başarı ile kullanılmaktadır (Huang ve ark., 2003). Deneyle mod ayırışımı yöntemi, ilgili veri için hiçbir kabule gerek duymaz ve ilgili veriyi içsel mod fonksiyonlarına (İMF) ve kalan işarete ayrıştırır. Bu metot özellikle doğrusal olmayan işaretlerin lokal enerji çıkarımı ile ayrıştırır (Braun ve Feldman, 2011). İçsel mod fonksiyonları farklı sinyal konumlarında sinyalin karakteristiğine bağlı olarak hem yüksek frekans hem de alçak frekans detaylarını içermektedir.

Bu metot ile ilgili sinyal, ortalamaları 0 olan faz ve genlik bileşenlerinin toplamı şeklinde ayrıştırılır. Yenilemeli olarak elde edilen bu bileşenler, içsel mod fonksiyonları olarak adlandırılır. DMA yönteminin temel faydaları arasında başlıca şunlar sayılabilir:

- Uyarlamalı olması
- İşaret içindeki yerel salınımları kolayca yakalayabilmesi
- Durağanlık gerektirmemesi

DMA aracılığıyla işaret, yerel salınımların dikkate alınması ile farklı sıklıkta bileşenlere ayrılır. Dalgacık ve Fourier yöntemleri gibi önceden belirlenmiş temel işlevlere sahip bir yöntem değildir. Bu nedenlerden dolayı daha az matematiksel işlevler gerektirir.

DMA metodunda bir işaret aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$x(t) = r(t) + \sum_{k=1}^n d_k(t) \quad (4.40)$$

Bu eşitlikte; $x(t)$ çözümlenen sinyali, n ölçek sayısını, $d_n(t)$ n 'inci ölçekteki içsel mod fonksiyonunu ve $r(t)$ ise yenilemeler sonunda kalan (yaklaşık salınımları) artık sinyali temsil etmektedir. Her bir içsel mod fonksiyonu bir garmonik bileşen gibi işaret içerisindeki basit bir salınımı ifade etmektedir. Ancak harmonik bileşenlerin aksine, içsel mod fonksiyonlarının genlikleri ve sıklıkları sabit değildir ve zamanla değişiklik gösterebilmektedir. İçsel mod fonksiyonları farklı frekans bantlarına karşılık gelmektedir; fakat önceden belirlenmiş frekans bantları bulunmamaktadır. Analizi yapılan sinyal ile aynı uzunlukta olan içsel mod fonksiyonlarının iki önemli özelliği vardır:

Ekstremum denilen maksimum ve minimum noktalarının sayısı ile sıfır geçiş noktalarının sayısı ya birbirine eşit ya da en fazla tek bir birim kadar farklı olası ve yerel maksimum olarak adlandırılan zarfın ve yerel minimum olarak tanımlanan zarfın ortalama değerinin 0 olmasıdır (Huang ve ark., 1998). DMA yönteminde içsel mod fonksiyonları aşağıdaki gibi elde edilir (Huang ve ark., 1998; Rilling ve ark., 2003; Braun ve Feldman, 2011; Yu ve Yang, 2009):

İncelenen sinyal $x(t)$ olmak üzere:

1. $x(t)$ sinyalindeki tüm yerel ekstremum (alt ve üst zarflar) noktalar bulunur ve işaretlenir.
2. Bulunan üst ve alt ekstremum noktaları ara değerlendirme ile birleştirilir ve böylelikle $e_{max}(t)$ denilen bir üst zarf, $e_{min}(t)$ denilen bir alt zarf elde edilir.
3. Alt ve üst zarfların ortalamaları alınarak, ortalama sinyal $m(t)$ elde edilir.

$$m(t) = \frac{e_{max}(t) + e_{min}(t)}{2} \quad (4.41)$$

4. Ortalama sinyal asıl sinyalden çıkartılarak detay sinyali $d(t)$ elde edilir.
5. Elde edilen $d(t)$ sinyali içsel mod fonksiyonu özelliklerini sağlamıyorsa, ilk 4 adım $d(t)$ sinyali üzerinde uygulanmaya devam edilir ve bu işlem eleme işlemi olarak adlandırılır. $d(t)$ sinyali içsel mod fonksiyonu özelliklerini sağlayana kadar yineleme devam eder ve sağladığında sonlandırılır. Böylelikle ilk içsel mod fonksiyonu elde edilmiş olur. Bir sonraki içsel modun elde edilmesi için tüm adımlar $m(t)$ üzerinde tekrar uygulanır.

Her bir yineleme sonunda o moda ait bir detay sinyali elde edilir. Son olarak geriye kalan $m(t)$ sinyali ise artık sinyal olarak adlandırılır. Ara değerlendirme işlemi için kübik spline eğri uydurma yöntemi en iyi sonucu vermektedir (Huang ve ark., 2003). Genellikle elemeler sonunda elde edilen artık sinyalin gücü belirli bir seviyenin altında olunca yinelemeler durdurulur (Huang ve ark., 2003). Bu durumda n adet içsel mod sinyali elde edilir (N sinyalin boyutu olmak üzere $n = \log_2(N)$). DMA’de sinyal, içsel mod fonksiyonlarına ayrılmakta ve bunların tekrar toplanmasıyla asıl sinyal kayıpsız bir şekilde yeniden elde edilebilmektedir (Huang ve ark., 1998; Wu ve Huang, 2004).

Çok değişkenli sinyallerin DMA analizi için birçok algoritma geliştirilmiştir (Fleureau ve ark., 2011; Torres ve ark., 2011). Klasik DMA algoritması karışık problemler için şekillendirilmiştir. Farklı içsel mod fonksiyon bileşenlerinde; farklı ölçeklere sahip ya da tek bir skalalı sinyaller içeren içsel mod fonksiyonlarının kalıntı olabileceği gösterilmiş olup bu problemten kaçınmak için EMD’ye dayalı bütün Amprik Mod Ayırıştırma (CDMO) (Torres ve ark., 2011) ve Takım Amprik Mod Ayırıştırma (SDMA) (Wu ve Huang, 2009) olarak bilinen yeni yollar geliştirilmiştir.

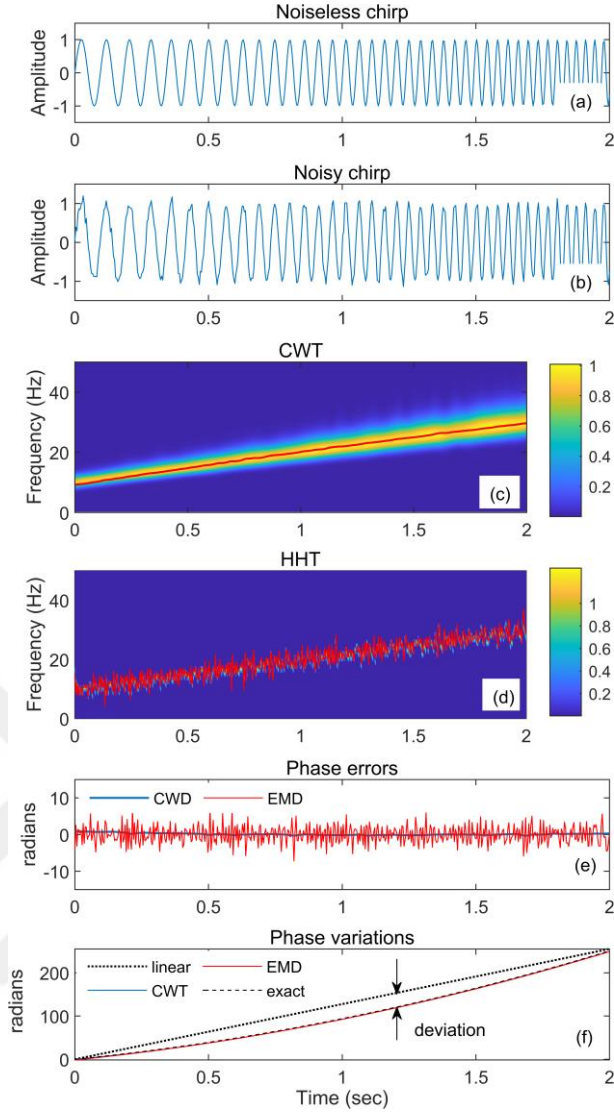
4.3.3. Sayısal Doğrulama ve Performans Değerlendirmesi

Skalogram kullanılarak sinyal fazı ve öznitelik çıkarımındaki etkinliğini göstermek amacıyla şekil 4.4’te gösterilen doğrusal bir chirp sinyali kullanıldı ve sonuçlar performans değerlendirmesi için DMA’nın sonuçlarıyla karşılaştırıldı. 128 Hz’de örneklenen ve 2 saniye boyunca üretilen simüle edilmiş sinyal aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$x(t) = \sin[2\pi(10t + 5t^2)] \quad (4.42)$$

Simüle edilmiş sinyalin ayrıca, 10dB’lik bir sinyal-gürültü oranına sahip sıfır ortalamalı rastgele bir bileşen tarafından kirlendiği varsayılmıştır. Skalogram hesaplaması için merkez frekansı $f_0 = 2.0\text{Hz}$ olan Morlet dalgacık seçilmiş ve yüksek hesaplama yükünden kaçınmak için oktav başına 10 ses kullanılarak oktav bandına dayalı hızlı hesaplama prosedürü gerçekleştirilmiştir.

Test sinyalinin skalogram ve HHT dönüşümleri Şekil 1’de gösterilmektedir. Scalogram gösteriminde, maksimum enerji yoğunluğunu takip eden bir yol dalgacık sırtı olarak adlandırılır ve bu yol boyunca $a(b)$ değerleri IF’yi verir. Gürültüsüz test sinyalinin anlık frekansı $IF(t) = 10 + 10t$ olduğundan, dalgacık sırtı zamanla doğrusal olarak değişir. Skalogramın birinci dereceden frekans momenti dikkate alınarak tahmin edilen anlık frekans, aynı zamanda ortalama frekansın kesin bir tahminini gösteren, tam olarak sırt üzerinde bulunan kalın kırmızı bir çizgi olarak skalogram üzerinde gösterilmiştir. Şekil 1(d), gürültülü test sinyalinin HHT dönüşümünü göstermektedir ve HHT dönüşümü yardımıyla elde edilen IF değerleri de kırmızı çizgi ile dönüşüm üzerinde gösterilmiştir. Şekil 1(e), gürültüsüz chirp’e kıyasla tahmini anlık frekanslardaki hataları gösterir. EMD tabanlı IF’nin gürültüden büyük ölçüde etkilendiği ve dalgalı bir görünüm verdiği görülebilir. Şekil 1(f), geri kazanılan ve analitik olarak hesaplanan (veya kesin) sinyal faz değişimlerini göstermektedir ve hesaplanan ve tahmin edilen anlık frekanslar arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir. Skalogram yardımıyla elde edilen ortalama frekansının, gürültü mevcut olduğunda bile sinyal fazını tam olarak geri kazanmak için kullanılabileceği sonucuna varılabilir.



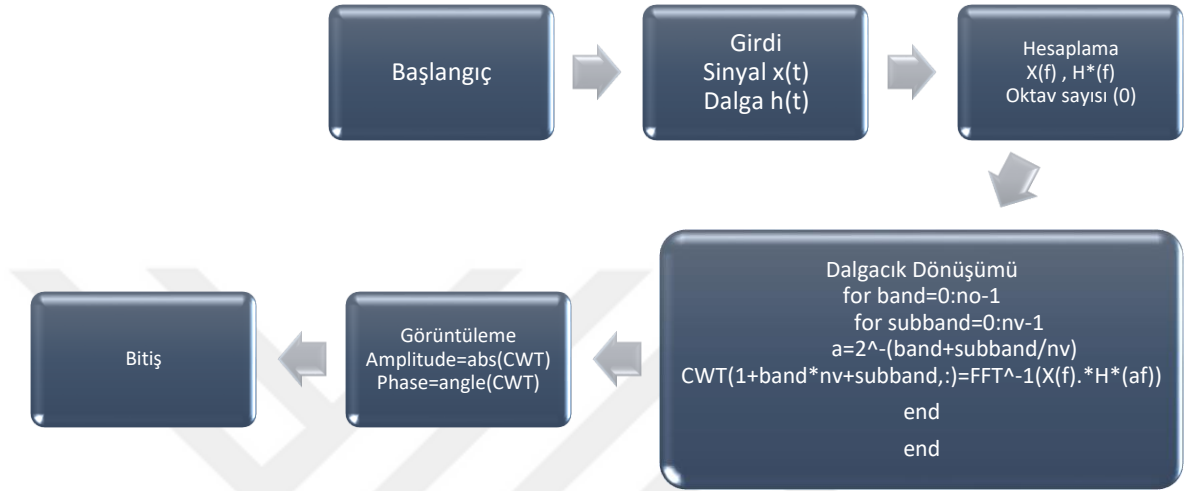
Şekil 4.4. Simüle edilmiş sinyal ve onun skalogramı, HHT ve faz bilgisi.

4.3.1.5 Dalgacık Dönüşümünün Uygulanması

Sürekli dalgacık dönüşümü, zaman alanında (eşitlik 4.10) veya frekans alanında (eşitlik 4.22) gerçekleştirilebilir. Zaman alanı hesaplaması bir konvolüsyon işlemidir ve dolayısıyla daha yüksek bir hesaplama yükü gerektirir. Sürekli dalgacık dönüşümünün frekans alanı hesaplaması ise basit bir çarpma işlemleriyle hızlı biçimde gerçekleştirilebilir.

Matlab kodunda dalgacık dönüşümünün hesaplama prosedürü aşağıdaki akış şeması şeklindedir. Hesaplama her oktavın eşit olarak seslere bölündüğü oktav bant analizine dayanmaktadır. Dalgacık hesaplamasında kullanılan oktav sayısı, veri zaman kaydının uzunluğu açısından dikte edilse de, ses sayısının seçimi, dönüşümün istenen frekans

özünürlüğüne bağlıdır. Ses sayısı ne kadar büyükse, frekans çözünürlüğü de o kadar iyi olur. Akış şemasının görüntüleme bölümündeki genlik (absolute value-abs) dönüşümün büyüklüğünü, açđ (angle) ise sinyal fazını ifade etmektedir.



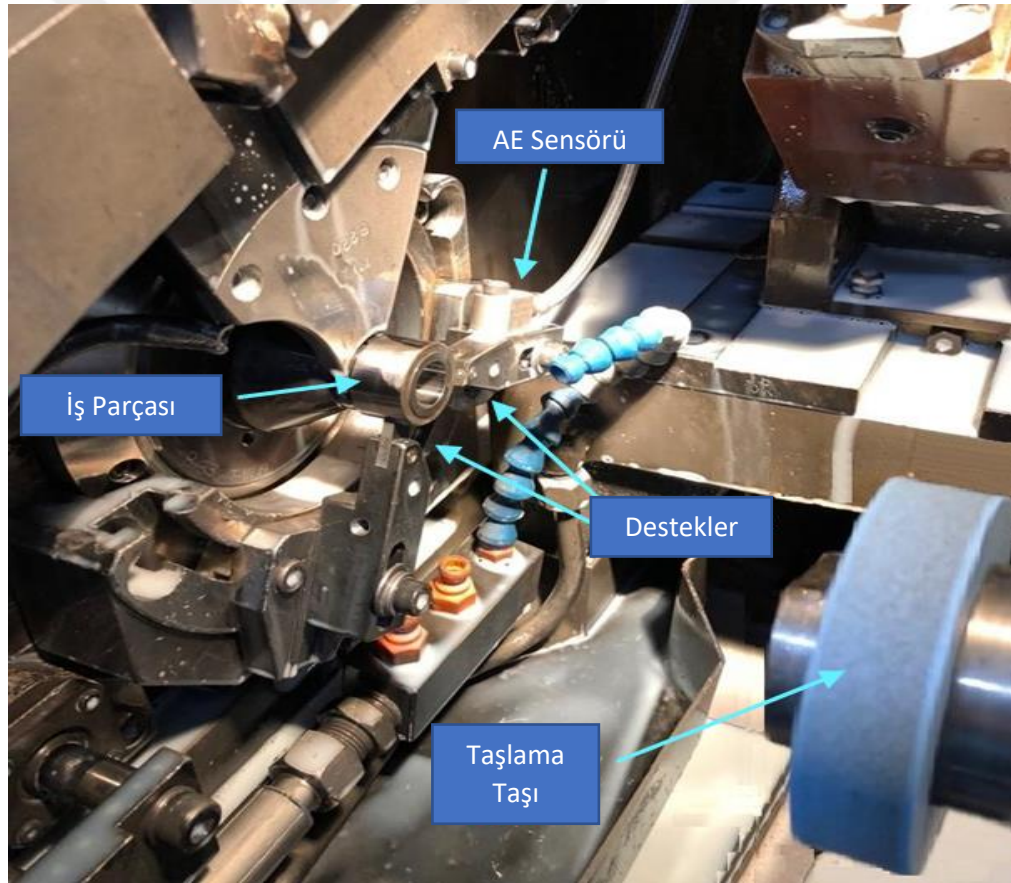
Şekil 4.5. Sürekli dalgacık dönüşümünün hızlı hesaplama prosedürü

5. DENEYSEL VERİLERİN İNCELENMESİ

Bu bölüm sürekli dalgacık ve Hilbert-Huang dönüşümleri kullanılarak farklı taşlama koşullarında elde edilen akustik emisyon verilerinin incelemesi yapılmaktadır.

5.1 Proses Parametrelerinin Tanımlanması ve Deney Düzeneği

Tüm deneyler şekil 5.1 de gösterilen daldırılmalı tip CNC silindirik taşlama tezgahında 30 mm çapında bir vitrifiye alüminyum oksit taşlama taşı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bütün deneysel veriler 6806 bilyalı rulmanın dış bilezik yuvarlama yolu taşlama işlemi esnasında elde edilmiştir. Bu işlem için DIN 100Cr6 çelik malzeme kullanılmış olup, yuvarlanma yolu 60HRC'de 0.15 mm derinliğe kadar sertleştirilmiştir. Taşlama sırasında %4 oranda suyla çözeltiilmiş soğutma sıvısı kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Dalma tipi CNC silindirik taşlama makinesi.

Yapılan taşlama deneyleri dört farklı çalışma koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bunlar normal taşlama, daha yüksek kesme hızı, daha büyük besleme ile taşlama ve küçük elmaslama kesme derinliğidir. Deneyler sırasında tüm kesme koşulları için iş parçası hızı 900 dev/dk olarak ayarlanmıştır. Normal taşlama testi için, taşlama taşının çevresel hızı 57 m/sn (36300 dev/dk) ve radyal besleme hızı 0.16 mm/sn olarak seçilmiştir. Daha yüksek bir kesme hızı uygulandığında, taşlama taşının çevresel hızı, besleme hızı değiştirilmeksizin 62 m/sn'ye yükseltilmiştir. Bahsedilen tüm taşlama koşulları için, her 6 iş parçasının taşlanmasıyla birlikte taşlama çarkı 0.03 mm derinliğinde bir elmaslamaya tabi tutulmuştur. Son deneyde hem kesme hızı hem de besleme hızı değiştirilmeden elmaslama derinliği 0.01 mm'ye düşürülmüştür. Testler için kullanılan proses parametreleri aşağıdaki Tablo 5.1 de verilmektedir.

Tablo 5.1. Taşlama testleri için kullanılan proses parametreleri

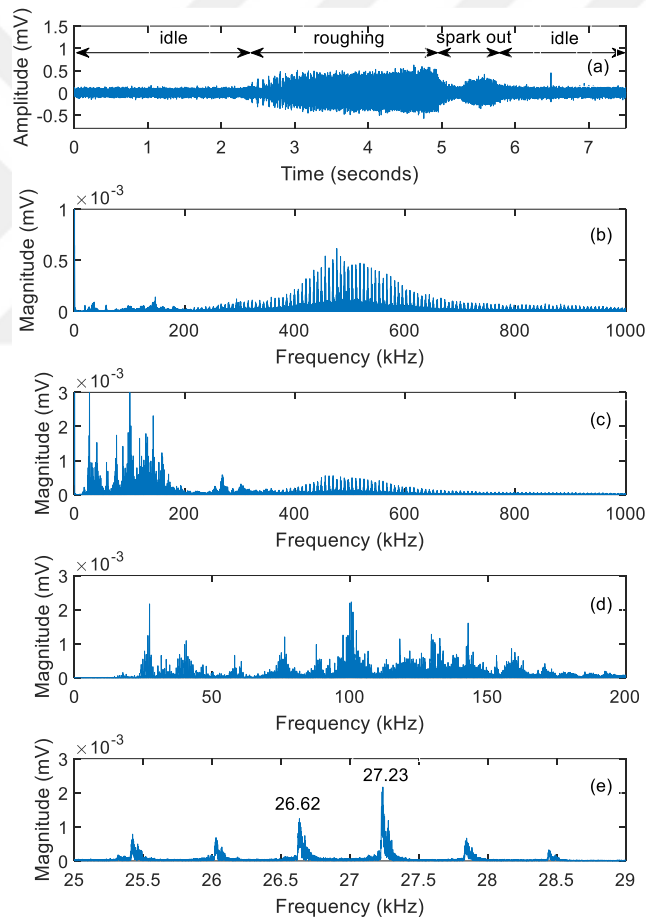
	Normal	Yüksek hızda kesme	Besleme oranı	Elmaslama derinliği
Çevresel hız (m/sn)	57	62	57	57
Parça hızı (dev/dk)	900	900	900	900
Besleme hızı (mm/sn)	0.16	0.16	0.3	0.16
Elmaslama derinliği(mm)	0.03	0.03	0.03	0.01

Ortaya çıkan akustik emisyon sinyallerini yakalamak için Kistler 8152C tipi bir akustik emisyon sensörü kullanıldı. Akustik emisyon sinyalleri, taşlama periyodundan önce ve sonra boşta çalışmaları da kapsayacak şekilde 2MHz örnekleme hızında toplanmıştır. Örtüşme (aliasing) etkisini önlemek için veri toplama kartında yerleşik bir anti-aliasing filtresi kullanılmıştır. Her taşlama işlemi için, sağlıklı ve yanmış durumların her biri için, 3 akustik emisyon verisi seçildi ve güvenilirliği artırmak için bu verilerden anlık değerlerinin ortalaması alındı. Skalogram analizi için dalgacık merkezi frekansı $f_0 = 2.0 \text{ Hz}$ seçilmiş ve yüksek hesaplama yükünden kaçınmak için oktav başına 10 ses kullanılarak oktav bandına dayalı hızlı hesaplama prosedürü gerçekleştirilmiştir.

5.2 Deney Sonuçları

5.2.1 Düzenli Taşlama

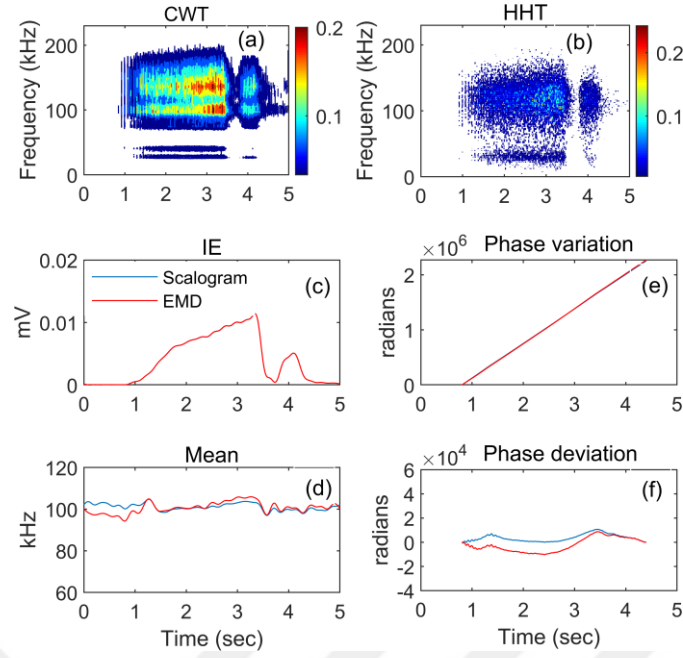
Şekil 5.2, normal taşlama sırasında elde edilen akustik emisyon sinyalinin ve boşta kalma ve kesme periyotları için spektrumlarını göstermektedir. Akustik emisyon sinyalinin genliğinin taşlamanın erken safhasında düzenli bir artış gösterdiği ve daha sonra kaba işleme esnasında küçük artış ve azalışlar göz ardı edilirse neredeyse değişmeden kaldığı görülebilir. Gerçek kesme derinliğinin, belirtilen derinliğe yaklaşılan kadar kademeli olarak artması bunun temel nedenidir. Bu nedenle, deforme olmamış talaş kalınlığında, dolayısıyla da kesme kuvvetinde sürekli bir artış görülür. Bu da daha büyük deformasyona yol açar ve akustik emisyonun mukavemetini yükseltir.



Şekil 5.2. (a) Normal taşlama için ham akustik emisyon sinyali, (b) boşta kalma süresi için akustik emisyon sinyalinin büyütülmüş spektrumu, (c) kesme periyodu için akustik emisyon sinyalinin spektrumu, (d) filtrelenmiş akustik emisyon sinyalinin spektrumu, (e) 27 kHz civarında filtrelenmiş akustik emisyon sinyalinin yakınlaştırılmış spektrumu.

Boşta kalma periyodu spektrumu, 500 kHz civarında bir periyodik frekans aktivitesi sergiler ve uzantıları 200 kHz'den 1 MHz'e kadar olan bölgede görülebilir. Bu, makine ile ilgili olayların akustik emisyon sinyaline yansıması olarak düşünülebilir. Kesme periyodu spektrumu, taşlama işlemi için durum belirten bilgilerin çoğunun 200 kHz'e kadar olan düşük frekans bölgesinde görüldüğünü ortaya koymaktadır. Bundan dolayı, deneyler sırasında elde edilen tüm akustik emisyon sinyalleri, makine kaynaklı frekans aktivitelerini ve gürültüyü önlemek için, köşe frekansları 3 kHz ve 200 kHz olarak ayarlanmış, 10. Mertebe eliptik bir filtre yardımıyla bilgisayarda bant geçirgen filtreden geçirilmiştir. Filtrelenmiş akustik emisyon sinyalinin spektrumu, en belirgin tepe noktaları 27.2 kHz ve 99.8 kHz'de görülen 200 kHz'e kadar periyodik olmayan frekans aktiviteleri sergiler ve bu frekans tepe noktalarının çevresinde çok sayıda yan bant görülmektedir. Spektrum 27 kHz tepe noktası etrafına yakınlaştırıldığında, yan bantların 605 Hz (yani 36300 dev/dak) aralıklarla birbirinden ayrıldığı görülmektedir. Bu yan bant aktiviteleri, kendisini her devirde tekrarlayan taşlama çarkı dengesizliği veya eksantrikliği gibi hatalardan kaynaklanır ve tüm frekanslarda gözükmemektedir.

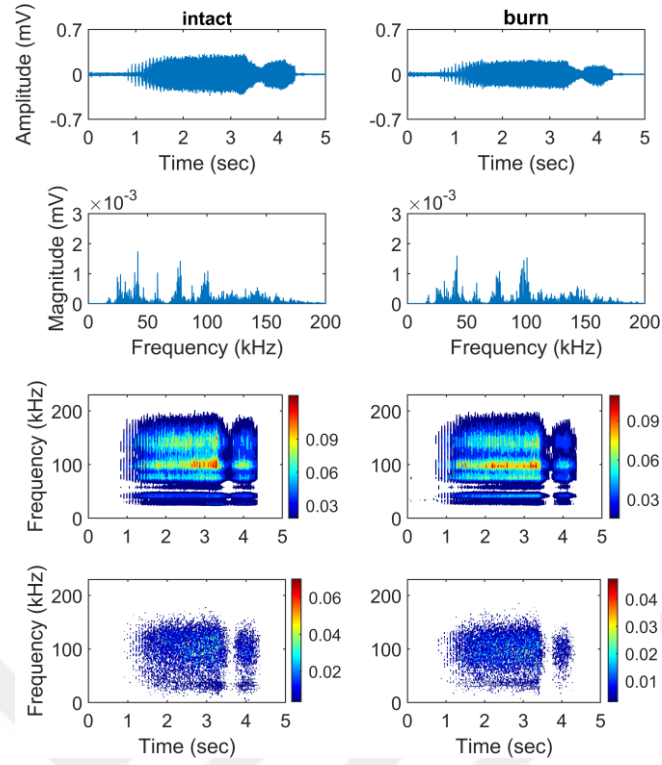
Şekil 5.3, düzenli taşlama durumunda elde edilen AE sinyalinin CWT ve HHT dönüşümleri ile bu dönüşümlerden türetilen AE sinyalinin anlık enerjisi ve sinyal fazının zamana göre değişimlerini göstermektedir. Sürekli dalgacık dönüşümü frekans çözünürlüğü yüksek frekanslarda bozulduğundan dolayı yüksek frekanslı bileşenlerin skalogramda ayırt edilmesi güçleşmektedir. Skalogram ve EMD kullanılarak elde edilen anlık enerji değerleri birbiriyle aynıdır ve ortalama frekansların da neredeyse aynı olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan faz değişiklikleri makul ölçüde doğrusal görünse de, skalogramdan çıkarılan faz, 12818 radyanlık bir tepeden tepeye sapma sergiler. EMD analizi ise 18896 radyanlık daha büyük bir faz sapması verir. Akustik emisyon sinyallerinin taşlama koşulları için skalogram ve EMD tabanlı faz sapmaları aşağıdaki Tablo 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Düzenli taşlama için akustik emisyon sinyalinin (a) CWT (Sürekli Dalgacık Dönüşümü), (b) HHT, (c) tahmini anlık enerji, (d) ortalama frekans değişimi, (e) sinyal fazları, (f) kesme dönemleri için faz sapmaları.

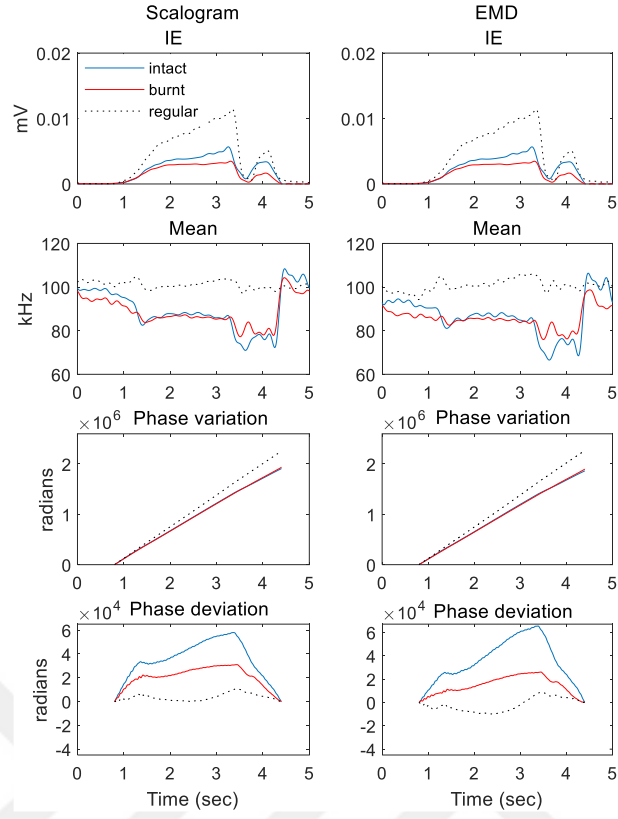
5.2.2 Yüksek Kesim Hızında Taşlama

Şekil 5.4 kesme hızı 62 m/sn'ye ayarlandığında sağlıklı ve yanık koşullar için akustik emisyon sinyallerinin zaman, frekans, CWT ve HHT grafikleri verilmiştir. Sağlıklı durumda elde edilen akustik emisyon sinyallerinin zaman izi normal taşlamaya çok benzese de, daha az genlik değişimi sergilediği ve Tablo 5.2'de verildiği gibi daha küçük bir RMS değeri verdiği görülmüştür (RMS hesaplaması için sadece taşlama süresi dikkate alınmıştır). Bunun temel nedeni, deforme olmamış talaş kalınlığının ve dolayısıyla kesme kuvvetinin artan dönme hızı ile azalması ve bunun sonucunda daha küçük deformasyonların oluşması ve sonuçta akustik emisyon şiddeti azalmıştır (Han ve Wu, 2013). Akustik emisyon sinyalinin frekans içeriği kesme hızının artmasıyla değişiklik sergilemektedir. Normal taşlama ile karşılaştırıldığında, tepe noktalarının frekans konumları değişmezken, genliklerinde önemli ölçüde bir azalış gözlemlenmektedir. İş parçası hasar gördüğünde ise ortaya çıkan akustik emisyon sinyalinin genliği daha da azalır.



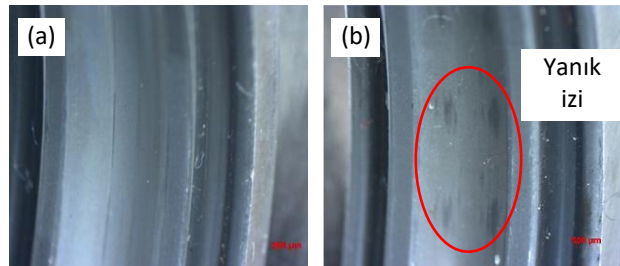
Şekil 5.4. Daha yüksek bir kesme hızı uygulandığında sağlıklı ve yanma koşulları için akustik emisyon sinyallerinin zaman, frekans, sürekli dalgacık dönüşümü (CWT) ve Hilbert-Huang dönüşümü (HHT)

Şekil 5.5, sağlıklı ve yanık hasarlı koşullar için akustik emisyon sinyallerinin skalogram ve HHT tabanlı anlık özelliklerini göstermektedir. Normal taşlamada olduğu gibi, hem skalogram hem de HHT aynı anlık enerji değerlerini verir ve çok benzer ortalama frekans değişimleri sağlar. Yanmış durum için anlık enerji gözle görülür şekilde azalmasına rağmen, ortalama frekans, bozulmamış duruma kıyasla kaba işleme periyodu esnasında hafif bir azalma gösterir. Yanmış durum için sinyal fazı, hasarsız duruma göre daha az sapma sergiler.



Şekil 5.5. Yüksek kesme hızı uygulandığında sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin skalogram ve HHT tabanlı anlık özellikleri.

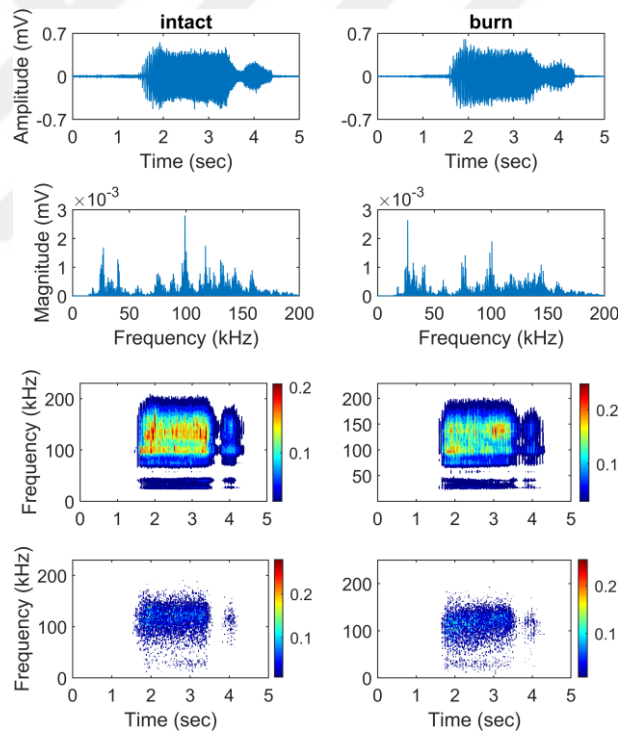
Şekil 5.6, yüksek kesme hızı uygulaması sonrası sağlıklı ve yanmış iş parçalarının yüzeylerini göstermektedir. Görüldüğü üzere yanık hasarı lokal koyu noktalar şeklinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.6. (a) Yüksek kesme hızı uygulaması sonrası elde edilen sağlıklı ve (b) hasarlı parçaların yüzeyi

5.2.3 Daha Büyük Besleme Hızında Taşlama

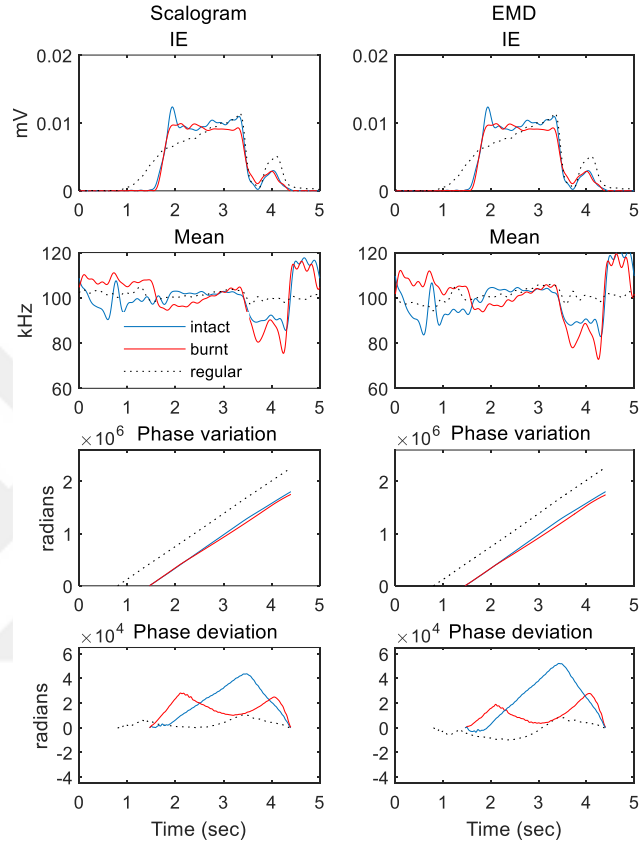
Şekil 5.7, besleme hızı 0.16 mm/sn'den 0.3 mm/sn'ye yükseltildiğinde sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin zaman ve frekans, CWT ve HHT grafiklerini göstermektedir. Normal taşlama ile karşılaştırıldığında, ilerleme hızının artırılması kaba işleme süresinin azalmasına neden olmakta, ancak akustik emisyonun genliğinin artmasına sebep olmaktadır. Bunun temel nedeni olarak ilerleme hızı arttıkça deforme olmayan talaş kalınlığı artacaktır, bu da daha fazla kesme kuvveti ve büyük deformasyonların oluşumuna sebep olması gösterilebilir. Sonuçta hem iş parçası ile temas halinde olan aktif parçacıkların sayısında hem de akustik emisyon aktivitelerinin gücünde bir artışa yol açar. İş parçası termal olarak hasar gördüğünde, hasarsız duruma göre AE enerjisinin frekans konumları değişmemekte, bununla beraber Tablo 5.2'de verildiği gibi zaman bölgesinde güçleri önemli ölçüde etkilenmektedir.



Şekil 5.7. Daha büyük besleme uygulaması esnasında sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin zaman, frekans, CWT ve HHT dönüşümleri.

Şekil 5.8, Besleme hızı artırıldığında sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin skalogramından ve HHT'den türetilen anlık özellikleri göstermektedir. Daha yüksek dönme hızı durumunda olduğu gibi skalogram ve HHT neredeyse aynı anlık

özellikleri sağlar ve yanık hasarının varlığı genellikle kaba işleme periyodu esnasında hem anlık enerji hem de anlık frekans değerlerinde azalmalara neden olur. Akustik emisyon sinyalinin fazı yanık hasarlı durumda sağlıklı duruma göre daha az sapma gösterir.

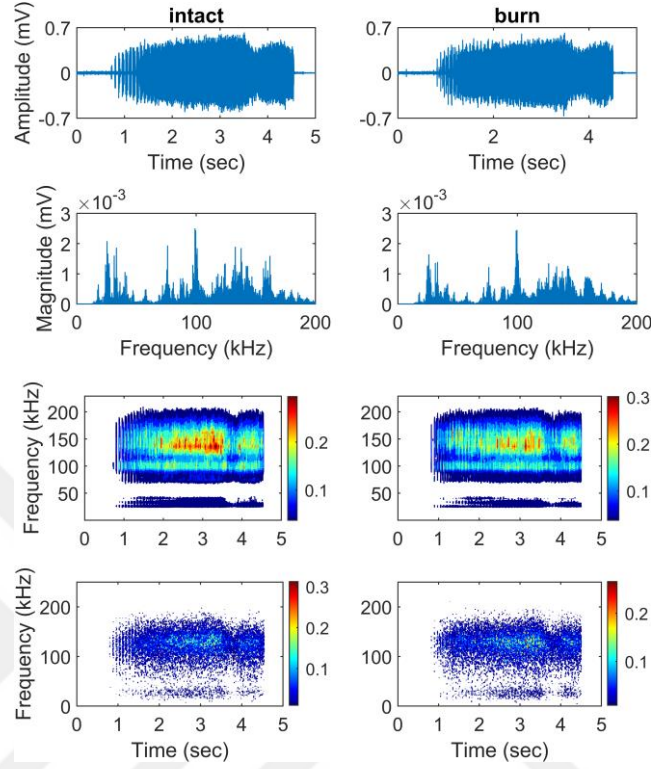


Şekil 5.8. Daha büyük besleme uygulandığında sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin skalogram ve HHT tabanlı anlık özellikleri

5.2.4 Daha Küçük İşleme Kesme Derinliğinde Taşlama

Deneyler esnasında, her altı iş parçasının taşlanması sonrasında tek nokta bileme aleti kullanılarak taşlama taşının yüzeyi yeniden yüzeylendirilmiş; elmaslama derinliği 0.03 mm ve elmaslamada devir başına işleme 0.22 mm/dev olarak seçilmiştir. Daha az bir elmaslama miktarının yanık oluşumu üzerinde bir etkisi olup olmadığını incelemek için besleme miktarının değiştirmeksizin (yani 0.16 mm) elmaslama miktarını 0.03 mm'den 0.01 mm'ye düşürülmüştür. Şekil 5.9, elmaslama miktarı 0.01 mm'ye düşürüldüğünde sağlıklı ve yanık

hasarlı durumlar için akustik emisyon aktivitelerinin zaman, frekans, sürekli dalgacık dönüşümü ve Hilbert-Huang dönüşümü temsillerini gösterir.

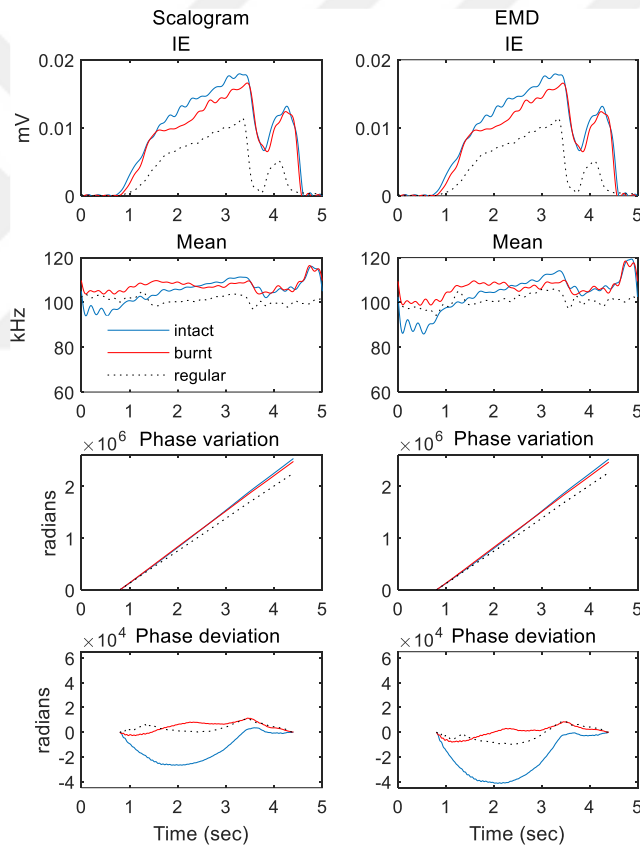


Şekil 5.9. Daha az elmaslama miktarı uygulandığından sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin zaman, frekans, CWT ve HHT dönüşümleri.

Hasarsız durumdaki akustik emisyonun normal taşlamaya göre daha büyük genlik değişimleri sergilediği görülmektedir. Bunun nedeni, ince bir elmaslama uygulandığında taş yüzeyinde daha fazla kesici ağız ortaya çıkmasıdır. Daha fazla kesici ağız varlığı, daha düşük kesme kuvveti ve daha ince yüzey açısından her zaman etkili bir kesme eylemi sağlamaz (Nikolaou ve Antoniadis, 2002). İnce elmaslama uygulaması, mat bir taş yüzeyi üretme eğilimindedir ve kesme yüzeyindeki tanelerde çatlaklara neden olmaktadır (Brian, 2014). Elmaslamadan hemen sonra yapılan taşlama işlemi, taşlama gücünde ve kesme kuvvetlerinde bir artışa neden olmaktadır. Dolayısıyla ortaya çıkan akustik emisyon şiddeti de güçlenmektedir. İş parçası yandığında, sağlıklı ve yanık koşulları için elde edilen akustik emisyon sinyallerinin zaman izleri arasında kolayca fark edilebilir bir fark yoktur ve bu Tablo 5.2’de verildiği gibi RMS değerleri üzerinde de görülmektedir. Daha az bir elmaslama

uygulaması, frekans tepelerinin konumlarını değiştirmemekte, fakat frekans bileşenlerinin genlikleri her iki taşlama koşulunda da normal taşlamaya göre önemli ölçüde değişmektedir.

Şekil 5.10, elmaslama miktarı 0.01 mm'ye düşürüldüğünde, sağlıklı ve yanmış koşullar için akustik emisyon sinyallerinin skalogram ve HHT tabanlı anlık özellikleri gösterir. Düşük elmaslama miktarı uygulandığında, hem anlık enerji hem de ortalama frekansın değerlerini normal taşlamadakilere kıyasla daha büyük olur. Daha yüksek dönme hızı ve daha büyük besleme durumlarında olduğu gibi, yanık hasarının varlığı, anlık enerji değerlerinde bir azalmaya neden olmakta ve taşlama periyodu sırasında hasarsız duruma göre fazda daha az sapma sağlamaktadır.



Şekil 5.10. Daha küçük işleme kesme derinliği uygulandığında sağlıklı ve yanık hasarlı durumlar için akustik emisyon sinyallerinin skalogram ve amprik mod ayrışımı tabanlı anlık özellikleri

Tablo 5.2. Farklı taşlama koşulları için sağlıklı ve yanık koşullarda elde edilen akustik emisyon sinyallerinin RMS ve faz sapma değerleri

		Düzenli	Yüksek Kesme Hızı		Büyük Besleme		Küçük Kesme Derinliği	
		Sağlıklı	Sağlıklı	Yanmış	Sağlıklı	Yanmış	Sağlıklı	Yanmış
RMS		0.074	0.048	0.040	0.077	0.076	0.107	0.102
Faz Sapması (radyan)	Skalogram	10778	57647	31006	43723	28343	30234	14054
	EMD	18896	65137	26087	55744	27872	41717	16388

6. SONUÇLAR

Bu bölüm, tezde amaçlanan hedefleri ve tezde sunulan çalışmalar ile ilgili genel ve spesifik sonuçları vermektedir.

6.1 Amaçlar

1. Farklı taşlama koşulları altında (Yüksek kesme hızı, yüksek ilerleme hızı ve daha az elmaslama miktarı) meydana gelen akustik emisyon sinyallerinin algılanması.
2. Zaman ve frekans bölgesi değişimleri dikkate alınarak hasarsız ve yanık hasarlı durumlardaki AE sinyallerinin özelliklerinin incelenmesi.
3. Sürekli dalgacık ve Hilbert-Huang dönüşümlerinin teorik esaslarının incelenmesi.
4. Farklı koşullarda elde edilen AE sinyallerinin sürekli dalgacık dönüşümü ile işlenerek termal hasar belirtilerinin tespit edilmesi.
5. Sürekli dalgacık dönüşümünün termal hasar belirlemedeki Hilbert-Huang dönüşümü ile kıyaslanarak performansı incelenmek istenmiştir.

Sonuçlar

Bu çalışma, farklı taşlama işlemleri altında oluşan yanık hasarının tespiti için skalogram tabanlı anlık sinyal özelliklerini kullanılmış, Hilbert-Huang dönüşümü kullanılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bunun sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Akustik emisyonun çalışma koşullarındaki herhangi bir değişikliğe karşı çok hassas olduğu tespit edilmiştir.
- Çalışma şartlarındaki olası herhangi bir değişikliğin RMS değerinde belirgin olduğu gözlemlenmiştir.
- Elde edilen akustik emisyonun gücünün, ilerleme hızı arttıkça ya da daha az elmaslama miktarı uygulandığında arttığı, fakat daha yüksek bir kesme hızı uygulandığında ise azaldığı tespit edilmiştir.
- Frekans alanında, akustik emisyon enerjisinin tüm taşlama koşulları için durum bildiren bilgilerin 180 kHz'e kadar olan frekans alanında mevcut olduğu görülmüştür.
- Kesme koşulu değiştiğinde, frekans bileşenlerinin konumlarının değişmeden kaldığı, ancak frekans bileşenlerinin güçlerinin önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür.

- İş parçasının termal olarak hasar gördüğünde, hasarsız duruma göre akustik emisyonun gücünün azaldığı ve tüm taşlama işlemleri için RMS değerlerinde düşüşe neden olduğu gözlemlenmiştir.
- Akustik emisyon sinyallerinin anlık özellikleri hem skalogram hem de HHT kullanılarak çıkarılmış ve her iki yöntemle de elde edilen anlık enerji (IE) değerlerinin tamamen aynı olduğu görülmüştür.
- Skalogram ve HHT dönüşümleri ile elde edilen ortalama frekans değişimleri benzer ve değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu bulunmuştur.
- Tüm taşlama işlemlerinde parçada yanık hasarı oluştuğunda, AE'nin anlık enerjisinde bir düşme gözlemlenmektedir.
- Hem anlık enerjinin hem de faz sapmasının yanık hasarının varlığına oldukça duyarlı olduğu, yanık hasarı oluştuğunda sinyal fazı daha az bir sapma sergilediği tespit edilmiştir.

Öneriler

- Bu tezde taşlama sırasında oluşan yanık hasarı akustik emisyon özellikleri incelenerek tespit edilmeye çalışılmıştır. Yanık hasarı sonucunda malzemede oluşan sertlik, mikro yapı gibi mekanik özelliklerin incelenmesi literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.
- Kesici tanelerin malzeme ile temas ettiği süre malzeme ve kesici taşın boyutlarına bağlıdır ve boyutlar arttıkça temas süresi artar. Kesme süresindeki bu artış ısı oluşumu ve soğutma yetersizliğine sebep olur. Boyut faktörünün yanık oluşumuna etkisinin belirlenmesi amacıyla, farklı çaplarda iş parçası taşlanarak boyut etkisinin incelenmesi faydalı olacaktır.
- Bu çalışmada farklı taşlama koşulları altında yapılan taşlama işlemi sırasında malzemede oluşan yanık hasarının tespiti sürekli dalgacık dönüşümü esaslı anlık enerji ve sinyal fazındaki değişimlere göre gözlemleme esasında yapılmıştır. Sonraki çalışmalarda yapay zeka uygulamalarıyla yanık hasarının hangi taşlama koşullarında oluştuğunun tespit edilmesi faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ball, A. D., “*Machine Condition Assessment and Fault Diagnosis*”, Ph.D. Thesis, University of Manchester, 1991.
- Bentley, P. M. and McDonnell, J. T. E., “Wavelet Transforms: An Introduction”, *Electronics & Communication Engineering Journal*, pp. 175-186, August 1994.
- Broch, T.J., “Application of the B&K equipment to mechanical vibration and shock measurements”, 1973, Brüel&Kjaer
- Cander, P. 1975. “The Intrinsic Characteristics of Ground Surface”, Reprinted From The Proceedings of The Abrasive Engineering Society’s International Technical Conference.
- Cempel, C., “*Vibroacoustic Condition Monitoring*”, Ellis Horwood Limited, 1991.
- Chui, Ch. K., “*An Introduction to Wavelets: Wavelet Analysis and its Applications*”, Vol. 1, Academic Press Inc., Boston 1992.
- Demir, H. And Güllü, A., 2008, “Taş dokusunun yüzey pürüzlülüğü ve taşlama kuvvetlerine etkilerinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23: 77-83.
- Dyee, D. And Steward, 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.
- Dyer, D. and Stewart, R. M., “Detection of Rolling Element Bearing Damage by Statistical Vibration Analysis”, *Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design*, Vol. 100, pp. 229-235, 1978.
- G. Rilling, P.Flandrin, P.Gonçalves, “ On Empirical Mode Decomposition and its algorithms”, IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, NSIP-03, Grado, 2003.
- G. Rilling, P.Flandrin, P.Gonçalves, “ On Empirical Mode Decomposition and its algorithms”, IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, NSIP-03, Grado, 2003.
- Grossmann, A., Kronland-Martinet, R., and Morlet, J., “Reading and Understanding Continuous Wavelet Transforms”, In Combes J M, Grossmann A, and Tchamitchian Ph, editors, *Wavelets. Time-Frequency Methods and Phase Space*, Springer-Verlag, Berlin, 1989.
- Guo, Weicheng, et al. "An intelligent grinding burn detection system based on two-stage feature selection and stacked sparse autoencoder." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 103.5 (2019): 2837-2847.
- Harris, M.W., Lavine, A.S. 1991. Thermal Aspects of Grinding: The Effect of The Wheel Bond on Heat Transfer To on Abrasive Grain, *Journal of Engineering For Industry*, (113), 395-401.

- Heneghan, C., Khanna, S. M., Flock, A., "Investigation the Nonlinear Dynamics of Cellular Motion in the Inner Ear Using the Short-Time Fourier and Continuous Wavelet Transform", *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 42, No. 12, pp. 3335-3351, 1994.
- Holmerg, K., Matthews, A. 1994. Coating Tribology, Elsevier, 11-268.
<https://www.nde-ed.org/>
- Hübner, Henrique Butzlaff, Marcus Antônio Viana Duarte, and Rosemar Batista da Silva. "Automatic grinding burn recognition based on time-frequency analysis and convolutional neural networks." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 110.7 (2020): 1833-1849.
- Inasaki, I., 1998, "Application of acoustic emission sensor for monitoring machining Processes", *Ultrasonics*, 36: 273-281.
- International Newsletter from AGEMA Infrared Systems, "Infrared Hotline", Spring 1997.
- J. Fleureau, J.C. Nunes, A. Kachenoura, L. Albera, L. Senhadji. "Turning tangent empirical mode decomposition: a framework for mono- and multivariate signals" *IEEE Trans. Signal Process.* Vol.59, pp.1309–1316. 2011.
- J. Yu, L. Yang, "Analysis of Harmonic and Interharmonic Based on Hilbert Huang Transform" *Computational Intelligence and software Engineering*, pp. 1-4, December 2009.
- 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.
- Leondes, C.T., "Computer-aided design, engineering and manufacturing: Systems techniques and applications volume I: Systems techniques and computational methods.", 2000, CRC Press, USA.
- Lidsay R. P. 1971. On The Metal Removal And Wheel Removal Parameters, Surface Finish, Geometry And Thermal Damage In Precision Grinding, Ph.D. Dissertation, Worcester Polytechnic Institute.
- 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.
- Lyon R. H., "*Machinery Noise and Diagnostics*", Butterwords Publishers, Boston, 1987.
- M. Haase and J. Widjajakusuma, "Damage identification based on ridges and maxima lines of the wavelet transform," *Int. J. Eng. Sci.*, vol. 41, pp. 1423-1443, 2003.
- M.E. Torres, M.A. Colominas, G. Schlotthauer, P. Flandrin, A complete ensemble empirical mode decomposition with adaptive noise. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp.4144–4147. 2011
- Martin, H. R., "Detection of Gear Damage by Statistical Vibration Analysis", *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers*, Part-C, pp. 395-401, 1992.
- Martin, H.R., 1992, "Detection of gear damage by statistical vibration analysis", *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers*, Part-C, pp. 395-401.

- Meyer, Y., “*Wavelets: Algorithms & Applications*”, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia 1993.
- Mičietová, Anna, et al. "Detection of grinding burn through the high and low frequency Barkhausen noise." *Tehnički vjesnik* 24.Supplement 1 (2017): 71-77.
- 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.
- N.E. Huang, M.L.C. Wu, S.R. Long, S.S.P.Shen, W.Qu, P.Gloersen, K.L. Fan, “A confidence limit for the empirical mode decomposition and Hilbert spectralanalysis” *Proc. Roy. Soc. A:Math.Phys.Eng.Sci.* Vol.459, pp.2317–2345. September 2003
- N.E. Huang, M.L.C. Wu, S.R. Long, S.S.P.Shen, W.Qu, P.Gloersen, K.L. Fan, “A confidence limit for the empirical mode decomposition and Hilbert spectralanalysis” *Proc. Roy. Soc. A:Math.Phys.Eng.Sci.* Vol.459, pp.2317–2345. September 2003
- N.E. Huang, Z. Shen, S.R. Long, M.L Wu, H.H. Shih, Q. Zheng, N.C. Yen, C.C. Tung and H.H. Liu, “The Emprical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis,” *Proc. Roy. Soc. London A: Math.Phys.Eng.Sci*, Vol. 454, pp. 903-995, March 1998.
- N.E. Huang, Z. Shen, S.R. Long, M.L Wu, H.H. Shih, Q. Zheng, N.C. Yen, C.C. Tung and H.H. Liu, “The Emprical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis,” *Proc. Roy. Soc. London A: Math.Phys.Eng.Sci*, Vol. 454, pp. 903-995, March 1998.
- N.G. Nikolaou and I.A. Antoniadis, “Demodulation of Vibration Signals Generated by Defects in Rolling Element Bearings using Complex Shifted Morlet Wavelet,” *Mech Syst Signal Process.*, vol. 16(4), pp. 677-694, 2002.,
- Neale, M. J., and Associates, “*A Guide to Condition Monitoring of Machinery*”, HMSO, 1979.
- Okuyama, S., Nakamura, Y. And Kawamura, S., “Computation of grinding temperatur considering the convective heat transfer”, *Journal of Japan Society of Precision Engineering*, 59: 631-636 (1993).
- Opoku, Kevin S. "Determining the onset of grinding burn using magnetic Barkhausen noise." (2005).
- R.W. Brian, “*Principles of modern grinding technology* 2nd ed.,” Elsevier, Oxford, 2014.
- Randal, R. B., “*Frequency Analysis*”, Bruel & Kjaer, 1987.
- Rao, S. S., “*Mechanical Vibrations*”, Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
- Rioul, O. and Vetterli, M. “Wavelets and Signal Processing”, *IEEE SP Magazine*, pp. 14-38, October 1991.
- S. Braun, M. Feldman, “Decomposition of non-stationary signals in to varying time scales: Some aspects of the EMD and HVD methods. *Mech. Syst. Signal Process*” Vol.25, pp2608–2630.2011

- S. Braun, M. Feldman, "Decomposition of non-stationary signals in to varying time scales: Some aspects of the EMD and HVD methods. Mech. Syst. Signal Process" Vol.25, pp2608–2630.2011
- Sackmann, Daniel, Jonas Heinzl, and Bernhard Karpuschewski. "An approach for a reliable detection of grinding burn using the Barkhausen noise multi-parameter analysis." *Procedia CIRP* 87 (2020): 415-419.
- SCHENCK Catalogue, "Transducers for Vibration Measurement and Machine Monitoring", Dartstadt, Germany.
- Schey, J. A. 1987. Introduction To Manufacturing Processes, Mc Graw Hill Book Company, Second Edition, Singapore, 441-553.
- Srihari, G., Lal, G. K. 1996. Mechanics of Vertical Surface Grinding, *Journal of Processing Technology*, Elsevier, 1 (62), 393-396.
- Srivastava, A. K., Yuen K. M., and Ebestavi M. A. 1992. Surface Finish in Robotic Disk Grinding, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, (32), 269-297.
- Teixeira, Patricia HO, et al. "Application of Hall effect for assessing grinding thermal damage." *Journal of Materials Processing Technology* 270 (2019): 356-364.
- Tschuschke, W., "The Basic Principles of Maintenance Engineering", *Maintenance and Asset Management*, Vol. 12, No. 3, pp. 3-14, 1997.
- Tuncel, S., 2008, "Tahribatsız muayene teknolojilerinde son gelişmeler: Akustik Emisyon", 3 rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, İstanbul.
- 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.
- X. Han and T. Wu, "Analysis of acoustic emission in precision and high-efficiency grinding technology," *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 67, pp. 1997–2006, 2013.
- Yang, Zhensheng, et al. "A non-destructive surface burn detection method for ferrous metals based on acoustic emission and ensemble empirical mode decomposition: from laser simulation to grinding process." *Measurement Science and Technology* 25.3 (2014): 035602.
- Yang, Zhensheng, et al. "Application of Hilbert–Huang transform to acoustic emission signal for burn feature extraction in surface grinding process." *Measurement* 47 (2014): 14-21.
- Yesilyurt, Isa. "Gearbox fault detection and severity assessment using vibration analysis." Diss. University of Manchester: University of Manchester, 1997.
- Yui, A. S., Lee, H. 1996. Surface Grinding With Ultra High Speed CBN Wheel, *Journal of Materials Processing Technology*, (62), 393-396.
- Z. Wu and N.E. Huang, "A study of the characteristics of white noise using the Empirical Mode Decomposition metod," *Proc. Roy. Soc. London A*, Vol.460, June 2004.
- Z. Wu, N.E. Huang, "Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method" *Adv. Adapt. Data Anal.* Vol.1, pp.1–41.2009

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Abdullah DALKIRAN

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Uşak Üniversitesi/Makine Mühendisliği A.B.D.	2022
Lisans	Uşak Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2019
Lise	Şehit Abdulkadir Kılavuz Anadolu Öğretmen Lisesi	2013

Yayınlar

Yesilyurt, I., Dalkiran, A., Yesil, O., & Mustak, O. (2022). Scalogram-based instantaneous features of acoustic emission in grinding burn detection. *Journal of Dynamics, Monitoring and Diagnostics*, 1(1), 19-28.