

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**ANA BİLİM DALI**

**FREZELEMEDE KESİCİ TAKIM HATALARININ DENEYSEL**

**MOD AYRIŞTIRMA YÖNTEMİYLE TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Danışman: Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT**

**MAYIS 2017**

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

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**FREZELEMEDE KESİCİ TAKIM HATALARININ DENEYSEL MOD**  
**AYRIŞTIRMA YÖNTEMİYLE TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**NİLAY YURTÖREN**

**MAYIS 2017**

**UŞAK**

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

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**FREZELEMEDE KESİCİ TAKIM HATALARININ DENEYSEL MOD**  
**AYRIŞTIRMA YÖNTEMİYLE TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**NİLAY YURTÖREN**

**MAYIS 2017**

**UŞAK**

Nilay YURTÖREN tarafından hazırlanan “FREZELEMEDE KESİCİ TAKIM HATALARININ DENEYSEL MOD AYRIŞTIRMA YÖNTEMİYLE TESPİTİ” adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

.....

Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Ana bilim dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Makina Mühendisliği Ana bilim dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

.....

Makina Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Haluk ÇELİK

.....

Maden Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Hasan ÖZTÜRK

.....

Makina Mühendisliği, Dokuz Eylül Üniversitesi

Yrd. Doç Dr. Kemal MAZANOĞLU

.....

Makina Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Abdullah YILDIZ

.....

Makina Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

02.06.2017

Bu tez ile Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu yüksek lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Lütfullah TÜRKMEN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

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

Nilay YURTÖREN

**FREZELEMEDE KESİCİ TAKIM HATALARININ DENEYSSEL MOD  
AYRIŞTIRMA YÖNTEMİYLE TESPİTİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Nilay YURTÖREN**

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2017**

**ÖZET**

Bu tezde frezeleme sırasında kesici takımında oluşan lokal hataların titreşim esaslı Deneysel Mod Ayırışımı (DMA) yöntemiyle belirlenmesi sunulmaktadır. Öncelikle takım hatalarının belirlenmesinde esas teşkil eden titreşimlerin istatistiksel parametreleri (RMS, Crest faktörü ve Kurtosis) açıklanmaktadır ve deneysel mod ayırışırma metodunun esasları detaylandırılmaktadır. Hatasız ve farklı hata durumlarında elde edilen takım titreşimleri bilinen yöntemlerle ve Deneysel Mod Ayırışırma metodu yardımıyla incelenmiştir. Bilinen zaman ve frekans bölgesi yaklaşımları lokal hatayı tespit etmede yetersiz kaldığı bulunmuştur. Buna karşılık deneysel mod ayırışırma metodu yardımıyla bileşenlerine ayrılan titreşim sinyalleri üzerinde hata belirtileri daha net olarak tespit edilmektedir.

**Bilim Kodu** : 625.01.00.

**Anahtar Kelimeler** : Frezeleme, titreşim, durum izleme, deneysel mod ayırışırma,

**Sayfa Adedi** : 54

**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

**DETECTION OF CUTTING TOOL FAULTS IN MILLING USING  
EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION  
(MASTER of SCIENCE THESIS)**

**Nilay YURTÖREN**

**UNIVERSITY OF UŞAK  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE  
MAY 2017**

**ABSTRACT**

This thesis presents detection of local tool faults in milling using vibration-based Empirical Mode Decomposition (EMD) approach. Firstly, the statistical parameters of vibration which are used as the basis for fault detection in cutting tools (RMS, Crest factor, and kurtosis) are explained and the method of empirical mode decomposition are detailed. Vibrations resulting from healthy and faulty cutting tools are analysed using conventional approaches and proposed method (i.e. empirical mode decomposition). It has been found that conventional time and frequency domain approaches remain unsatisfactory for the detection of local fault, whereas fault symptoms are clearly detected on signal components decomposed by the empirical mode decomposition.

**Science Code** : 625.01.00.

**Keywords** : Milling, vibration, condition monitoring, emprical mode decomposition

**Number of Pages** : 54

**Advisor** : Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

## TEŐEKKÖR

Tez alıőmam boyunca tđm bilgi birikimini, zamanını ve emeğini benim için harcayan, bir an bile desteğini esirgemeyen, deneysel çalıőmalarım sđresince moral ve motivasyonumu her zaman olumlu yđnde etkileyen, sabır ve disiplinle sistematik bir çalışma anlayıőı kazanmamı sağlayan kıymetli hocam Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT'a sonsuz saygı ve teőekkđrlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
RESİM LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
FREZELEMEDE KESİCİ TAKIM HATALARININ DENEYSEL MOD AYRIŞTIRMA YÖNTEMİYLE TESPİTİNE GİRİŞ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Frezleme	2
1.3 Titreşim Esaslı Durum İzleme	2
1.4 Literatür Araştırması	5
1.5 Tezin Amacı	8
1.6 Tezin Organizasyonu	8
BÖLÜM 2	
2. TAKIM HATALARININ TİTREŞİM ESASLI YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ	10

2.1 Zaman Bölgesi İncelemeleri	10
2.1.1 Titreşim Sinyalinin İstatistiksel Özellikleri	10
2.2 Frekans Bölgesi Analizi	11
2.3 Deneysel Mod Ayrışımı	12
2.4 Numerik Uygulamalar	15
2.4.1 Sinyalleri DMA Yöntemiyle İMF'lerine Ayrıştırma	18
2.4.2 İçsel Mod Fonksiyonlarının İstatistiksel Değerleri	20
2.5 ÖZET VE SONUÇLAR	22
<b>BÖLÜM 3</b>	
3.1 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24
3.2 Lokal Hataya Sahip Takım Titreşimlerinin Zaman ve Frekans Bölgesi İncelemeleri	26
3.3 Lokal Hataya Sahip Takım Titreşimlerinin DMA Yöntemiyle İncelenmesi	27
3.4 İMF'lerin İstatistiksel Parametreleri	29
3.5 Sonuçlar	32
Sonraki Çalışmalara Öneriler	32
KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	39

## ÇİZELGE LİSTESİ

<b>Çizelge</b>		<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1.</b>	Simulasyon sinyalinin istatistiksel değerleri	17
<b>Çizelge 3.1</b>	Hatasız ve farklı hata durumlarında oluşan titreşimlerin istatistiksel değerleri	26

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 2.1	Hatasız, 1. hata ve 2. hata durumlarını temsil eden sentetik titreşimler	16
Şekil 2.2	Hatasız, 1. hata ve 2. hata durumlarını temsil eden sinyallerin spektrumları	17
Şekil 2.3	Hatasız, 1. hata ve 2. hata durumlarını temsil eden sinyallerin büyütülmüş spektrumları.	18
Şekil 2.4	Hatasız ve farklı hata şiddetleri için türetilen simülasyon sinyallerinden elde edilen İMF'lerin zamana göre değişimleri	19
Şekil 2.5	Hatasız ve farklı hata şiddetleri için türetilen simülasyon sinyallerinden elde edilen İMF'lerin spektrumları	19
Şekil 2.6	Oluşturulan test sinyalin İMF'lerinin kurtosis değerlerinin eğim grafiği.	20
Şekil 2.7	Oluşturulan test sinyalin İMF'lerinin Crest değerlerinin eğim grafiği	21
Şekil 2.8	Oluşturulan test sinyalin İMF'lerinin RMS değerlerinin eğim grafiği	22
Şekil 3.1	Hatasız ve farklı hata şiddetlerinde elde edilen titreşimlerin zamana ve frekansa göre değişimleri	26
Şekil 3.2	Hatasız ve farklı hata durumlarında elde edilen İMF'lerin zamana göre değişimleri.	28
Şekil 3.3	Hatasız ve farklı hata durumlarında elde edilen İMF'lerin waterfal diyagramları.	28
Şekil 3.4	Hatasız ve farklı hata durumlarında elde edilen İMF'lerin spektrumları	29

<b>Şekil 3.5</b>	Hatasız ve hatalı durumların İMF'lerinin Crest değerlerindeki değişimleri.	<b>30</b>
<b>Şekil 3.6</b>	Sağlıklı ve hatalı durumların İMF'lerinin Kurtosis değerlerindeki değişimleri	<b>31</b>
<b>Şekil 3.7</b>	Sağlıklı ve hatalı durumların İMF'lerinin RMS değerlerindeki değişimler	<b>31</b>

## RESİM LİSTESİ

<b>Resim</b>		<b>Şekil</b>
Resim 3.1	Deneyler için kullanılan freze tezgâhı, ivmemetre konumları ve kesme derinlikleri	25
Resim 3.2	Kesici takıma uygulanan lokal hatalar.	25

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

$x(t)$	İşlenen orjinal sinyal
$d_n(t)$	n'inci ölçekteki içsel mod fonksiyonu
$m(t)$	Ortalama sinyal
$r(t)$	Artık sinyal
$e_{\max}(t)$	Üst zarf
$e_{\min}(t)$	Alt zarf
DMA	Deneysel Mod Ayırıştırma
PVD	Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Depolama)
AE	Akustik Emisyon
MU	Mahalanobis Uzaklığı
IMF	İçsel Mod Fonksiyonları
BDMA	Bütün Deneysel Mod Ayırıştırma (Complete Empirical Mode Decomposition (CEMD))
TDMA	Takım Deneysel Mod Ayırıştırma (Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD))

# BÖLÜM 1

## FREZELEMEDE KESİCİ TAKIM HATALARININ DENEYSEL MOD AYRIŞTIRMA YÖNTEMİYLE TESPİTİ

### 1.1 Giriş

Son yıllarda imalatçılar, işletme harcamalarını düşürmek ve ürün kalitesini yükseltmek için imalat otomasyon sistemlerine yönelmişlerdir. Üretim esnasında kayıpların en aza indirilmesi, kesme işleminde hataların azaltılması, ürün kalitesinin devamlılığı, yatırılan fonun korunması, imalatın optimizasyonu ve ekonomikliği ancak kullanılan kesici takımların durumlarının etkili bir biçimde izlenmesiyle desteklenebilir. Titreşim analizi dönen makina elemanlarının durumlarını inceleyerek arızaların belirlenmesinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin esası kesici takım titreşimlerinin izlenmesiyle veri toplama esasına dayanmaktadır. Hatalı kesici takımdan alınan titreşimler sağlıklı olana göre farklılıklar gösterir. Bu değişimler farklı titreşim işleme yöntemleri yardımıyla ortaya konularak var olan arızalar önceden tahmin edilebilir.

Frezelemede görülen hataların büyük bir kısmı direkt veya dolaylı olarak uygulanan yaklaşımlarla belirlenmektedir. Direkt olarak uygulanan yöntemlerin esası, ölçüm araçlarıyla teknik efor sarf ederek kesme olayını gözlemlemektir. Dolaylı yöntemlerin esası ise kesme işleminden elde edilen ve hata tarafından etkilenen sinyallerin (titreşim, sıcaklık, kesme kuvveti veya gücü, vs.) yapılarında meydana gelen değişikliklerin tespit edilmesine dayanır. Kesme işlemi sırasında, kesici takımda oluşan hatalar kesme kuvveti üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Kesme kuvveti; direkt olarak yüzey kalitesine, işleme toleranslarına, takım ömrüne, kesme gücüne ve oluşan titreşimlere etki eder.



## 1.2 Frezeleme

Frezeleme işlemi, kendi ekseni etrafında dönen ve üzerinde çok sayıda kesici ağız bulunan kesici takımlar yardımıyla iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemidir. Frezeleme işlemi; delme, vargelleme, tornalama ve taşlama operasyonları gibi imalatın vazgeçilmez operasyonlarından biridir. Frezelemede kullanılan farklı kesici takımlar yardımıyla (parmak freze, silindirik freze, kanal freze, form freze gibi) düzlem yüzeylerin işlenmesi, farklı tip kanalların imalatı ve dişli yapımı gibi çok çeşitli işler yapılabilmektedir.

Parmak freze en yaygın kullanılan freze takımlarından bir tanesidir. Üç eksen de talaş kaldırarak parçayı çeşitli şekillerde işleme olanağı verir. Düz parmak freze, (square endmill) küresel uçlu parmak freze (ball endmill) ve kenar radüslü parmak freze (ball nose endmill) olmak üzere üç grupta incelenebilir. İşlenecek olan parçanın geometrisine ve işleme hassasiyetine göre freze seçimi yapılır. Genel olarak bitiriş operasyonları için küresel takımlar kullanılır. Çubuk kaliteleri, taşlama kaliteleri ve kaplama kaliteleri, fiyatları üstünde rol oynayan etmenlerdir. Tüm bu kalite etmenleri parça kalite işlemlerini, verimliliği ve maliyeti etkiler.

## 1.3 Titreşim Esaslı Durum İzleme

Hareketli parçalar içeren bütün makineler titreşirler ve bu titreşimler makinanın çalışması hakkında bilgiler verirler. Titreşimler makina içerisinde oluşan zorlama kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu kuvvetler makinanın dizaynından veya bazı makina parçalarında oluşan hatalardan kaynaklanabilir. Makinalar çalışırken titreşir ve hareketli parçaları sebebiyle gürültü oluşturur. Makina elemanlarındaki herhangi bir arıza durumunda, gürültü özelliklerinde de değişimler meydana gelir. Bu gürültü genellikle mikrofon gibi akustik aparatlarla tespit edilebilir. Makinalarda titreşim ve gürültü genellikle aynı kaynaktan doğmaktadır ve her ikisi de makinanın durumu hakkında değerli bilgiler içermektedir. Bununla beraber durum izleme çalışmaları için

genellikle titreşim ölçümleri gürültü ölçümlerine göre daha güvenilirdir. Aşağıda makina titreşimlerinin sebepleri kısaca açıklanmıştır.

En genel tanımla; titreşim, cisimlerin denge konumu etrafında yaptıkları salınım hareketidir. Başka bir deyişle sistemin dinamik kuvvetlere verdiği cevaptır. Titreşimin oluşmasında birçok etki söz konusu olabilir. Bunlardan bazıları: Dengesizlikler, aşınmalar, arızalar ve uygun yapılmayan montaj işlemleridir. Makinanın çalışma hızı ve makinaya etkileyen kuvvetlerden birinin frekansı makinanın doğal frekansından birine eşitse ortaya önemli titreşim sorunları çıkar [1]. Bu durum rezonans olarak bilinir ve zorlayıcı kuvvetlerin etkisini artırır. Makinanın titreşimleri analiz edilirken öncelikle zorlayıcı kuvvetlerinin etkisi araştırılmalıdır ve bu etkiler aşağıda sıralanmış olan nedenlerden birine dayanabilir.

Titreşimlerin en önemli nedenlerinden birisi dengesizliktir. Bu etki kendisini makinanın çalışma hızında sinüzoidal hareket olarak gösterir. Dengesizliğin nedeni ise dönen bir makina parçasının kütle merkezinin dönme ekseninden farklı olmasıdır. Dengesizlik tek bir düzlemde olabileceği gibi (statik dengesizlik) iki veya daha fazla düzlemde de olabilir. (dinamik dengesizlik) Dengesizlik sorununun çözülmesi detaylı bir titreşim analizi ve özel bir deney düzeni gerektirir.

Makinalarda oluşan titreşimlerin diğer bir nedeni ise yanlış hizalamadır. (misalignment) Birbirine bağlı olarak çalışan makinaların mil eksenleri arasındaki kaçıklıktan doğan titreşimlerin frekansı genellikle kendini makinanın çalışma hızının iki katında gösterir. Eğer sorun giderilmezse makina parçaları üzerinde büyük kuvvetler oluşturur. Oluşan bu kuvvetler makina parçalarının yorulmasına, aşınma ve arıza olasılıklarının artmasına neden olur. Düzgün oturmamış yataklarda ve eğilmiş millerde de benzer titreşimler oluşur.

Eksantrik bir makarada kullanılan kayış tahrik mekanizmasında olduğu gibi düzgün olmayan yüklemelerde makinanın çalışma hızına eşit hızda titreşimler yaratır. Burada

belirleyici özellik titreşimin yük ve doğrultu ile değişmesidir. Mekanik aksamdaki gevşeklik yine makinanın çalışma hızına eşit hızda, fakat bu kez yüksek ve düşük dereceli harmoniklere sahip titreşimlere neden olur. Bu durum makinanın çeşitli yerlerinden hız değerleri alınarak saptanabilir.

Rezonans, makinanın doğal frekansı ile çalışma hızı birbirine çok yakın olduğu durumda ortaya çıkar. Eğer makina hızı değiştirilemiyorsa aşağıda belirtilen yöntemlerle rezonans frekansı değiştirilmelidir.

- Makinanın rijitliği arttırılarak doğal frekansın yükseltilmesi.
- Kütle ilavesi yardımıyla doğal frekansın düşürülmesi.
- Makinaya sönümleyici elemanlar eklenerek titreşim seviyesinin azaltılması.

Titreşim izleme, endüstride çok yaygın olarak kullanılan bir kestirimci bakım uygulamasıdır. Titreşim, hareketli sistemlerin çalışmaları esnasında sistemi oluşturan parçadaki düzensiz hareketler neticesinde ortaya çıkan bir olgudur. Eksenel kaçıklık, yatak ve dişli hataları, dönen parçalardaki dengesizlik, eğilmiş miller, kavrama ve yataklardaki ayarsızlıklar, hatalı montajı yapılmış parçalar, zamanla hassasiyetini kaybetmiş (aşınmış) yataklar, hidrolik ve aerodinamik kuvvetler belli başlı titreşim doğuran etkenler olarak sıralanabilir [1]. Titreşim, bir makinadaki mekanik arızanın varlığını önemli derecede ifade edebilme özelliğine sahiptir. Kestirimci bakım uygulaması; tespit, analiz, bakım olmak üzere üç ana safhadan oluşmaktadır.

Öncelikle, işletmenin genel yapısı analiz edilir. Daha sonra kestirimci bakımın uygulanacağı makinalar üzerindeki belli noktalarda hangi ölçümlerin yapılacağı belirlenir. Ölçüm cihazlarınca elde edilen verilerdeki sınır (limit) değerler tespit edilir. Sistemin olağan çalışması esnasında sürekli alınan veriler ile sınır değerlerin aşılması durumu ile karşılaşıldığında, bakım ve onarımın gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Yapılacak bir bakım programı ile işletmece uygun bir zaman sürecinde gerekli bakım ve onarımlar yapılır.

#### **1.4 Literatür Araştırması**

Kesici takımlar endüstride çok sıklıkla kullanılan makina elemanlarıdır. Kesme işleminin problemsiz yapılması, ürün kalitesinin devamlılığı nedeniyle önemlidir ve bu durum hatasız bir kesici takım kullanımıyla sağlanır. Bu nedenle kesici takım hatalarını önceden tespit etmek oldukça önemlidir. Kesici takımlarda oluşan hataların tespit edilmesi konusunda şimdiye kadar çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların başlıcaları aşağıda özetlenmektedir.

Akustik emisyon (AE) analizi kesici takım sorunları hakkında bilgi almaya yarayan bir yaklaşımdır. Takım malzemesindeki ani değişimin neden olduğu yüksek gerilme dalgaları akustik emisyonun oluşmasına neden olur. Hatalı takımın malzemede oluşturduğu akustik emisyon özellikleri normal takıminkine göre farklılıklar gösterecektir ve bu farklılıklar akustik emisyon sensörleri yardımıyla algılanırlar. Akustik emisyon metodu ile yüzeyin altında oluşan çatlaklar algılanabilirken; bilinen titreşim uygulamaları ise çatlak yüzeye ulaştığında algılanabilmektedir ve bu da akustik emisyonun titreşim izlemeye olan üstünlüğüdür. Hongrui Cao [2], freze işlemi boyunca takım durumunu göstermek için Akustik emisyon sinyallerindeki dikkat çekici özelliklerin tanınmasıyla takım kırılmasını tespit etmiştir. Akustik emisyon sinyalleri aracılığıyla takım kırılmasını tespit etmek için mahalanobis uzaklığı (MD) ve kaldırma yöntemine dayalı yeni bir metod kullanmıştır. X.Li [3], takım aşınmasını izlemek için akustik emisyon metodunu kullanmıştır. Bu çalışmada akustik emisyon sinyalleri, geçici sinyaller içeren metal kesiciden türetilmiştir. Dimla [4], takım aşınmasını karakterize etmek amacıyla titreşim, akustik emisyon, takım sıcaklığı ve kesme kuvvetini dikkate almıştır ve takım aşınmasına bağlı olarak sinyallerdeki değişimlerin de artış sergilediğini tespit etmiştir. Pai ve Rao [5], kesici takım yüzeyindeki oluşan aşınmayı izlemek ve tespit etmek için akustik emisyon yöntemini uygulamıştır.

Dalgacık dönüşümü hata tespitinde kullanılan bileşik zaman-frekans bölgesi işaret analiz yöntemidir [6]. Hem zaman-uzay hem de frekans-uzay bilgilerini içererek hızlı Fourier dönüşümü (FFT) tekniğinin, işaretin yalnızca genel karakteristiğini verip yerel karakteristiğini dışlaması dezavantajını engellemiş olur. Dalgacık paketi uygulaması ise dalgacık dönüşümünün daha detaylı ve esnek işaret işleme olanağı tanıyan genel bir formudur. Çünkü dalgacık paket dönüşümünde detaylar ve yaklaşımlar birbirinden ayrılmıştır. Ayrık dalgacık dönüşümünde her adım, bir önceki yaklaşım katsayılarının yüksek ve alçak geçirgen filtrelerden geçirilmesi ile hesaplanırken dalgacık dönüşümüne hem detay hem de yaklaşım katsayıları kullanmıştır [7]. Xiaoli Li [8], tezgâh üzerindeki sürücü motor akım sinyalleri aracılığıyla frezede takım yiv kırılmasının tespitinde yeni bir metod inşa etmek için dalgacık analizi ve entropi permütasyonunu kullanmıştır. Bu metod; çapraz geçerlilikle yumuşak hasar eşiği ve eşik tespitinin kombinasyonunda ana dalgacık fonksiyonunu yararlı hale getirmek için kullanılabilen en iyi metod olarak bulunmuştur. Choi, Narayanaswami ve Chandra [9], dalgacık dönüşümü yöntemini kullanarak frezelemede eğik kesme (oblique cutting) işleminde takım aşınmasını izlemiştir.

Yapay sinir ağları, biyolojik sinir sisteminin simülasyonu olarak ortaya çıkmıştır. Bir bilgisayarın çalışma şekli beyin çalışmasına benzetilerek yapay sinir ağları modeli geliştirilmiştir [10]. Yapay sinir ağları algoritmalarında öğrenme, daha önce edinilen tecrübelerle bağlıdır. Bir sistemin özellikleri belirlendikten sonra sistemin çözümüne dayalı bir algoritma veya karmaşık bir çözüm algoritması olsa dahi, yapay sinir ağları bu sisteme uygulanabilir. Yapay sinir ağları nöronlardan oluşmaktadır. Bu nöronlar gerçek sinir sistemindeki gibi birbirlerine çok karmaşık bir şekilde dahi bağlanabilmektedir. Her bir nöronun farklı ağırlıkta girişleri ve bir tane çıkışı bulunmaktadır. Ağırlıklandırılmış girişler her nöronun biasıyla beraber toplamları, aktivasyon fonksiyonundan geçirilir ve bunun sonucunda o nörona bağlı çıkış elde edilir. Çıkış elde edildikten sonra eğer sistem çok katmanlıysa bir nöronun çıkışı diğer bir nöronun girişi olabilir. Bu şekilde çok katmanlı bir yapay sinir ağı modeli oluşturulur. Guillot ve El Ouafi [11], metal kesme durumunda frezedeki takım kırılmasını tespit etmek ve işleme sürecini izlemek için yapay sinir ağı yöntemini

kullanmıştır. Sağlam ve Unuvar [12], frezelemede kesme zorlaması altındaki takım durumunu izlemek için yapay sinir ağı metodunu kullanmıştır. Ghosh [13], CNC frezelemedeki takım aşınmasını izlemek için sensör birleştirme modeline dayalı yapay sinir ağını yöntemini geliştirmiştir. Chen ve Chen [14], frezeleme işleminde takım aşınmasını tespit etmek için bir yapay sinir ağı metodu sunmuştur. Ko ve Cho [15], frezeleme işlemi sırasında oluşan kesme şartlarını tespit etmek amacıyla yapay sinir ağı yöntemini kullanmıştır.

Konrad [16], frezedeki hataları tespit etmek için parametre tahmini ve sınıflandırma metodlarını kullanarak yeni bir yaklaşım sunmuştur. Yeşilyurt [17], parmak frezede oluşan kesici ağız kırılmasını farklı ilerleme hızlarını da dikkate alarak skalogram özellikleri yardımıyla tespit etmiştir. Wojciechowska [18], frezelemede kesici takım aşınmasının belirtilerini titreşim izleme ile tespit etmiştir. Fussell [19], frezeleme esnasında takım aşınmasını kesme kuvveti katsayılarını kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Altıntaş [20], kesici diş hasarının tespiti için sabit eşik değerleri kullanarak gerçek sinyal izleme üzerine bir çalışma yapmıştır. Wang [21], frezeleme esnasında oluşan takım aşınmasını çoklu kategori sınıflandırmasıyla gerçekleştirmek için ilgili vektör mekanizması ayırıcına dayalı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Porankiewicz, Sandak ve Tanaka [22], yüksek hız çeliğinden yapılmış kesici takımlardaki aşınmayı incelemiştir. Guo [23], PVD kaplanmış takımda oluşan aşınma karakteristiklerinin belirlenmesi konusunda bir çalışma yapmıştır. Diniz [24], uzun takım ömrü ve işlenen parçada daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için düşük sertlikte bir takım kullanarak takım titreşiminin nasıl minimize edileceği konusunda çalışmıştır. Tarnag [25], takım kırılmasını izlemek için takımın kırılma özelliklerini kullanarak bant limitli ortalama enerji metodu olarak adlandırılan bir sinyal işleme algoritması sunmuştur. Rémond [26], frezede kesme işlemini ve diş kırılmalarını izlemek ve tespit etmek amacıyla takım hızındaki değişimleri dikkate almıştır. Haber ve Alique [27], talaşlı imalat proseslerinde takım aşınmasını tahmin etmek için akıllı kontrol işletim yaklaşımına dayalı bir metod sunmuştur. Ai [28], takım aşınmalarını belirlemek amacıyla akustik sinyallerin frekans ve cepstrum bilgilerini kullanmıştır.

## 1.5 Tezin Amacı

Bu çalışmada parmak freze kullanılarak yapılan frezeleme esnasında takımda oluşan lokal kırılmaların Deneysel Mod Ayırıştırma yöntemiyle tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Tezin amacı aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Frezelemede oluşan takım hatalarının belirlenmesi konusunda yapılan titreşim esaslı çalışmaların detaylandırılması.
2. Kesme esnasında oluşan takım titreşimlerinin RMS, Crest faktörü ve kurtosis gibi istatistiksel değerlerinin yorumlanabilmesine imkân vermek için teorik bir titreşim sinyalinin oluşturulması.
3. Oluşturulan simulasyon sinyalinin zaman ve frekans bölgesi incelemelerinin yapılması ve deneysel mod ayırıştırma yönteminin kesici takım hataların belirlenmesinde kullanılabileceğinin teorik olarak incelenmesi.
4. Kesme işleminin yapıldığı freze tezgahı hakkında ve titreşim verilerinin elde edilmesinde kullanılan ölçü aletleriyle ilgili detaylı bilgilerin sunulması.
5. Titreşim verilerinin işlenmesiyle takım üzerindeki hataların tespit edilmesi.

## 1.6 Tezin Organizasyonu

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

Bölüm 1. Kesici takımlardaki hata tespiti ile ilgili daha önce yapılan araştırmalar incelenmiştir.

Bölüm 2. Deneysel mod ayırıştırma metodunun esasları detaylandırılmaktadır. Takım hatalarının belirlenmesinde esas teşkil eden titreşim bilgileri ve istatistiksel parametreler açıklanmaktadır. Ayrıca deneysel mod ayırıştırma metodunun özelliklerinin belirlenmesi

amacıyla bir simulasyon sinyali türetilmiştir. Oluşturulan simulasyon sinyalinin zaman ve frekans bölgesi incelemelerinin yapılması ve deneysel mod ayrıştırma yönteminin simülasyon sinyaline uygulanması sunulmaktadır.

Bölüm 3. Kesme işleminin yapıldığı freze tezgâhı ve titreşim verilerinin elde edilmesinde kullanılan ölçü aletleri ve deney şartları detaylı olarak açıklanmaktadır. Hatasız ve farklı hata durumlarında elde edilen titreşimlerin rms, Crest faktörü ve kurtosis değerleri dikkate alınarak hatanın varlığı belirlenmeye çalışılmaktadır. Ayrıca sözkonusu verilerin zaman ve frekans bölgesi değişimleri incelenerek hata belirtileri tespit edilmeye çalışılmaktadır. Daha sonra hatasız ve farklı hata durumlarındaki takım titreşimleri DMA yaklaşımıyla incelenerek hata belirtileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bulunan sonuçlar detaylandırılarak takım hataların belirlenmesinde titreşim uygulamalarının sürekliliği açısından öneriler verilmektedir.



## **BÖLÜM 2**

### **Takım Hatalarının Titreşim Esaslı Yöntemlerle Belirlenmesi**

#### **2.1 Zaman Bölgesi İncelemeleri**

Zaman bölgesi analizleri sinyalin zaman geçmişi; sinyalin enerjisini, tepe değerini, olayların süresini, olası modülasyonların varlığını ve istatistiksel özelliklerini belirlemede sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlardan istatistiksel özellikler, takım hatalarının tespitinde sıkça kullanılmaktadır.

##### **2.1.1 Titreşim Sinyalinin İstatistiksel Özellikleri**

Yüksek genlikli titreşimlerin varlığı hata tespit etmede önemli bir gösterge olmakla beraber, titreşim şiddetinin zaman içerisindeki değişimleri daha anlamlıdır. Bazı makineler çalışmaları esnasında doğası gereği yüksek genlikli titreşimlere sahip olabilirler; fakat bu o makinaların bir hataya sahip oldukları anlamına gelmez. Eğer bir makinada şiddeti zamanla artan bir hata oluşursa meydana gelen titreşimlerin şiddetleri de zamanla artması muhtemeldir. Fakat titreşimlerde meydana gelen artışlar büyük ölçeklerde olmayabilir. Dolayısıyla hata belirtilerini titreşim biçimine bakarak tespit etmek oldukça zor olabilir.

Bir sistemin çalışmasını karakterize eden yer değiştirme, ivme, gerilme ve basınç gibi değişkenler zaman içerisinde tahmin edilebiliyorsa bu sistemlere kararlı sistemler adı verilir. Eğer bir sistem içerisinde zamanla bir hata gelişirse bu sistemlerin davranışlarını ileriki zamanlar için tam olarak belirlemek zorlaşır ve bu tip sistemler kararsız sistemler olarak adlandırılır. Bununla beraber, kararsız sistemlerin davranışları istatistiksel

yaklaşımlarla tahmin edilebilir [38-39]. Titreşim esaslı durum izleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan istatistiksel parametreler aşağıda verilmiştir [40].

Karekök ortalama değeri, sinyalin güç içeriğinin belirlenmesinde kullanılır ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$rms = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt} \quad (2.1)$$

Krest faktörü ve kurtosis sinyalin dikliğini belirtmek için kullanılır ve sırasıyla şöyle tanımlanır.

$$F_c = \frac{P_p}{rms} \quad (2.2)$$

$$Kr = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} [x(t) - \bar{x}]^4 dt}{rms^4} \quad (2.3)$$

Bu eşitliklerde  $P_p$  sinyalin tepeden-tepeye (maksimum ve minimum değerleri arasındaki fark) değerini,  $\bar{x}$  sinyalin ortalama değerini sembolize ederler ve aşağıdaki gibi hesaplanırlar:

$$P_p = \max(x) - \min(x) \quad (2.4)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2.5)$$

Burada  $T$  periyottur.

## 2.2 Frekans Bölgesi Analizi

Frekans bölgesi incelemelerinde titreşim genliği frekansa karşı temsil edilir ve zaman sinyalinin spektral içeriği Fourier dönüşümü yardımıyla belirlenir. Bir makinenin

titreşim cevabı; makinayı oluşturan parçaların herbirinin çalışma biçimi, montajı ve demontajı gibi faktörler tarafından belirlenir. Bundan dolayı, herhangi bir makinenin titreşim karakteristikleri sadece o makineye özgüdür ve zorlama/çalışma kuvvetleri değişmedikçe ölçülen titreşim değerleri de değişmez. Bu sebepten dolayı hatasız durumda elde edilen titreşim spektrumları sıklıkla makinenin imzası olarak isimlendirilir. Eğer bir makina içerisinde herhangi bir hata oluşursa meydana gelen titreşim biçimi ve büyüklüğü değişir. Titreşim özelliklerinde meydana gelen bu değişiklikler titreşim spektrumunun şeklini ve içeriğini de değiştirecektir. Hatalı durumda elde edilen titreşim spektrumu ile makina imzası kıyaslanarak hatanın varlığı kolayca anlaşılabilir.

Frekans analizinin hata belirlemede iyi bir temel oluşturmasının yanında, modülasyonlar ve harmonik içerik gibi bazı sinyal özelliklerinin belirlenmesinde de oldukça faydalıdır. Bir  $x(t)$  sinyalinin Fourier dönüşümü aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [41]:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte  $f$  frekans değişkenidir. Bir sinyalin herhangi bir  $f$  frekansındaki spektral yoğunluğu  $|X(f)|^2$  olarak ifade edilir. Toplam sinyal enerjisi ise bütün frekanslardaki spektral yoğunlukların toplanmasıyla elde edilmektedir. Parseval teoremine göre zaman ve frekans bölgelerinde hesaplanan toplam enerjiler birbirine eşittir. Yani:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df \quad (2.7)$$

### 2.3 Deneysel Mod Ayrışımı

Deneysel Mod Ayrışımı'nın başlangıç noktası; lokal titreşim adımlarındaki sinyalleri dikkate almaktır. Durağan ve doğrusal olmayan sinyallerin analizinde kullanılan bir methoddur. DMA analizinde sinyal; yinelemeli ve uyarlamalı bir işlemde geçirilerek sonlu sayıda İçsel Mod Fonksiyonları'na ayrıştırılmaktadır. Fourier veya Dalgacık dönüşümünden farklı olarak DMA'da sabit bir taban işlevi gerekmemektedir[29]. Bu

yüzden sinyalin doğasına uygun, sinyal uyarlamalı bir yöntemdir. Yöntemin ana fikri sinyaldeki yerel salınımları yakalayıp sinyali farklı frekanslardaki özbileşenlerine ayıştırmaya dayanır [29-30].

Bu metod 1998'de Huang tarafından önerilmiştir [29]. Dalgacık tekniği gibi çeşitli seviyelerden süzgeç bankasına sahip olduğu farz edilebilir; ancak bütünüyle incelenecek olursa sinyale bağımlı, uyarlamalı bir tekniktir. Gürültü giderme başta olmak üzere çok sayıda alanda başarı ile kullanılmaktadır [33]. DMA yöntemi ilgili veri hakkında hiçbir kabulde bulunmaz ve veriyi içsel mod fonksiyonlarına ve artık (kalan) işarete ayıştırır ve özellikle doğrusal olmayan işaretlerin çözümlenmesinde elverişli bir yöntemdir. DMA herhangi bir filtreleme kullanmaz. Onun yerine sinyali lokal enerji ekstraksiyonu ile ayıştırır [31]. İçsel mod fonksiyonları farklı sinyal konumlarında sinyalin karakteristiğine bağlı olarak hen yüksek frekans hem de alçak frekans detaylarını içermektedir.

DMA yöntemi ile sinyal, ortalamaları sıfır olan genlik ve faz bileşenlerinin toplamları şeklinde ayıştırılmaktadır. Yenilemeli olarak elde edilen bu bileşenler, İçsel Mod Fonksiyonları (IMF) olarak adlandırılır. DMA yönteminin temel faydaları arasında uyarlamalı olması, işaret içindeki yerel salınımları kolayca yakalayabilmesi ve durağanlık gerektirmemesi söylenebilir. DMA sayesinde işaret, yerel salınımların dikkate alınması ile farklı sıklıkta bileşenlere ayrılır. Dalgacık ve Fourier yöntemleri gibi önceden belirlenmiş temel işlemlere sahip değildir. Bu nedenler doğasında daha az matematiksel işlevler gerektirir.

DMA metodunda bir işaret aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

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

Bu eşitlikte;  $x(t)$  çözümlenen sinyali,  $n$  ölçek sayısını,  $d_n(t)$   $n$ 'inci ölçekteki içsel mod fonksiyonunu ve  $r(t)$  ise yenilemeler sonunda geriye kalan (yaklaşık salınımları) artık sinyali temsil etmektedir. Her bir içsel mod fonksiyonu tıpkı bir harmonik 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. IMF'ler değişik frekans bantlarına karşılık gelmektedir; ancak önceden belirlenmiş frekans bantları bulunmamaktadır. Analizi yapılan sinyal ile aynı uzunlukta olan içsel mod fonksiyonlarının iki önemli özelliği vardır: Bunlardan ilki; ekstremum (maksimum ve minimum) noktalarının sayısı ile sıfır geçiş noktalarının sayısı ya birbirine eşit ya da en fazla tek bir birim kadar farklıdır. Diğeri ise; yerel maksimum olarak tanımlanan zarfın ve yerel minimum olarak tanımlanan zarfın ortalama değeri sıfırdır [29]. DMA yönteminde içsel mod fonksiyonları aşağıdaki gibi elde edilir [29-32].

İncelenen sinyal  $x(t)$  olmak üzere:

- $x(t)$  sinyalindeki tüm yerel ekstremum noktalar bulunarak işaretlenir. (1)

- Bulunan üst ve alt ekstremum noktaları aradeğerleme ile birleştirilerek bir üst ( $e_{\max}(t)$ ) ve alt ( $e_{\min}(t)$ ) zarflar elde edilir. (2)

- Alt ve üst zarfların ortalamaları alınarak, ortalama sinyal  $m(t)$  elde edilir.

$$m(t) = \frac{e_{\max}(t) + e_{\min}(t)}{2}. \quad (3)$$

- Ortalama sinyal asıl sinyalden çıkartılarak detay sinyali  $d(t)$  elde edilir.

$$d(t) = x(t) - m(t). \quad (4)$$

- 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. Eğer  $d(t)$  sinyali içsel mod fonksiyonu özelliklerini sağlıyorsa yineleme sonlandırılır ve böylece ilk içsel mod fonksiyonu elde edilir. 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 [33]. Genellikle elemeler sonunda elde edilen artık sinyalin gücü belirli bir eşğin altında olunca yinelemeler durdurulur [33]. Bu durumda  $n$  adet içsel mod sinyali elde edilir. ( $N$  sinyalin boyutu olmak üzere  $n = \log_2(N)$ ). DMA'da sinyal, içsel mod fonksiyonlarına ayrılmakta ve bunların tekrar toplanmasıyla asıl sinyal kayıpsız bir şekilde yeniden elde edilebilmektedir [29, 34].

Çok değişkenli sinyallerin DMA analizi için birçok algoritma geliştirilmiştir [35-36]. Klasik DMA algoritması karışık problemler için şekillendirilmiştir. Farklı IMF bileşenlerinde; farklı ölçeklere sahip ya da tek bir skalalı sinyaller içeren IMF'nin kalıntı olabileceği gösterilmiştir. Bu problemten kaçınmak için DMA'ya dayalı Bütün Deneysel Mod Ayırıştırma (BDMA) [36] ve Takım Deneysel Mod Ayırıştırma (TDMA) [37] olarak adlandırılan yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir.

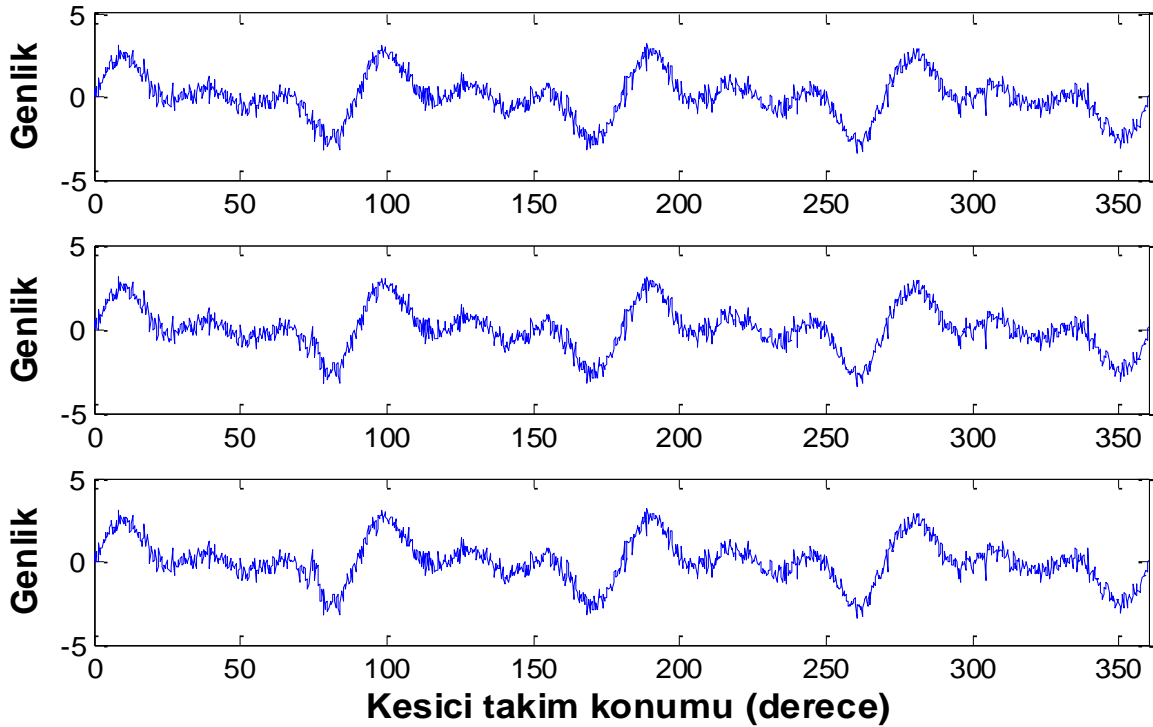
## 2.4 Numerik Uygulamalar

Mekanik sistemlerde oluşan yerel hatalar kendilerini kısa süreli geçiş sinyalleri şeklinde gösterdikleri bilinmektedir. Bu bölümde üç harmonikten oluşan bir  $x(t)$  sinyali içersine gizlenmiş bir geçiş sinyalinin etkisi DMA yöntemiyle incelenecektir. DMA yönteminin etkinliğini incelemek amacıyla türetilen simülasyon sinyali, 600 devir/dk ile dönen ve üzerinde 4 adet kesici ağzı olan bir parmak freze için türetilmiştir. Söz konusu kesici takım için temel kesme frekansı 40Hz olduğundan, kesme işleminde meydana gelen titreşimler herbirinin genliği 1 birim olan üç harmonikle (40Hz, 80Hz ve 120Hz) temsil edilmiştir. Oluşturulan sinyalin 12.5kHz de örneklendiği dikkate alınmış ve kesici takımın her bir devri yaklaşık 1250 veri ile temsil edilmiştir. Yeterli bir frekans çözünürlüğü elde etmek amacıyla simülasyon sinyali 5 devir için türetilmiştir ve 2Hz frekans çözünürlüğü elde edilmiştir.

Kesici takım üzerindeki yerel hatanın  $72^\circ$  dönü pozisyonunda olduğu ve etki süresinin 10 örnek noktası olan bir basamak fonksiyonu biçiminde olduğu kabul edilmiştir. Farklı hata şiddetlerini temsil etmek amacıyla iki farklı geçiş sinyali oluşturulmuş ve genlikleri

0.5 ve 1.0 olarak dikkate alınmıştır. Titreşim sinyali içerisindeki gürültü bileşeni ise SNR oranı 6, ortalama değeri 0.0 ve varyansı 1.0 olan rastgele sinyal ile temsil edilmiştir.

Hatasız, 1. hata ve 2. hata durumlarını temsil eden titreşim sinyalleri Şekil 2.1 de gösterilmektedir. Burada geçiş sinyalinin genliğinin büyüklüğü, tespit edilebilirliği üzerinde oldukça etkilidir. Hata şiddeti arttıkça hatanın varlığı ve konumu daha kolay tespit edilebilmektedir.



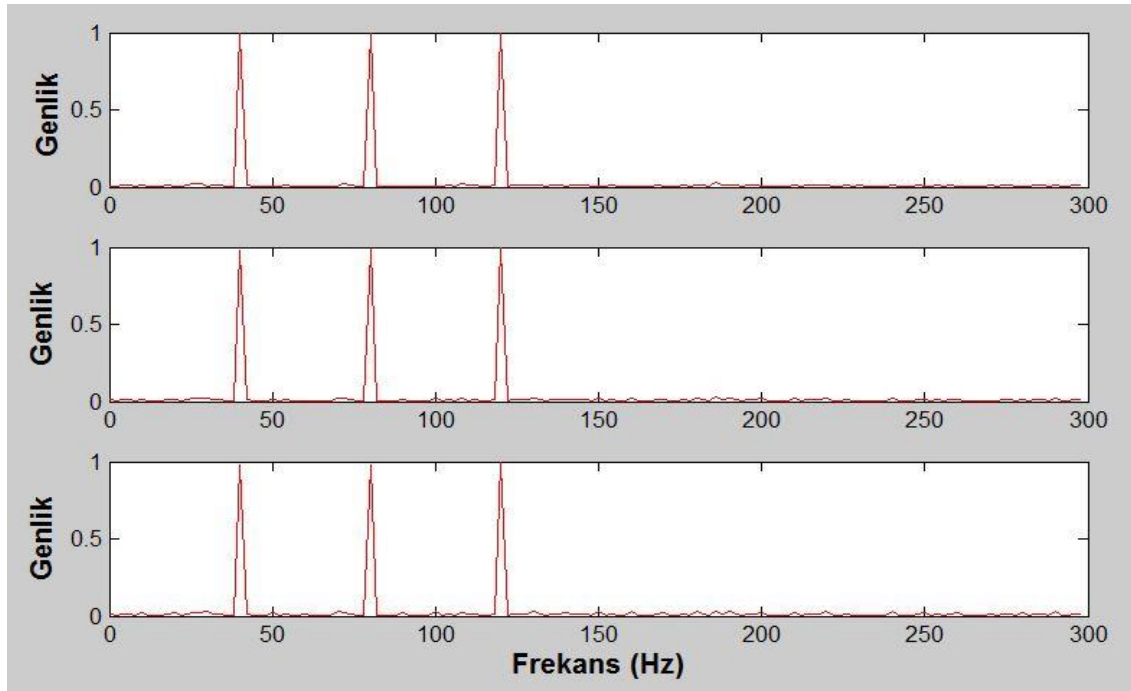
Şekil 2.1. Hatasız, 1. hata ve 2. hata durumlarını temsil eden sentetik titreşimler.

Çizelge 2.1 de oluşturulan simülasyon sinyalinin bazı istatistiksel değerleri verilmektedir. Farklı hata durumlarında değişimler çok fazla olmamakla beraber, hata şiddeti arttığında kurtosis ve crest değerlerinde de artış görüldüğü, buna karşılık rms değerlerinde ise bir düşme eğilimi olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.1. Simulasyon sinyalinin istatistiksel değerleri

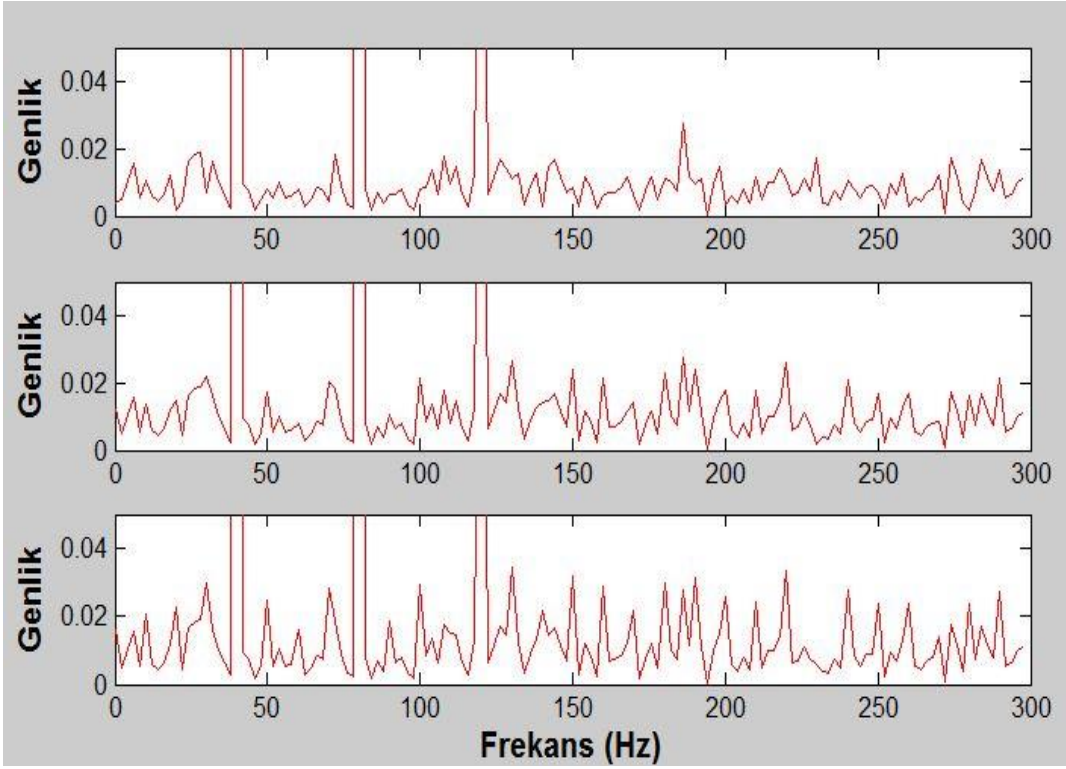
	<b>KURTOSİS</b>	<b>CREST</b>	<b>RMS</b>
Hatasız	2.96	5.45	1.279
1. Hata	3.00	5.49	1.272
2. Hata	3.01	5.50	1.270

Hatasız ve farklı hata durumları için türetilen titreşim sinyallerinin frekans içerikleri Şekil 2.2 te verilmektedir. Bu şekilde titreşim içeriğinin temel olarak kesme frekansı (40Hz) ve harmoniklerinden oluştuğu gözlemlenmektedir. Frekans içeriğini daha net olarak gözlemlemek amacıyla Şekil 2.2'nin büyütülmüş hali Şekil 2.3 te verilmektedir. Geçiş sinyalinin varlığının ayırt edilmesi, yine bu sinyalin genliğinin büyüklüğü ile ilişkilidir. Geçiş sinyali kendisini çok sayıda yan bantların oluşumu şeklinde göstermektedir ve frekans ekseninde birbirlerinden hata frekansı aralığında (10Hz) dizilmişlerdir.



Şekil 2.2. Hatasız, 1. hata ve 2. hata durumlarını temsil eden sinyallerin spektrumları.

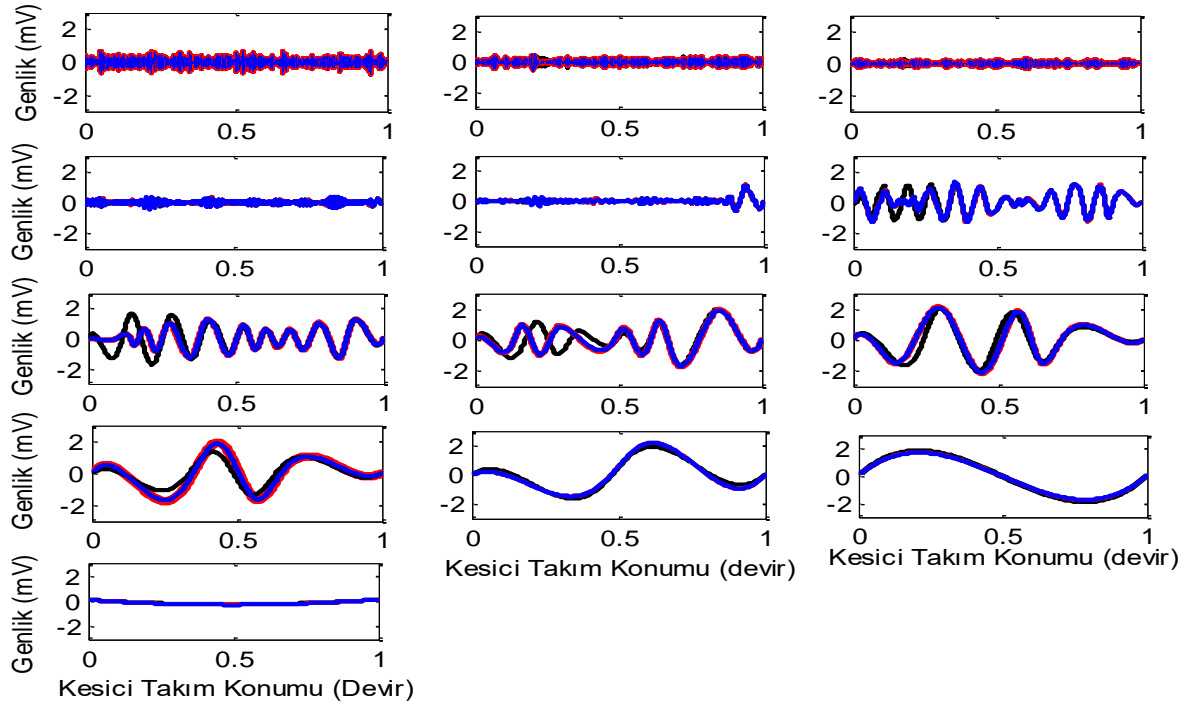




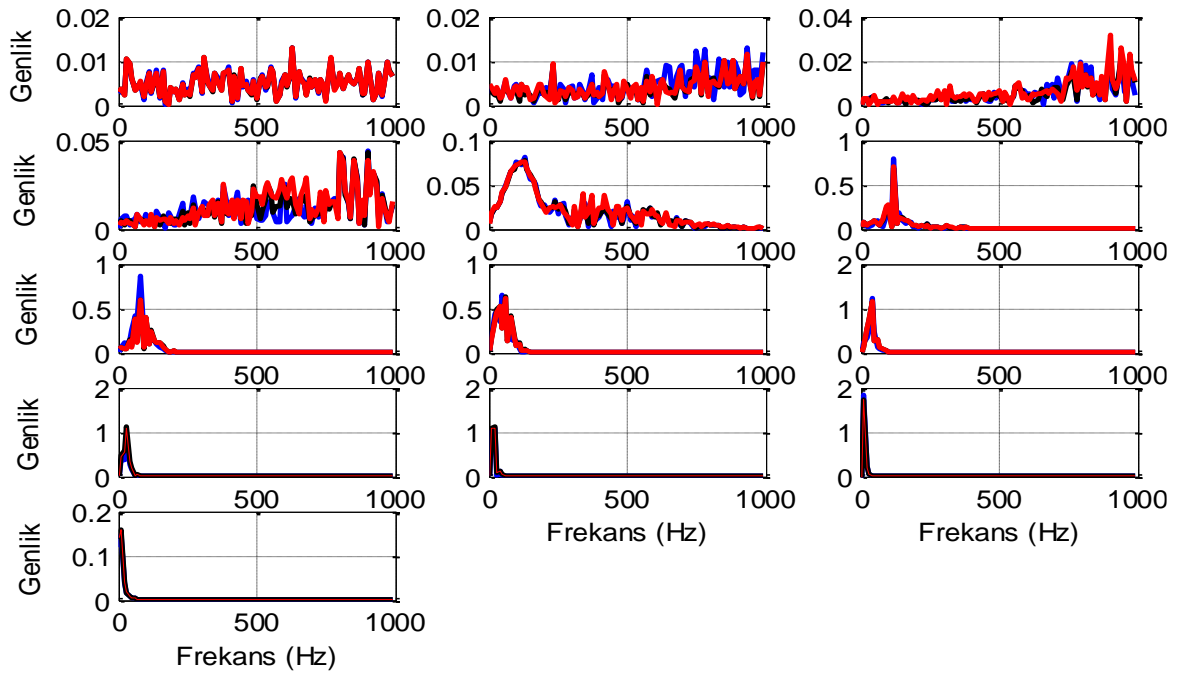
Şekil 2.3. Hatasız, 1. hata ve 2. hata durumlarını temsil eden sinyallerin büyütülmüş spektrumları.

#### 2.4.1 Sinyalleri DMA Yöntemiyle İMF'lerine Ayrıştırma

Hatasız ve farklı hata durumlarını temsil eden simulasyon sinyalleri DMA metodu ile içsel mod fonksiyonlarına (İMF) ayrıştırılmıştır. Her bir durum için 13 adet İMF elde edilmiştir ve bunların zamana ve frekansa göre değişimleri Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Genel olarak düşük mod sayılarındaki İMF'lerin yüksek frekans bileşenleri içerdiği ve genliklerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Mod sayısı arttıkça içsel mod fonksiyonlarının genlikleri de artmakta fakat yüksek frekans içeriklerini kaybetikleri görülmektedir. Hatasız ve farklı hata durumları için elde edilen İMF'lerde de değişimler gözlenmekle beraber, bu değişimlerden hata belirtilerini net bir biçimde ortaya koymak oldukça zordur.



Şekil 2.4. Hatasız ve farklı hata şiddetleri için türetilen simülasyon sinyallerinden elde edilen İMF'lerin zamana göre değişimleri. Siyah: hatasız, Kırmızı: 1. hata, Mavi: 2. hata.



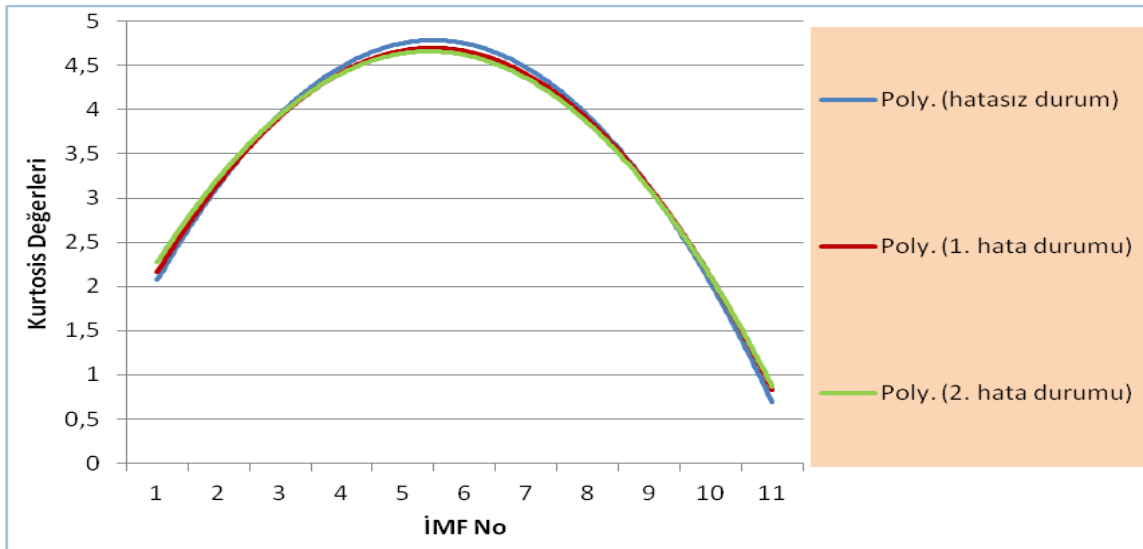
Şekil 2.5. Hatasız ve farklı hata şiddetleri için türetilen simülasyon sinyallerinden elde edilen İMF'lerin spektrumları. Siyah: hatasız, Kırmızı: 1. hata, Mavi: 2. hata.

## 2.4.2 İçsel Mod Fonksiyonlarının İstatistiksel Değerleri

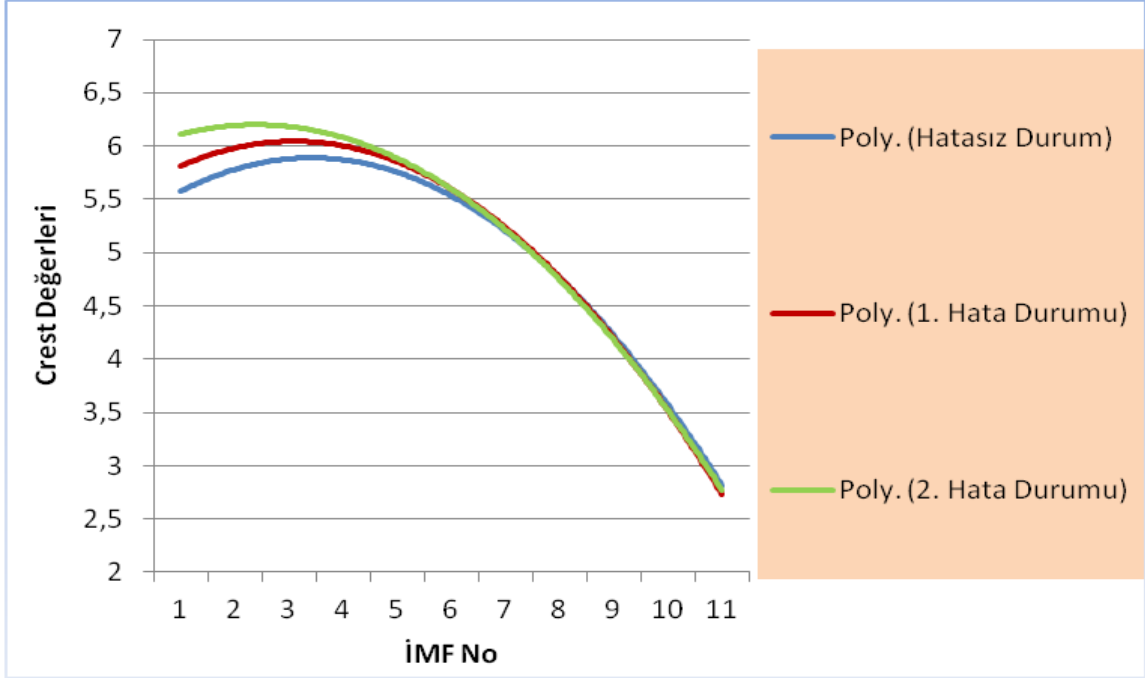
Hatasız ve farklı hata durumlarını temsil eden simulasyon sinyallerinin deneysel mod ayrışımı yöntemiyle içsel mod fonksiyonları elde edilmiştir. Bulunan bu İMF'lerin kurtosis, Crest ve Rms değerleri bulunmuştur ve bunların mod sayılarına göre değişimleri Şekil 2.6, 2.7 ve 2.8 de gösterilmektedir.

Hatasız ve farklı hata durumlarını temsil eden sinyallerden elde edilen RMS ve Kurtosis değişimleri dikkate alındığında çok belirgin farklar oluşmamaktadır. Bir başka ifadeyle içsel mod fonksiyonlarından elde edilen RMS ve Kurtosis değişimleri lokal hatanın varlığını ifade etmede yetersiz kalmaktadır. Bunların aksine farklı hata durumlarını temsil eden sinyallerin İMF'lerinden elde edilen Crest faktörü değişimleri hatanın varlığını çok daha iyi bir biçimde yansıtmaktadır. Özellikle düşük modlardaki Crest faktörü değerleri hata şiddetine paralel olarak belirgin bir biçimde artış göstermektedir. Bu belirginlik yüksek modlardan elde edilen crest faktörü değerlerinde ise azalmaktadır.

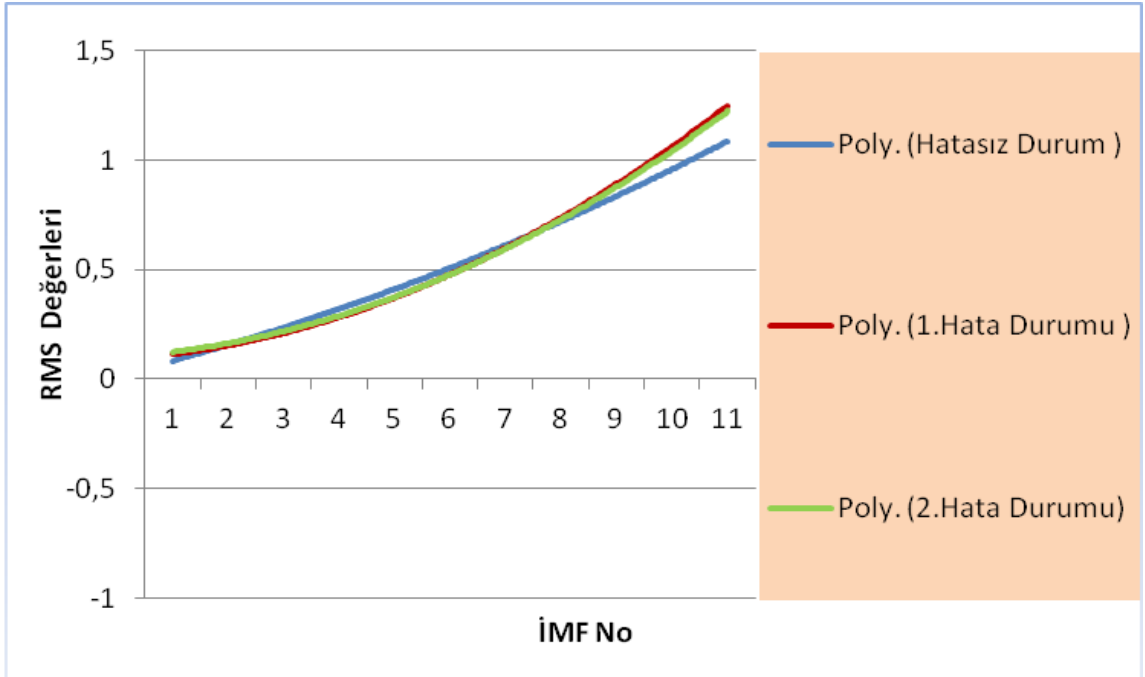
Çizelge 2.1 de oluşturulan simulasyon sinyalinin bazı istatistiksel değerleri verilmektedir. Farklı hata durumlarında değişimler çok fazla olmamakla beraber, hata şiddeti arttığında kurtosis ve crest değerlerinin de artış görüldüğü, buna karşılık rms değerlerinde ise bir düşme eğilimi olduğu görülmektedir.



Şekil 2.6 Kurtosis değerlerinin mod sayısına göre değişimleri.



Şekil 2.7 Crest faktörü değerlerinin mod sayısına göre değişir.



Şekil 2.8 RMS değerlerinin mod sayısına göre değişimleri.

## 2.5 Özet ve Sonuçlar

Bu bölümde frezeleme esnasında kesici takımlarda meydana gelen yerel hataların tespit edilmesinde önerilen titreşim esaslı yöntemlerin (zaman, frekans ve deneysel mod ayrıştırma) teorik esasları detaylandırılmıştır. Zaman ve frekans bölgesi incelemelerinde hata tespitinin esası, titreşim biçimi ve onun spektrumunda meydana gelen değişimlerin belirlenmesine dayanır. Ayrıca, titreşim biçiminde meydana gelen küçük değişimler istatistiksel yaklaşımlarla (RMS, Crest faktörü ve Kurtosis) daha iyi algılanabilir hale getirilmektedir. Deneysel mod ayrıştırma metodu ise sinyalleri kendi içerisinde içsel mod fonksiyonlarına ayırmaktadır. Ayrıştırma işlemi, içsel mod fonksiyonu kendi periyodunu tamamlayamayacak hale gelinceye kadar devam etmektedir.

- Deneysel mod ayrıştırma metodunun yerel hataların belirlenmesinde kullanılabilirliğini incelemek amacıyla bir simülasyon sinyali türetilmiştir. Dikkate alınan bu sinyal temel olarak üç harmonikten oluşturulmuştur. Genel olarak mekanik sistemlerde oluşan lokal hatalar, titreşim biçimi üzerinde lokal değişimler meydana getirirler. Farklı şiddetlerdeki lokal hataları simgelemek amacıyla, genlikleri 0.5 ve 1.0 olan iki geçiş sinyali dikkate alınmıştır. Ayrıca muhtemel gürültü bileşenlerini temsil etmek amacıyla, SNR oranı 6, ortalama değeri 0.0 ve varyansı 1.0 olan rastgele sinyal eklenmiştir.
- Hatasız ve farklı hata durumlarını temsil eden titreşim sinyallerinin zamana ve frekans bölgesi incelemeleri dikkate alındığında, geçiş sinyalinin genliği arttıkça titreşim biçimi üzerinde tespit edilebilirliğinin de arttığı gözlemlenmiştir. Diğer bir deyişle, hata şiddeti arttıkça hatanın varlığı ve konumu daha kolay tespit edilmiştir. Geçiş sinyali, frekans içeriklerinde kendisini çok sayıda yan bantların oluşumu şeklinde göstermektedir ve bu yan bantların sıklığı hata frekansında eşittir. Hatayı temsil eden geçiş sinyalinin genliği arttığında meydana gelen yan bantların sayısının ve genliğinin arttığı gözlemlenmektedir.

- Hatasız ve farklı hata durumlarını temsil eden sinyallerin istatistiksel değerleri incelendiğinde, Crest faktörü ve kurtosis değerleri hata şiddetine paralel olarak değişim sergilemekte fakat bu paralellik RMS değerleri için söz konusu olmamaktadır.
- Bu incelemeden sonra hatasız ve farklı hata durumlarını temsil eden simulasyon sinyalleri DMA metodu ile içsel mod fonksiyonlarına (İMF) ayrıştırılmıştır. Elde edilen İMF'lerin zamana ve frekansa göre değişimleri, düşük mod sayılarındaki İMF'lerin yüksek frekans bileşenlerini içerdiği ve genliklerinin düşük olduğunu göstermiştir. Ayrıca mod sayısı arttıkça içsel mod fonksiyonlarının genliklerinin de arttığı fakat yüksek frekans içeriklerini kaybettiği görülmüştür. Tüm bu değişimlere rağmen, DMA yaklaşımıyla ayrıştırılmış sinyal bileşenleri ve spektrumları üzerinde hata belirtilerini tespit etmek oldukça zordur.
- Yapılan bu tespitlerden sonra DMA metodu ile elde edilen İMF'lerin kurtosis, Crest faktörü ve RMS değerleri bulunmuş ve bunların mod sayılarına göre değişimleri, Şekil 2.6, 2.7 ve 2.8 de gösterilmiştir. RMS değerlerinde meydana gelen değişimler, hata artışını ifade etmede yetersiz kalmaktadır. Kurtosis değerleri ise düşük modlarda hata şiddetine paralel olarak bir artış göstermekle beraber, oluşan değişimler belirgin değildir. Bunların aksine farklı hata durumlarını temsil eden sinyallerin İMF'lerinden elde edilen Crest faktörü değişimleri hatanın varlığını çok daha iyi bir biçimde yansıtmaktadır. Özellikle düşük modlardaki Crest faktörü değerleri hata şiddetine paralel olarak belirgin bir biçimde artış göstermiştir. Bu belirginlik yüksek modlardan elde edilen Crest faktörü değerlerinde ise azalmıştır.

## BÖLÜM 3

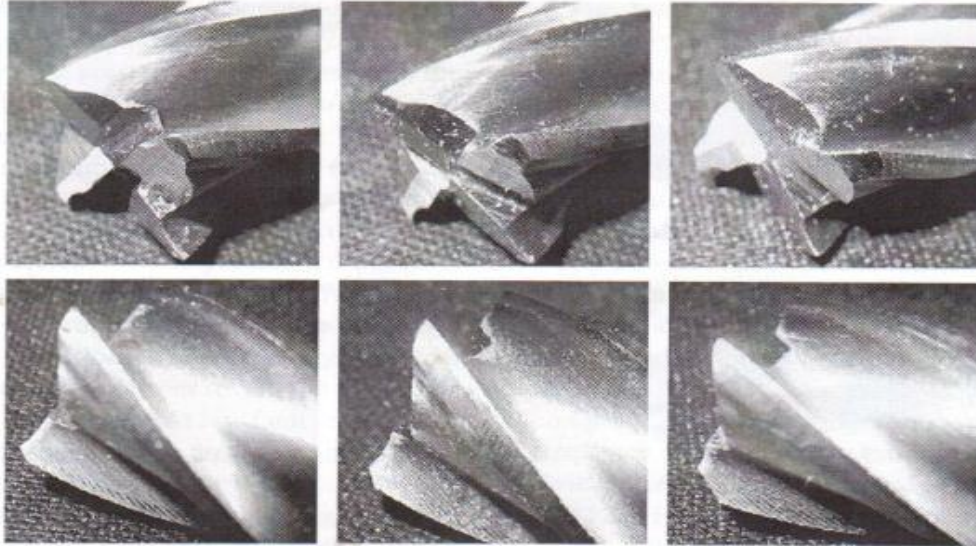
### 3.1 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde işlenen deneysel veriler [18] nolu referansta belirtilen çalışmada kullanılan veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada yapılan deneysel işlemler ve proses parametreleri burada kısaca açıklanacaktır. Bütün deneyler yüksek hız çeliğinden yapılmış dört ağızlı ve çapı 14mm olan standart bir parmak freze kullanılarak, Resim 3.1’de gösterilen konvansiyonel bir freze tezgâhı üzerinde yapılmıştır. Resim 3.2’de gösterilen lokal hata, kesici takımın bir ağızı üzerine taşlama işlemi yardımıyla yapay olarak uygulanmıştır ve hatanın şiddeti kademeli olarak arttırılmıştır. Uygulanan hatanın biçimi üçgen şeklinde olup birinci hata boyutları radyal yönde 0.25mm ve aksenal yönde 0.5mm dir. İkinci hata olarak takım ucuna 1. kademede uygulanan hata boyutları 2 katına çıkarılmıştır (0.5mm x 1.0mm). Son aşamada ise hata miktarı tekrar iki katı olarak uygulanmıştır (1.0mm x 2.0mm). Deneyler sırasında iş parçasının ilerleme hızı, adımı 5.0mm olan tabla mili ucuna tutturulan ve her devirde 500 pulse üreten bir enkoder yardımıyla belirlenmiştir. Benzer biçimde kesici takımın dönme hızı ise kesici takımın her devrinde 1 pulse üreten bir sensör yardımıyla belirlenmiştir.

Bütün deneyler yumuşak çelik malzeme üzerinde 0.3mm/sn ilerleme hızında yapılmıştır ve kesici takımın dönme hızı 600dev/dak olarak ayarlanmıştır. Uygulanan kesme derinlikleri ise radyal yönde 5.0mm ve aksenal yönde 1.5mm olarak uygulanmıştır. Kesme işlemi sırasında oluşan titreşim sinyalleri, Resim 3.1’de görüldüğü gibi kesici takıma en yakın rulman yatağı üzerine yerleştirilen iki adet ivmemetre yardımıyla tespit edilmiştir. Titreşim ve pozisyon sinyalleri 12kHz örneklenerek, kesici takımın 40 devri süresince sürekli olarak kayıt edilmiştir. Titreşim sinyallerinin frekans içeriği incelendiğinde, 3.4kHz civarında doğal frekansı olduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı titreşim sinyalleri, köşe frekansı 3.0kHz olan düşük geçirgenlikli bir filtreleme işlemine tabi tutulmuştur. Gürültü bileşenlerini azaltmak ve hata karakteristiklerini güçlendirmek amacıyla, toplanan titreşim sinyalleri kesici takımın üç devri üzerine ortalaması elde edilmiştir.



Resim 3.1 Deneyler için kullanılan freze tezgâhı, ivmemetre konumları ve kesme derinlikleri.

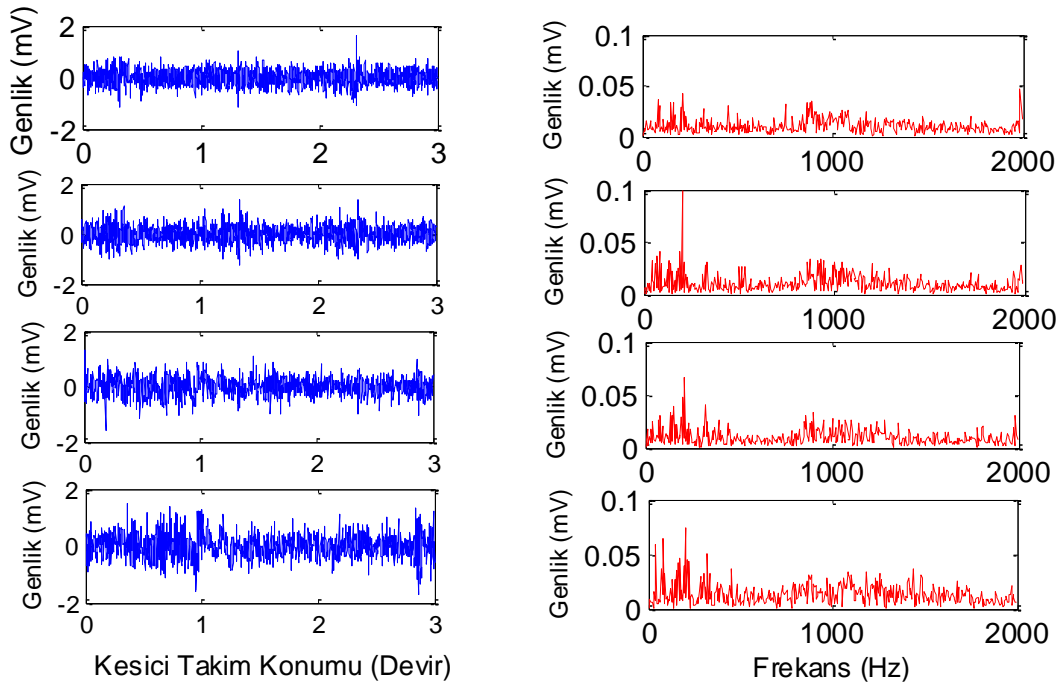


Resim 3.2 Kesici takıma uygulanan lokal hatalar: birinci hata (sol sütun), ikinci hata (orta sütun) ve üçüncü hata (sağ sütun).



### 3.2 Lokal Hataya Sahip Takım Titreşimlerinin Zaman ve Frekans Bölgesi İncelemeleri

Şekil 3.1’de sağlıklı ve farklı hata şiddetlerine sahip kesici takım kullanılarak elde edilen titreşimlerin zamana ve frekansa bağlı değişimleri gösterilmektedir. Hatasız durumda elde edilen titreşim biçimi dikkate alındığında kendini kesici takımın her devrinde tekrarlayan bir geçiş sinyalinin varlığı gözükmemektedir ve bu değişimler kesici takımında olması muhtemel olan etkilerin (eksen kaçıklığı, kompozit profil hatası gibi) yansımaları olabilir. Diğer taraftan farklı hata şiddetlerinde elde edilen titreşimler dikkate alındığında hata belirtilerinin hata şiddetine paralel olarak gelişmediği, bir başka ifadeyle titreşim biçimi üzerinde periyodik değişimlerin oluşmadığı gözlemlenmektedir. Hatasız ve farklı hata şiddetlerinde elde edilen titreşimlerin spektrumlarına bakıldığında ise hataya bağlı değişimlerin genellikle düşük frekans bölgesi (kesme frekansı ve harmonikleri) civarında oluştuğu gözlemlenmektedir ve hata şiddetine bağlı olarak kesme frekansı ve harmoniklerinde oluşan titreşimlerin genliklerinde genel olarak bir artış görülmektedir.



Şekil 3.1. Hatasız ve farklı hata şiddetlerinde elde edilen titreşimlerin zamana ve frekansa göre değişimleri.

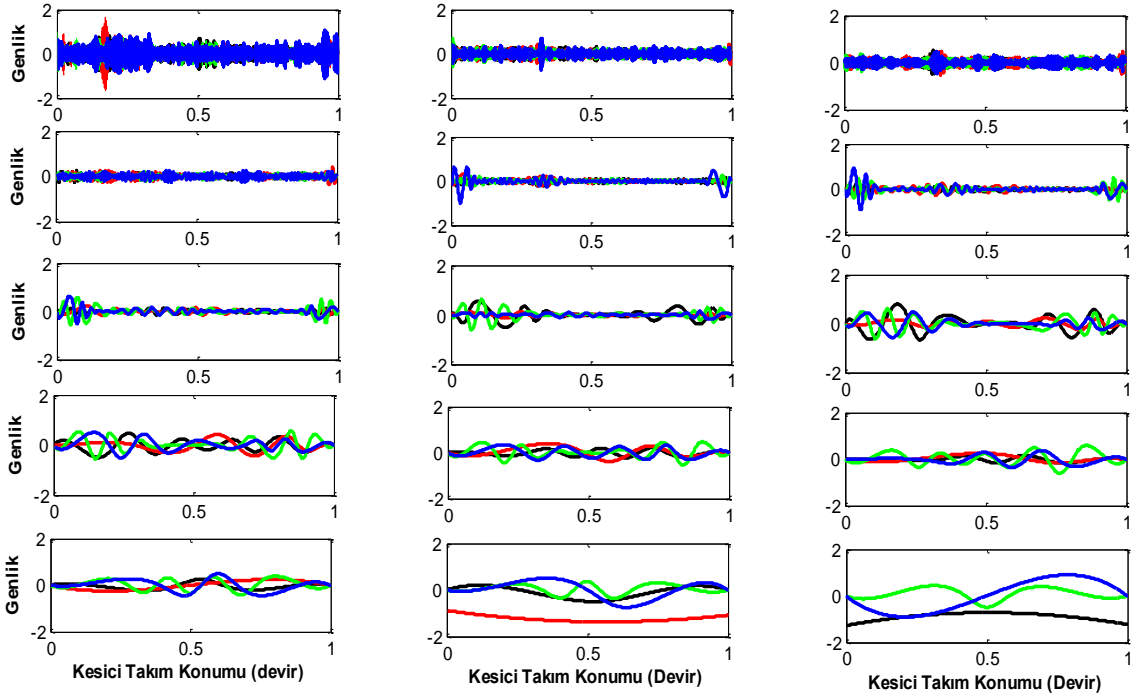
Çizelge 3.1’de hatasız ve farklı hata durumlarında oluşan titreşimlerin istatistiksel değerleri verilmektedir. Görüldüğü gibi istatistiksel değerler hatanın gelişimini yansıtacak şekilde ısrarcı bir eğilim göstermediklerinden, hatanın varlığını açıklamada yetersiz kalmaktadırlar.

Çizelge 3.1 Hatasız ve farklı hata durumlarında oluşan titreşimlerin istatistiksel değerleri.

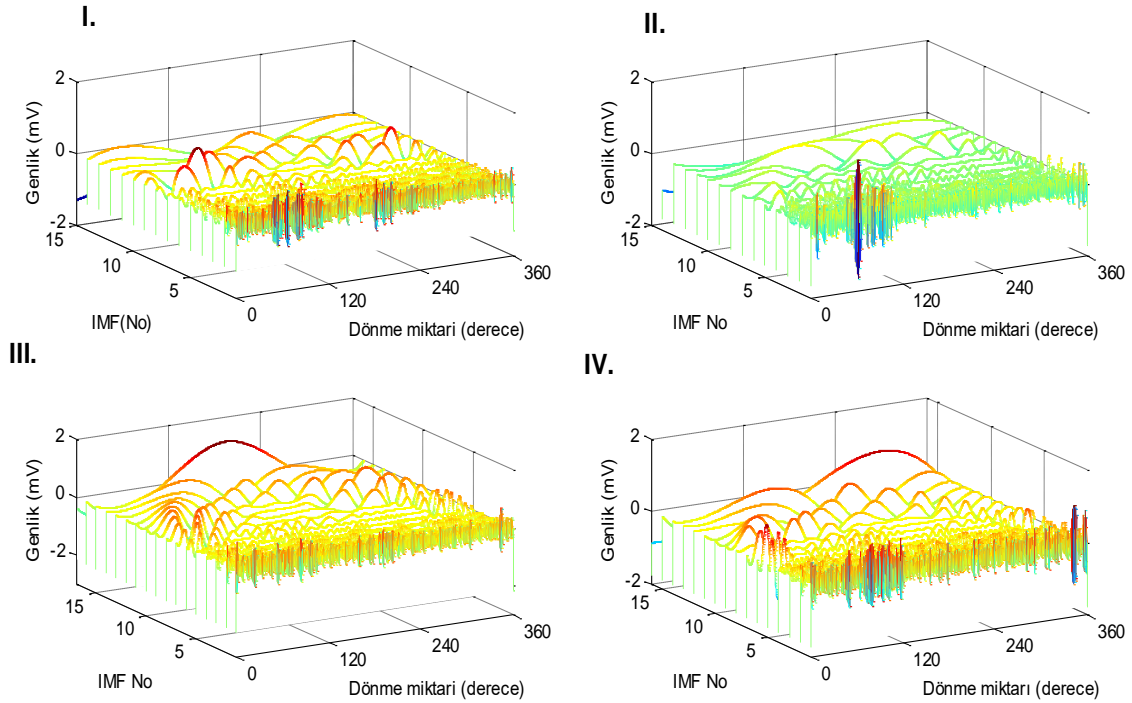
	Crest Faktörü	Kurtosis	RMS
Hatasız	2.40	3.67	1.13
1. Hata	3.39	5.54	1.23
2. Hata	2.78	3.97	1.16
3. Hata	3.06	4.27	1.24

### 3.3 Lokal Hataya Sahip Takım Titreşimlerinin DMA Yöntemiyle İncelenmesi

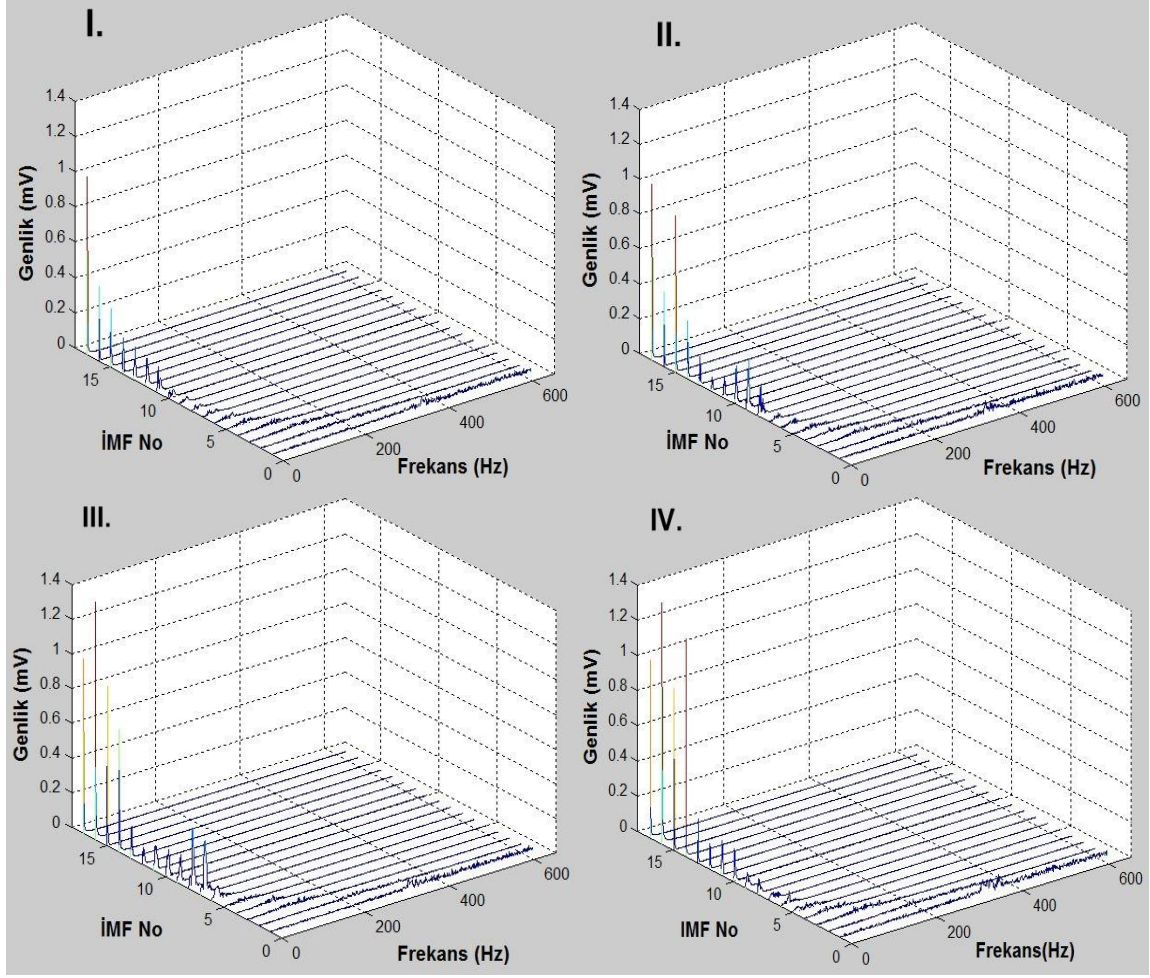
Sağlıklı ve farklı hata durumlarında elde edilen titreşimler deneysel mod ayrışımı (DMA) yöntemiyle içsel mod fonksiyonlarına (İMF) ayrıştırılmıştır. Elde edilen İMF’lerin zamana göre değişimleri Şekil 3.2 ve 3.3’de; frekansa göre oluşan değişimleri ise Şekil 3.4’de gösterilmektedir. Hatasız takımdan elde edilen titreşimlerin içsel mod fonksiyonlarının zamana göre değişimleri dikkate alındığında düşük modlardaki genliklerinin küçük olduğu fakat yüksek frekans bileşenleri içerdiği görülmektedir. Bunun aksine, yüksek modlarda ise titreşim genliklerinin bir artış gösterdiği fakat yüksek frekans aktivitelerini kaybettiği gözlemlenmektedir. Hatalı takımdan elde edilen titreşimlerin içsel mod fonksiyonları genel olarak hatasız durumdaki İMF lere benzer bir davranış sergilemektedirler. Buna ilave olarak orta ve yüksek modlardaki İMF bileşenlerinin genliklerinin hata şiddetine paralel olarak bir artış gösterdiği zamana ve frekansa bağlı değişimlerden net bir biçimde gözlemlenmektedir.



Şekil 3.2. Hatasız ve farklı hata durumlarında elde edilen İMF'lerin zamana göre değişimleri. hatasız (—), 1. hata (—), 2. hata (—), 3. hata (—)



Şekil 3.3. Hatasız ve farklı hata durumlarında elde edilen İMF'lerin waterfall diyagramları. hatasız (I), 1. hata (II), 2. hata (III), 3. hata (IV).



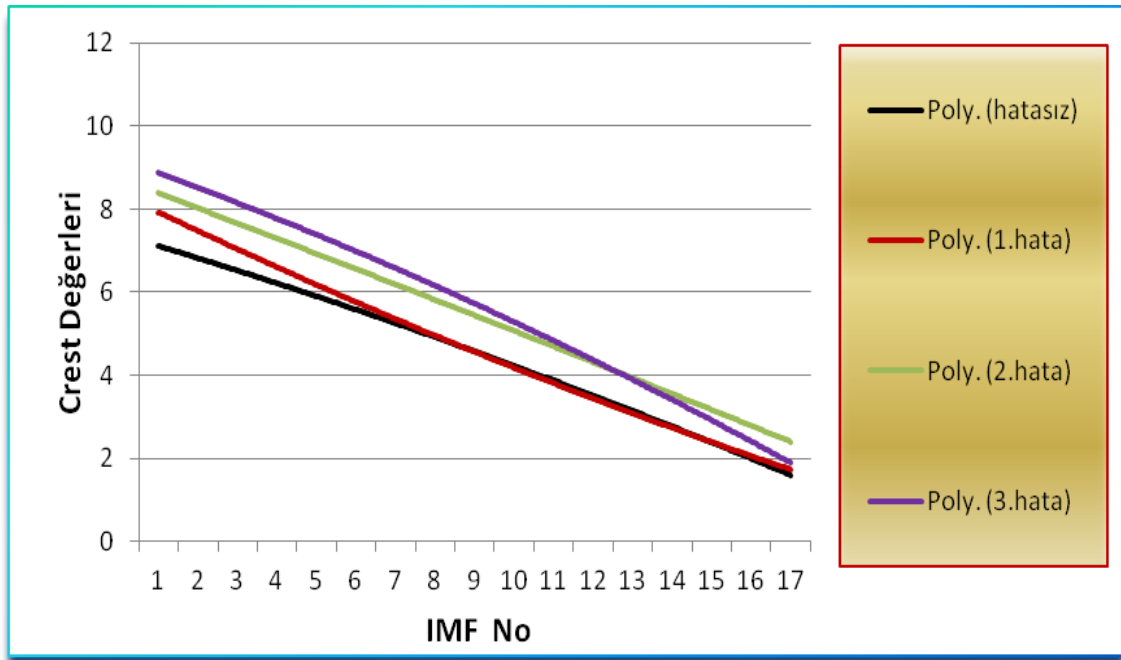
Şekil 3.4. Hatasız ve farklı hata durumlarında elde edilen İMF'lerin spektrumları.  
Hatasız (I), 1. hata (II), 2. hata (III), 3. hata (IV).

### 3.4 İMF'lerin İstatistiksel Parametreleri

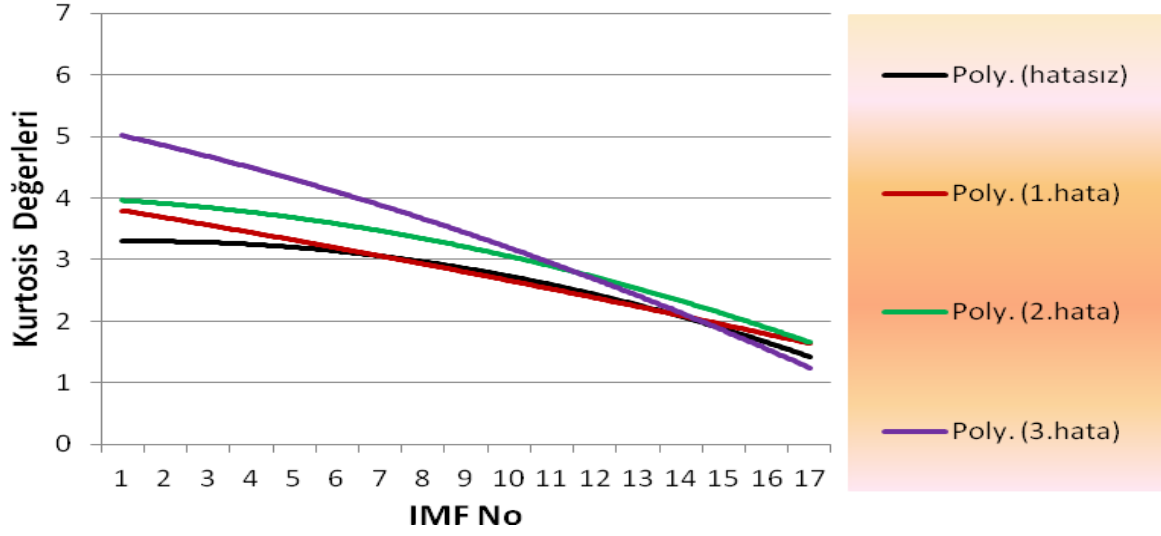
Bir önceki bölümde takım titreşimlerinin içsel mod fonksiyonları elde edilmiştir. Bu bölümde ise hata tespitinde sıklıkla kullanılan istatistiksel değerlerin; (kurtosis, crest faktörü, rms) elde edilen içsel mod fonksiyonlarına uygulanarak hata tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

Şekil 3.5 ve 3.6'da sağlıklı ve farklı hata durumlarında elde edilen takım titreşimlerinin içsel mod fonksiyonlarının Crest faktörü ve kurtosis değerlerinin mod sayısına bağlı

olarak değişimleri gösterilmektedir. Genel olarak hatasız ve hatalı durumlardaki Crest ve kurtosis değerleri mod numarası artışına göre bir azalma göstermektedirler. Bununla birlikte düşük mod sayılarındaki (7. moda kadar) Crest faktörü ve kurtosis değerleri, hatanın artışına paralel olarak değişim gösterdiğinden, hatanın varlığını ve şiddetinin artışını göstermektedir. Fakat bu paralellik yüksek mod sayılarına doğru yaklaşıldıkça kaybolmaktadır. Sağlıklı ve farklı hata durumlarındaki takım titreşimlerinin kurtosis ve Crest faktörü değerlerin hata artışına duyarız olduğu Çizelge 3.1 den anlaşılmaktadır. Fakat DMA yöntemiyle ayrıştırılan titreşim bileşenlerinden elde edilen kurtosis ve Crest faktörü değerleri ise hem hatanın varlığını hem de şiddetindeki artışı belirli bir mod sayısına kadar açık bir biçimde yansıtmaktadır.

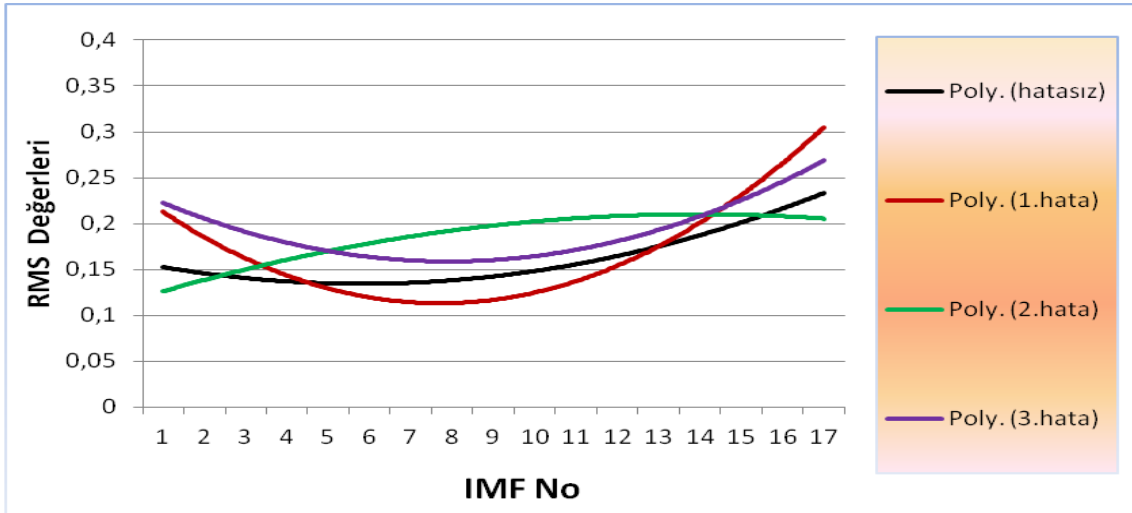


Şekil 3.5 Hatasız ve hatalı durumların İMF'lerinin Crest değerlerindeki değişimler.



Şekil 3.6 sağlıklı ve hatalı durumların İMF'lerinin Kurtosis değerlerindeki değişimler.

Şekil 3.7'de sağlıklı ve farklı hata durumlarında elde edilen takım titreşimlerinin içsel mod fonksiyonlarının RMS değerlerinin mod sayısına bağlı olarak değişimleri gösterilmektedir. Kurtosis ve Crest faktörü değişimlerinin aksine, RMS değerlerinin hata miktarına karşı değişimleri oldukça kararsız bir seyir izlemektedir ve dolayısıyla hatanın varlığı ve şiddetindeki artış bu değişimlerden anlaşılammaktadır.



Şekil 3.7 sırasıyla sağlıklı ve hatalı durumların İMF'lerinin RMS değerlerindeki değişimler.

### 3.5 Sonuçlar

Bu b3l3mde parmak freze yardımıyla yapılan frezeleme sırasında oluşan yerel takım hatalarının tespit edilmesinde titreşim esaslı deneysel mod ayrışımı yaklaşımının kullanımını sunulmaktadır.

- 3ncelikle hatasız ve farklı hata durumlarında elde edilen titreşimlerin titreşim biçimleri ve frekans içerikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçların titreşim biçimleri dikkate alındığında hata belirtilerinin hata şiddeti artışına paralel olarak oluşmadığı gözlemlenmiştir. Benzer biçimde hatasız ve farklı hata durumlarında elde edilen titreşimlerin istatistiksel değerleri de hatanın varlığını yansıtacak şekilde oluşmadığından hatanın tespit edilmesinde yetersiz kalmaktadırlar. Diğer taraftan aynı titreşimlerin spektrumları incelendiğinde ise hata şiddetine bağlı olarak kesme frekansı ve harmoniklerinde oluşan frekans aktivitelerinin genliklerde bir artış eğilimi olduğu gözlemlenmektedir.
- Hatasız ve hatalı takım titreşimlerinden elde edilen içsel mod fonksiyonlarının istatistiksel değerlerinin değişimleri dikkate alındığında, düşük modlardaki IMF bileşenlerinin Crest faktörü ve kurtosis değerleri, hatanın artışına paralel olarak değişim göstermektedirler. Crest faktörü ve kurtosis değişimlerinin aksine RMS değerlerinin hata miktarına karşı değişimleri oldukça kararsız olduğu tespit edilmiştir.

### 3.6 Sonraki çalışmalara 3neriler

Frezeleme talaşlı imalat işleminde önemli bir yere sahiptir. Bu yüzden freze kesici ağızlarında meydana gelebilecek herhangi bir lokal hata işlenen parçada ciddi sorunlara neden olabilir. Bunun önüne geçebilmek için dişdeki hatanın mümkün olan en kısa sürede belirlenmesi ve sorunun giderilmesi gerekir. Bu tespitin sağlıklı ve doğru biçimde sağlanması için titreşim analizi kullanılabilir.

Bu çalışmada kullanılan DMA metodu; Fourier metodu ve dalgacık modeline göre daha doğru bir sonuç vermektedir. Çünkü bu metod matematiksel verilere dayalı bir metod

değildir ve DMA ile ayrışan sinyal; İMF ve kalıntı sinyaline ayrıştıktan sonra, istenildiğinde İMF ve kalıntı sinyal toplanıp tekrar eski haline gelebilmektedir. Yani ayrıştırma esnasında herhangi bir kayıp olmaz.

- Bu çalışmada parmak freze yardımıyla yapılan frezeleme işlemi sırasında kesici takımında oluşan lokal kırılmaya bağlı olarak meydana gelen titreşimler Deneysel Mod Ayrıştırma yöntemiyle tespit edilmiştir. Bundan sonraki yapılan çalışmalarda parmak freze dışındaki diğer freze tiplerinden biriyle (silindirik freze, kanal freze, form freze gibi) yapılan frezeleme sırasında kesici takımında oluşan lokal kırılmanın Deneysel Mod Ayrıştırma yöntemiyle tespit edilmesi yararlı olacaktır.
- Frezeleme işlemi sırasında kesici takımında oluşan hataların büyük kısmı aşınmadan dolayı meydana gelmektedir. Aşınma ile oluşan bu hatalar kesici takım ömrünü azaltır. Aşınmaya bağlı olarak meydana gelen titreşimlerin Deneysel Mod Ayrıştırma yöntemiyle tespit edilmesi literatüre katkı sağlayacaktır.
- Karmaşık sinyallerin DMA analizi için birçok algoritma geliştirilmiştir [39-40]. Farklı IMF bileşenlerinde, farklı ölçeklere sahip ya da tek bir skalalı sinyaller içeren IMF'nin kalıntı olabilmektedir. Bu problemten kaçınmak için DMA'ya dayalı Bütün Deneysel Mod Ayrıştırma (BDMA) [40] ve Takım Deneysel Mod Ayrıştırma (TDMA) [41] olarak adlandırılan yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Frezeleme işlemi sırasında parmak frezede oluşan lokal kırılmalar BDMA ve TDMA yöntemiyle tekrar tespit edilmelidir.



## KAYNAKLAR

- [1] B.Egeli, “Çelik Malzemelerdeki Hataların Titreşim Analizi İle Tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim Dalı,2008.
- [2] H. Cao, X. Chen, Y. Zi, F. Ding, H. Chen, J. Tan and Z. He, (2008) “End milling tool breakage detection using lifting scheme and Mahalanobis distance” International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.48, pp.141–151. February 2008.
- [3] X. Li, “Acoustic emission method for tool wear monitoring during turning” International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.42, pp.157–165. January 2002.
- [4] D.E.Dimla “Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations— a review of methods” International Journal of Machine Tools and Manufacture Vol.40 (8) pp.1073–1098.2000
- [5] P.Srinivasa Pai, and P.K. Ramakrishna Rao, "Acoustic Emission Analysis for Tool Wear Monitoring in Face Milling," International Journal of Production Research, Vol. 40, No. 5, pp.1081-1093. 2002
- [6] C.A.Ustaoglu, H.M. Ertunc, H. Ocak, “Determining bearing faults using wavelet and approximate entropy.” In Signal Processing, Communication and Applications Conference,., SIU IEEE 16th pp.1-4.2008.
- [7] İ. Yesilyurt, Ö. Özdemir, “Dengesiz Yüke Maruz Silindirik Masuralı Rulman Arızasının Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü Yardımıyla Belirlenmesi” Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu, pp. 4-10. May 2015
- [8] X.Li (2001) “Detection of tool flute fracture in end milling using feed-motor current signatures” ASME Trans. Mechatron.Vol.6 pp.491–498.2001

- [9] Y. Choi, R. Narayanaswami, A. Chandra, Tool wear monitoring in ramp cuts in end milling using the wavelet transform, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Vol.23,pp.419–428. March 2004
- [10] S.Bayram, & M.K. Kaplan, & H.M. Ertunç, “Bilyalı Rulmanlarda Zaman Uzayında İstatistiksel Önitelik Çıkarımı ve Yapay Sinir Ağları Metodu ile Hata Boyutunun Kestirimi” Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, , Eylül 2013,
- [11] M.Guillot and A.El Ouafi. “On-line Identification of Tool Breakage in Metal Cutting Processes by use of Neural Networks. In *İntelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks*” ASME Press, New York Vol.I. pp. 701-709. 1991.
- [12] H.Saglam, A.Unuvar, “Tool condition monitoring in milling on cutting forces by a neural network” *International Journal of Production Research* Vol.41(7) pp.1519–1532.2003
- [13] N. Ghosh, Y.B. Ravi, A. Patra, S. Mukhopadhyay, S. Paul, A.R. Mohanty, and A.B. Chattopadhyay, "Estimation of Tool Wear during CNC Milling using Neural Network-Based Sensor Fusion," *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 21, No. 1, pp. 466-479, 2007.
- [14] J.C. Chen, and J.C. Chen, - "An Artificial-Neural-Networks Based In-Process Tool Wear Prediction System in Milling Operations," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 25, pp. 427-434, 2005.
- [15] J.H. Ko, and D.W. Cho “Cutting state monitoring in Milling by a Neural Network” " *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol.34, pp. 659-676. July 1994.
- [16] H. Konrad, “Fault Detection In Milling, Using Parameter Estimation and Classification Methods” *Control Eng. Practice*, Vol. 4. pp. 1573-1578. November 1996.

- [17] I. Yesilyurt, “End mill breakage detection using mean frequency analysis of scalogram” *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol.46 pp.450–458. March 2006.
- [18] S. Wojciechowska and P. Twardowska, “The influence of tool wear on the vibrations during ball end milling of hardened steel” *Procedia CIRP*, Vol.14 pp.587 – 592. 2014
- [19] B.K. Fussell, M. Nouri, B.L.Ziniti and E. Linder, “Real-time tool wear monitoring in milling using a cutting condition independent method” *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol.89, pp.1–13. February 2015.
- [20] Y.Altintas, ”In-process Detection Of Tool Breakages Using time series monitoring of cutting forces” *International Journal of MachineTools and Manufacture*, Vol.28 (2) pp.157–172. 1988
- [21] G. Wang, Y.Yang, Q Xie and Y. Zhang, “Force based tool wear monitoring system for milling process based on relevance vector machine” *Advances in Engineering Software*, Vol.71 pp.46–51. 2014.
- [22] B. Porankiewicz, J.Sandak and C. Tanaka, *Factors Influencing Steel Tool Wear When Milling Wood*, Springer – Verlag, Wood Science and Technology, Vol.39, pp 225–234, February 2005.
- [23] Y.B. Guo, W. Li, M.E. Barkey and J.B. Jordon, “Effect Tool Wear during End Milling on the Surface Integrity and Fatigue Life of Inconel 718” *Procedia CIRP* Vol.14 pp.54 –551.2014.
- [24] A. E. Diniz, M..Aguiar and R. Pederiva, “Correlating surface roughness, tool wear and tool vibration in the milling process of hardened steel using long slender tools” *International JournalofMachineTools&Manufacture*Vol.68, pp.1–10.2013
- [25] Y.S. Tarng, *Monitoring of Tool Fracture in Milling*, *International Journal of Advanced Manufacturing Tegnology*, Vol. 8 pp.2-8,1993

- [26] D. Rémond, J. Rigal and F. Girardin, "Tool wear detection in milling—An original approach with a non-dedicated sensor, Mechanical Systems and Signal Processing" Vol.24 pp.1907–1920. August 2010
- [27] R.E. Haber, and A. Alique, "Intelligent Process Supervision for Predicting Tool Wear in machining Processes," Mechatronics, Vol. 13, pp. 825-849, October 2003.
- [28] C.S. Ai, Y.J. Sun, G.W. He, X.B. Ze, W. Li, and K. Mao, "The Milling Tool Wear Monitoring using the Acoustic Spectrum," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 61, pp. 457-463, July 2012.
- [29] 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 Empirical 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.
- [30] 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.
- [31] 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, pp.2608–2630.2011
- [32] J. Yu, L. Yang, "Analysis of Harmonic and Interharmonic Based on Hilbert Huang Transform" Computational Intelligence and software Engineering, pp. 1-4, December 2009.
- [33] 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 spectral analysis" Proc. Roy. Soc. A: Math.Phys.Eng.Sci. Vol.459, pp.2317–2345. September 2003

- [34] Z. Wu and N.E. Huang, "A study of the characteristics of white noise using the Empirical Mode Decomposition method," *Proc. Roy. Soc. London A*, Vol.460, June 2004.
- [35] 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.
- [36] 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
- [37] 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
- [38] D. Dyer, and R.M. Stewart, "Detection of Rolling Element Bearing Damage by Statistical Vibration Analysis", *Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design*, Vol. 100, pp. 229-235, 1978.
- [39] H.R. Martin, "Detection of Gear Damage by Statistical Vibration Analysis", *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Part-C*, pp.395-401, 1992.
- [40] T. J. Broch, "Application of the B&K Equipment to Mechanical Vibration and Shock Measurements", *Bruel & Kjaer*, 1973.
- [41] İ.Yesilyurt, "Gearbox Fault Detection and Severity assessment using vibration analysis" *Ph.D.Thesis, Doktora Tezi, University of Manchester, UK. NDT & E International*, Vol.1 pp.357-372, 1997

## ÖZGEÇMİŞ

**Soyadı, Adı** :YURTÖREN Nilay  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum tarihi ve yeri** :15.08.1990 Ankara  
**Medeni Hali** :Bekar  
**Telefon** : 0(555) 451-87-22  
**E-mail** :nilay\_y110@hotmail.de  
:nilayy110@gmail.com

## Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Uşak Üni./ Makina Müh.	2017 Haziran
Lisans	Uşak Üni. /Makina Müh.	2013 Haziran
Lise	İzmir Foça Cemil Midilli YDA Lisesi	2008 Haziran

**İş Deneyimi** :CENTAŞ ÇELİK KONSTRÜKSİYON İNŞAAT TESİSAT  
TAAHHÜT TURİZM TİC. LTD. ŞTİ.

**Yabancı Dil** :İngilizce

**İlgi Alanları** :Titreşim, Makina Dinamiği, Mekanizmalar