

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

**AISI 1040 ÇELİĞİN TORNALANMASINDA KESME  
KUVVETLERİNİN VE TİTREŞİMLERİNİN YÜZEY  
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ**

**Abdullah TURAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DİYARBAKIR**

**Aralık 2014**

T.C. DICLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ  
DİYARBAKIR

Abdullah TURAN tarafından yapılan “AISI 1040 Çeliğın Tornalanmasında Kesme Kuvvetlerinin ve Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliğı Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

Başkan : Doç. Dr. Orhan ÇAKIR

Üye : Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet YARDIMEDEN

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 31 / 12 / 2014

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

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

Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca, derin bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, her türlü desteğini benden esirgemeyen çok değerli hocam tez danıőmam Yrd. Doç. Dr. Ahmet YARDIMEDEN'e ve yine tezi hazırlamamda yardımlarını benden esirgemeyen Doç. Dr. Erol KILIÇKAP'a teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca her zaman yanımda olan sevgili dostum Arş. Gör. Rasim ÇEKİK'e de teőekkürü bir borç bilirim.

Bugünlere gelmemde en büyük emeği olan, maddi ve manevi acıdan her zaman varlığını yanımda hissettiğim anneme ve babama saygılarımı ve őükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR .....	I
İÇİNDEKİLER .....	II
ÖZET .....	IV
ABSTRACT .....	V
ÇİZELGE LİSTESİ .....	VI
ŞEKİL LİSTESİ .....	VII
KISALTMA VE SİMGELER .....	IX
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	3
2.1. Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi .....	15
2.2. Titreşim .....	16
2.2.1. Titreşimin Sınıflandırılması .....	18
2.2.2. Titreşim Ölçülmesi .....	23
2.2.2.1. Titreşim Ölçer (Akselerometre) Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar ..	24
2.2.3. Titreşime Neden Olan Faktörler .....	24
2.3. Yüzey Pürüzlülüğü .....	29
2.3.1. Yüzey Yapısının Özellikleri .....	30
2.3.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar .....	31
2.3.3. Yüzey Kalitesini Etkileyen Faktörler .....	31
2.3.4. Yüzey Kalitesinin Sayısal Olarak Değerlendirilmesi .....	32
2.3.4.1. Ortalama Çizgi Sistemi (M) .....	32
2.3.4.2. Zarf Sistemi (E) .....	33
2.3.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçme Teknikleri .....	36
2.3.5.1. Optik Metot .....	36
2.3.5.2. Dokunma Metodu .....	36
2.3.5.3. Mekanik Metot .....	36
2.3.5.4. X Işını Metodu .....	37
2.3.5.5. Elektron Mikroskobu Metodu .....	37
2.3.5.6. Hidrolik Metot .....	37
2.3.5.7. Replika (Mask) Metodu .....	37
2.3.5.8. Yüzey Dinamometresi Metodu .....	37
2.3.5.9. Kesit Alma Metodu .....	37
2.3.5.10. Karşılaştırmalı Mikroskoplu Metot .....	38

2.3.5.11. İzleyici Uçlu Cihazlar Metodu.....	38
2.3.5.12. Elektro Fiber Optik Metot.....	39
2.3.5.13. Optik Parazit Aletleri Metodu.....	39
<b>3. MATERYAL VE METOT.....</b>	<b>41</b>
3.1. Materyal.....	41
3.2. Metot.....	41
3.3. Deney Numuneleri.....	42
3.3.1. Kesici Takım ve Takım Tutucu.....	42
3.3.2. Torna Tezgahı.....	43
3.3.3. Titreşim Ölçme Cihazı.....	43
3.3.4. Dinamometre.....	45
3.3.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Cihazı.....	47
3.4. Deney Değişkenleri.....	47
3.5. Deneylerin Yapılışı.....	48
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>51</b>
4.1. Değerlendirme Esasları.....	51
4.1.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	57
4.1.2. Titreşim Genliklerinin Değerlendirilmesi.....	63
4.1.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi.....	68
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>75</b>
5.1. Öneriler.....	76
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>77</b>
ÖZGEÇMİŞ.....	85
..	

## ÖZET

### AISI 1040 ÇELİĞİN TORNALANMASINDA KESME KUVVETLERİNİN VE TİTREŞİMLERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

Yüksek Lisans Tezi

Abdullah TURAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2014

Bu çalışmada kuru tornalama işlemi boyunca kesme kuvveti ve kesme takımında oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenerek detaylı literatür araştırmasıyla optimum kesme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyler (CNMG 120404-NM KLP 115) formundaki sementit karbür kesme takımı kullanılarak yapıldı. İşlemler üç farklı kesme hızında (87 m/dak, 143 m/dak, 238 m/dak), üç farklı ilerleme oranında (0.052 mm/dev, 0.104 mm/dev, 0.156 mm/dev) ve üç farklı kesme derinliğinde (0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm) gerçekleştirilmiştir. 250 mm uzunluk ve 50 mm çapında AISI 1040 çeliği iş parçası kullanılarak toplamda 27 adet deney gerçekleştirildi. Kesme kuvvetleri ve titreşimler işlem süresince ölçülürken, yüzey pürüzlülüğü testlerden sonra iş parçasının beş farklı noktasından ölçüldü. Daha sonra bu değerlerin ortalaması alındı. Ölçülen bu değerlere göre titreşim ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki değerlendirildi. Ayrıca, farklı kesme şartları altında dinamometre yardımıyla ölçülen kesme kuvvetleri Dynoware programı ile, ve ivme ölçer yardımıyla ölçülen titreşim de Labview programı ile analiz edildi. Ek olarak, hangi frekansta hangi genlikte takım titreşiminin oluştuğunu gözlemlemek için Matlab programında FFT grafikleri oluşturuldu. Yüzey pürüzlülüğü titreşimin artmasıyla arttığı görüldü. Bu durum ile m titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğunu söyleyebiliriz.

**Anahtar kelimeler:** Titreşim, Kesme Kuvveti, Yüzey Pürüzlülüğü

## ABSTRACT

### EFFECT OF CUTTING FORCES AND VIBRATIONS ON SURFACE ROUGHNESS ON TURNING OF AISI 1040 STEEL

M. Sc. Thesis

Abdullah TURAN

DEPARTMENT OF FIELD MECHANIC ENGINEERING  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF DICLE

2014

In this study, It was tried to determine the optimum cutting parameters thanks to detailed research by examining the influences of cutting force and cutting tool vibrations on surface roughness during lathe dry turning process. Machining tests were performed using cementide carbide cutting tool which has from (CNMG 120404-NM KLP 115). The machining tests were carried out at three different cutting speeds (87 m/min, 143 m/min, 238 m/min), at three different feed rates (0.052 mm/rev, 0.104 mm/rev, 0.156 mm/rev) and at three different depth of cut (0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm). Using 250 mm length and 50 diameter AISI 1040 steel as workpiece were carried out total of 27 machining tests. Cutting forces and vibrations were measured during the process. Surface roughness values of the machined surface were measured from five different point on the workpiece after mechanic tests. Then the average surface roughness values were measured. According to the measured values were evaluationed relation between vibration and surface roughness. Also, measured cutting force thanks to dynamometer on machining tests under different cutting conditions were analysed by Dynoware programme and measured vibration values thanks to acceleration were analysed by Labview programme. In addition, FFT chats (Fast Fourier Transform) were set up on Matlab to examine measured cutting tool vibrations at which frequency and at which amplitude. Surface roughness increased when vibration increased. This shows the effect of vibration is negative effect over the surface roughness.

**Key Words:** Vibration, Cutting Force, Surface Roughness

## ÇİZELGE LİSTESİ

<b><u>Çizelge No:</u></b>		<b><u>Sayfa:</u></b>
<b>Çizelge 3.1.</b>	AISI 1040 çeliğın kimyasal bileşimi	41
<b>Çizelge 3.2.</b>	Kesici takımın boyutları	42
<b>Çizelge 3.3.</b>	Takım tutucunun boyutları	42
<b>Çizelge 3.4.</b>	İvme ölçerin teknik özellikleri	44
<b>Çizelge 3.5.</b>	Dinamometrenin teknik özellikleri	45
<b>Çizelge 3.6.</b>	Deneylerde kullanılan kesme parametreleri	48
<b>Çizelge 4.1.</b>	Deney sonuçları	57



## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No:</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.	Serbest Titreşim	18
Şekil 2.2.	Sönümsüz Serbest Titreşim	20
Şekil 2.3.	Sönümlü Tek Serbestlik Dereceli Kütle Yay Sistemi	21
Şekil 2.4.	Tek Serbestlik Dereceli Kütle Yay Sisteminin Cevap Eğrisi	22
Şekil 2.5.	Titreşim ölçer (Akselerometre) iç yapısı	24
Şekil 2.6.	Kayma düzlemi değişimi	26
Şekil 2.7.	Kesme işlemindeki kuvvetler	27
Şekil 2.8.	E. Merchant'ın kesme diyagramı	27
Şekil 2.9.	Deformasyon bölgeleri	28
Şekil 2.10.	Kesme işleminde boşluk açısı değişimleri	29
Şekil 2.11.	Yüzey şekilleri	30
Şekil 2.12.	İşlenmiş bir yüzey yapısı	31
Şekil 2.13.	Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi	33
Şekil 2.14.	Zarf eğrisinin elde edilişi	34
Şekil 2.15.	Ortalama zarf eğrisi	34
Şekil 2.16.	Ra Yüzey pürüzlülük değerinin gösterimi	35
Şekil 2.17.	İzleyici uç prensibi	38
Şekil 2.18.	Taşlanmış çelik yüzey	40
Şekil 3.1.	AISI 1040 iş parçası	41
Şekil 3.2.	Kesici takım	42
Şekil 3.3.	Takım tutucu	43
Şekil 3.4.	Torna tezgahı	43
Şekil 3.5.	İvme ölçer	44
Şekil 3.6.	Veri kartı	44
Şekil 3.7.	Kuvvet ölçme cihazı	46
Şekil 3.8.	Dinamometrenin tezgaha bağlanması	46
Şekil 3.9.	Yükseltici	46
Şekil 3.10.	Yüzey pürüzlülük cihazı	47
Şekil 3.11.	9 nolu deney sonucunda elde edilen kesme kuvvet grafiği	49
Şekil 3.12.	25 nolu deneyden elde edilen titreşim ivmesi ve spektrum grafiği	50
Şekil 3.13.	25 nolu deney için matlabta oluşturulan spektrum yoğunluğu	50
Şekil 4.1.	Matlabta elde edilen spektrum grafikleri	52

<b>Şekil 4.2.</b>	Farklı kesme derinliklerinde kesme kuvvetinin kesme hızlarına bağlı olarak değişimi	58
<b>Şekil 4.3.</b>	Farklı kesme derinliklerinde kesme kuvvetinin ilerleme oranına bağlı olarak değişimi	60
<b>Şekil 4.4.</b>	Farklı kesme hızlarında kesme kuvvetinin kesme derinliğine bağlı olarak değişimi	61
<b>Şekil 4.5.</b>	Farklı kesme hızlarında kesme kuvvetinin ilerleme oranına bağlı olarak değişimi	62
<b>Şekil 4.6.</b>	Farklı kesme derinliklerinde titreşim genliğinin kesme hızına bağlı olarak değişimi	64
<b>Şekil 4.7.</b>	Farklı kesme derinliklerinde titreşim genliğinin ilerleme oranına bağlı olarak değişimi	65
<b>Şekil 4.8.</b>	Farklı kesme hızlarında titreşim genliğinin kesme derinliğine bağlı olarak değişimi	66
<b>Şekil 4.9.</b>	Farklı kesme hızlarında titreşim genliğinin ilerleme oranına bağlı olarak değişimi	67
<b>Şekil 4.10.</b>	Farklı kesme derinliklerinde yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına bağlı olarak değişimi	69
<b>Şekil 4.11.</b>	Farklı kesme derinliklerinde yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranına bağlı olarak değişimi	70
<b>Şekil 4.12.</b>	Farklı kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranına bağlı olarak değişimi	72
<b>Şekil 4.13.</b>	Farklı kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün kesme derinliğine bağlı olarak değişimi	73

## KISALTMA VE SİMGELER

a	: Kesici takım boşluk açısı (°)
a ya da g	: Titreşim genliği (g) veya ivme (m/s <sup>2</sup> )
a ya da t <sub>c</sub>	: Kesme derinliği (mm)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alüminyum oksit
AISI	: Amerikan Demir Çelik Enstitüsü Standartları
AlTiN	: Alüminyum Titanyum Nitrür
ANOVA	: Varyans Analizi
b ya da t <sub>o</sub>	: Talaş genişliği (mm)
BUE	: Built-up Edge (Talaş sıvanması ve yapışması)
c	: Sönümlenme sabiti
CBN	: Kubik Bor Nitrür
CNC	: Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
CVD	: Elmas takım
D	: İş parçası çapı (mm)
E	: Zarf sistemi
EKG	: Elektrokardiogram
f	: İlerleme oranı (mm/dev)
F	: Frekans (Hertz) ya da Kuvvet (N)
F <sub>0</sub>	: Bozucu kuvvetin kütleyle oranının maksimum kuvveti (N)
F <sub>m</sub>	: Harmonik kuvvetin maksimum değeri (N)
F <sub>t</sub>	: Teğetsel kuvvet (N)
F <sub>x</sub> ya da F <sub>R</sub>	: Radyal kuvvet (N)
F <sub>y</sub> ya da F <sub>f</sub>	: İlerleme kuvveti (N)
F <sub>z</sub> ya da F <sub>c</sub>	: Kesme kuvveti (N)
FFT	: Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
HRC	: Sertlik değeri
HSS	: High Speed Steel (Yüksek hızlı çelik)
I	: Akım (A)
Inconel	: Nikelbase alaşımı
k	: Yay sabiti
Ls	: Örnekleme uzunluğu
m	: Kütle (gr)
M	: Ortalama çizgi sistemi
mV	: Voltaj (milivolt)

P10	: Karbit kesici takım
R	: Direnç ( $\Omega$ ) ya da yay yarıçapı (mm)
$R_2$	: Yüzdellik Hata oranı
$R_a$	: Ortalama pürüzlülük değeri ( $\mu\text{m}$ )
$R_E$	: Köşe radüsü (mm)
$R_q$	: Sapmaların geometrik ortalama değeri ( $\mu\text{m}$ )
$R_t$	: Maksimum yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )
RSM	: Response Surface Method (Yüzey Cevap Metodu)
SOM	: Kendiliğinden Düzenlemeli Harita
SUS304	: Paslanmaz çelik
T	: Periyod (s)
TiC	: Titanyum Karbür
TiN	: Titanyum Nitrür
UC	: Ultrasonik kesme
V	: Kesme hızı (mm/dak)
$V_f$	: İlerleme hızı (mm/dak)
W	: Ağırlık (kg)
x	: Uzama miktarı (mm) veya deplesman
$\omega$	: Açısal hız (r/s)
$\omega_n$	: Sistemin doğal frekansı (Hz)
$\delta$	: Sönümlenme katsayısı
$\emptyset$	: Kayma düzlem açısı ( $^\circ$ )
$\beta$	: Kama açısı ( $^\circ$ )
$\gamma$	: Talaş açısı ( $^\circ$ )
EKG	: Elektrokardiogram
E	: Zarf sistemi

## 1. GİRİŞ

Malzemenin yapısını oluşturan atomların veya atom kümelerinin arasındaki bağı koparak yapılan işlem olan talaşlı imalat, günümüz teknolojisinde en çok kullanılan imalat yöntemlerinden biridir. Talaşlı imalat yöntemleri tornalama, frezeleme, eğeleme, vargelleme ve bunun gibi birçok imalat işlemini kapsar. Talaşlı imalatta malzeme üzerinden kesici, delici veya talaş kaldırıcı takımlar ile talaş kaldırarak iş parçası istenilen şekle ve boyuta getirilebilir. Bütün talaş kaldırma işlemlerindeki temel amaç, iş parçalarında istenen geometride hassas bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Yani maksimum verim alabilmek için mümkün olduğunca en düşük değerdeki yüzey pürüzlülüğünü sağlamaktır. Bu nedenle kesici ve talaş kaldırıcı takımları iş parçasının özelliğine göre seçmek gerekmektedir. Bu işlemler klasik veya bilgisayar kontrollü takım tezgahlarında, imalat işlemi esnasında ve imalat işlemi sonrasında hassas imalat gerçekleştirmek istenmektedir. Amaç imalat sonrası toleranslara uygun geometri ve yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşmaktır (Çakır 1999).

Talaşlı imalatta yüzey kalitesi birçok torna iş parçası için önemli ve de gereklidir. Bu yüzden optimum kesme parametreleriyle gerekli yüzey kalitesini kontrol etmek çok önemlidir. Yüzey pürüzlülüğü birçok faktör tarafından etkilenebilir. Kenar yığılma formasyonu ve titreşim gibi (Çelik 2010).

Talaşlı imalatta titreşim seviyesini belirlemek çok önemlidir. Çünkü titreşim istenen düzeyde ürünün serbest yüzey aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etki etmektedir (Thomas ve ark 1996), (Ghani ve Choudhury 2002). Ayrıca titreşim kesici takım ömrünü de olumsuz bir biçimde etkilediği yapılan araştırmalarla ifade edilmektedir (Jang ve Tarn 1999). Titreşim seviyesinin belirlenmesiyle, sisteme zamanında müdahale edilebilir ve mümkün olan en az hasarla işlem devam ettirilebilir. İstenen ürünün elde edilememesi malzemenin hurdaya dönmesine neden olur ki bu da hem zaman hem de maddi kayıp olduğu için istenmeyen bir durumdur.

Bu tez çalışmasının amacı imalat sanayisinde geniş kullanımı olan AISI 1040 çeliğin soğutma sıvısı kullanılmadan farklı kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği) kullanılarak işlem esnasında oluşan titreşimin ve malzemeye etki eden kesme kuvvetlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırarak kesme parametrelerin kesme kuvvetlerini ve titreşimi nasıl ne derece etkilediğini belirleyerek,

## 1. GİRİŞ

---

daha iyi yüzey pürüzlülüğünü elde edebilmek için optimum kesme parametrelerini tayin etmektir.

Bu amaçla yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerle kesme kuvvetleri, titreşim genlikleri ve yüzey pürüzlülüğünün kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği) ile olan ilişkileri grafikler oluşturularak açıklanmaya çalışılmış, ayrıca matlabta FFT grafikleri elde edilerek kesme işleminin hangi frekanslarda titreşim genliklerinin pik noktasına ulaştığı ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Talaşlı imalattaki temel amaçlardan biri istenilen ürünün yüzey pürüzlülüğünü en iyi seviyeye getirmektir (Sadek 1974), (Bazrov 1977), (Xiao ve ark. 2002). Bundan dolayı yüzey pürüzlülük değerini belirlemede hangi parametrelerin ne derece etkili olduğunu ortaya koymak amacı ile çok çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Talaşlı imalat esnasında iş parçasının yüzey kalitesini etkileyen kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği vb.) en önemli parametrelerden biridir (Thomas ve ark. 1993), (Abouelatta ve Madl 2001), (Thomas ve Beauchamp 2003), (Ghani ve ark. 2004), (Belmonte ve ark. 2004), (El-Sinawi ve Kashani 2005), (Devillez ve ark. 2007), (Arıtaşı 2008), (Bartarya ve Choudhury 2012) ve (Suresh ve ark. 2012). Ayrıca kesici takım geometrisinden takım burun radüsü de yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilemektedir (Aouici ve ark. 2002), (Özses 2002), (Dimla 2004), (Belmonte ve ark. 2004). Bunun yanında, kesici takımında oluşan mekanik titreşimlerde yüzey kalitesini etkilemektedir (Tobias 1965), (Lin ve Hu 1992), (Thomas ve ark. 1996), (Choudhury ve ark. 1997), (Jang ve Tarng 1999), (Abouelatta ve Madl 2001), (Ghani ve Choudhury 2002), (Neşeli 2007) ve (Tekaut 2008).

Takım tezgahlarındaki hareketli makine parçalarından ve tezgahların oturduğu zeminden gelen bazı istenmeyen dış etkilerin oluşturduğu kuvvetler, tezgahın bütünlüğünden dolayı kesici takım ucunda titreşim olarak kendini göstermektedir. Dolayısıyla, takım tezgahlarının yapısından dolayı sahip oldukları farklı titreşim frekansı değerleri vardır (Beauchamp ve ark 1995) ve (Thomas ve ark. 1996). Bunun yanında, talaş kaldırma işlemi sırasında kesme parametrelerine bağlı olarak mekanik titreşimler oluşmasının yanında Thomas ve ark. (1996), Saxena (1982) ve Ghani ve Choudhury (2002) bağlantı tipine ve takım bağlama uzunluğuna bağlı olarak da titreşim oluşmaktadır (Saxena 1982), (Ghani ve Choudhury 2002) ve (Lipski ve ark. 2002).

Farklı kesme parametre değerleri kullanılarak yumuşak bir çeliğin işlenmesi çalışmasında El-Sinawi ve Kashani (2005), kesme işlemi boyunca kesici takımında oluşan titreşimin ana nedenlerden birinin oluşan kesme kuvvetleri olduğu belirtilmektedir. Kesme kuvvetlerinin kesme parametrelerine dayalı zamanla değişmesinden dolayı, kesici takımında aşınma meydana gelir ve bunun sonucunda titreşimlerin oluştuğu ifade edilmiştir. Dolayısıyla işlenen yüzeylerin kalitesinin azaldığı ifade edilmiştir. Ayrıca

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

---

kesme işlemi sırasında oluşan talaş yapışması ve sıvanmasının yüzey kalitesini kötüleştirdiği ve kesici takıma etkiyen dinamik kuvvetlerin arttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla talaş yığılmasının yüzey pürüzlülüğüne yaptığı bu etkiyi en aza indirmek için kesme derinliğini artırmak gerektiğini vurgulamışlardır. Minimum yüzey pürüzlülük değerlerine, ilerleme oranı 0.35 mm/dev, takım uç yarıçapı 1,6 mm'de ve yüksek kesme hızlarında (265 m/dak ve üzeri) ulaşılmıştır.

Kuru şartlar altında, AISI 1050 malzemesini kullanarak, 4 farklı talaş kırıcı (SA, MA, MS, GH) formuna sahip kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanarak, sabit kesme derinliğinde, 4 farklı kesme hızı ve 3 farklı ilerleme oranı değeri kesme parametreleriyle yapılan çalışmada Tekaut (2008), titreşime etki eden faktörlere bağlı olarak kesici takımda oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelemiştir. Bunun sonucunda titreşimin yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki ettiğini açıkça ortaya koymuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değeri düşük kesme hızında MS talaş kırıcı formunda elde etmiştir. Her dört talaş kırıcı formu için 250 m/dak kesme hızında, 0.25 mm/dev ilerleme değerinde ortak olarak en iyi sonuçların gözlemlendiği optimum değerler ortaya çıkmıştır..

Tornada takım geometrisine bağlı olarak meydana gelen titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenen çalışmada Neşeli ve Yıldız (2007), universal torna tezgahında değişik yaklaşma açıları (60°, 75°, 90°), talaş açıları (-3°, -6°, -9°) kullanılarak AISI 1040 çeliği üzerinden 0.5 mm kesme derinliğinde talaş kaldırılmıştır. Kesme işlemi sırasında kesme parametreleri sabit tutulmuştur. Deneylede TiC kaplı kesici uçlar kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda yaklaşma açısının artışıyla titreşimin arttığı ve buna bağlı olarak da yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği sonucunu ortaya koymaktadır. Burun radüsün etkisi incelendiğinde ise, 0.4 mm burun radüsünde en iyi yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Normalde daha yüksek burun radüslerinde daha iyi sonuçları alınması beklenirken tersi durum oluşmasının nedeni takım burun kısmı ile malzeme arasındaki efektif sürtünme alanının artmasıyla oluşan titreşimin artmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca talaş açısının daha küçük negatif değerlerinde titreşimin daha fazla olduğu saptanmıştır.

İki kesici faktörüne dayalı özellikle yeni ve aşınmış kesicilerle elde edilen kesme kuvvetlerinde FFT analizi kullanılarak işlenen yüzeyde ve delme finişlemede



kesicideki oluşan titreşim analizi yaklaşımını sunan bu çalışmada Toh (2004), aşınmış kesicilerde titreşimin daha fazla görüldüğünü açıkça ortaya koymuştur.

$Al_2O_3$  bazlı TiC takviyeli seramik malzemeden yapılmış takımlarla, kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği gibi parametrelerin değiştirildiği bir çalışmada Rahman ve ark. (2001), dökme demir torna tezgahında işlenmesi sonucu elde edilen yüzey kalitesi ve kesici takım aşınmasını incelemiştir. Sonuç olarak  $Al_2O_3+TiC$  seramik uçların nodüler dökme demirin işlenmesinde uygun olmadığı, 364–685 m/dak kesme hızı aralığında maksimum kesici takım ömrüne ulaşıldığı (1,5 dak), işlenen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin ise, bütün kesme koşullarında takımın yan yüzey aşınmasının artmasına rağmen gözle görülür bir değişim göstermediği, araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Ayrıca kesici takımdaki titreşim değişim hızı ve genliğinin kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliğine bağlı olarak değişimi de bu çalışmada yorumlanmıştır. Kesici takımdaki yan yüzey aşınmasının artmasıyla titreşim genliğinin arttığı, sabit ilerleme oranında ve kesme derinliğinde kesme hızının artmasıyla (özellikle 364-685 m/dak aralığında) kesici takım titreşiminin azaldığı ifade edilmiştir. Kesici takımdaki yan yüzeyin aşınmasının artmasıyla, yüksek kesme hızına göre daha az düzeyde olmak kaydıyla kesici takım titreşim değerlerinin artış gösterdiği de araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Düşük kesme derinliklerinde ise kesici takım aşınmasındaki artışa rağmen titreşim değerlerinin hemen hemen sabit kaldığı ifade edilmiştir.

Kuru şartlar altında kesme takımının modal parametrelerinin araştırıldığı bir çalışmada Thomas ve Beauchamp (2003), farklı kesme parametreleri sağlanarak, sementit karbür kesme takımı kullanılmıştır. En fazla takım titreşimi kenar yığılması olduğu zaman (kesme hızı 160 m/dak, ilerleme oranı 0.15 mm/dev, takım ucu radüsü 1.59 mm) gözlemlenmiştir. Özellikle düşük kesme hızında ve düşük ilerleme oranında kesme derinliğinin artmasıyla takım titreşimindeki artış daha yüksek oldu. Daha uzun takımlar kullanıldığı zaman takım titreşimlerin azalması sürpriz bir sonuç olarak karşımıza çıkar. Bu gerçek takım sönümlemesinin artmasına katkıda bulunur. Takım sönümlemesinin artışı ve titreşimin azalması ve optimum kesme parametreleri yüksek kesme hızı, düşük ilerleme oranı, yüksek takım ucu radüsü ve düşük kesme derinliğidir. Ancak takım titreşiminin artışı kesme derinliğinin artmasıyla oluşur. Düşük kesme

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

---

hızında kenar yığılma etkisinin azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azalmasına neden olduğu vurgulanmıştır.

Tornalamada kesici takım-iş parçası çiftinde oluşan titreşimlerin işlenen yüzeylerin kalitesine etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada ise Tarng ve ark. (2000), talaş kaldırma esnasında çıkan ses düzeyine bağlı olarak oluşan titreşimlerin yüzey kalitesine etkisi matematiksel olarak modellenmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İşleme süresince kesici takım-iş parçası çiftinden çıkan ses düzeyinin artmasıyla, yüzey kalitesinin kötüleştiği, düşük ses değerlerinde ise daha kaliteli yüzeyler elde edildiği ifade edilmiştir.

Beton gövdeli ve dökme demir gövdeli torna tezgahı kullanılan bir çalışmada ise Jang ve Tarng (1999), sıcak çekilmiş çelikler işlenmiş ve tezgahların gövde malzemelerinin işleme performansına etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak beton gövdeli torna tezgahında kesici takım ömrünün daha fazla olduğu, oluşan titreşimlerin betonun sönümleme özelliğinden dolayı daha az olmasına dayalı aşınmanın daha az olduğu ortaya çıkmıştır.

Alüminyum çubukların işlendiği, kesici takıma sönümleyici monte edildiği çalışmada ise Thomas ve ark. (1996), titreşim sönümleyici kesici takım da oluşan titreşim frekansını ve genliğini azaltıcı yönde etki yaptığı görülmüştür. Buna bağlı olarak işleme esnasında kesici takım iş parçası çiftinde oluşan titreşimi ve kesici takımında oluşan kesme kuvvetlerini artıran etkinin azaltıldığı ifade edilmiştir. Titreşim sönümleyici kullanılan başka bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Buna bağlı olarak da daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir (Tugrul ve ark. 2005).

Kuru ve minimum miktarda soğutma yağlamasıyla sağlanan kesme şartları altında Inconel 718'in işlenmesinde kesme kuvvetleri ve takım ömrünün araştırıldığı bir çalışmada Zhang ve ark. (2012), önemli yan aşınma ve kesme kenarındaki şiddetli sürtünme ve talaş oluşumu her iki kesme şartları altında takım ömrünü doğrudan olarak önemli bir şekilde etkiliyor. Yağlamalı kesme şartları altındaki takım ömrü kuru kesme şartlarındaki takım ömrünün 1.57 katı kadardır. Soğuk hava basıncının sağlanması ve biyolojik bitki yağının partiküllere ayrılmasıyla önemli bir biçimde takım aşınmasının azaltılması ve takım ömrünün artırılmasını sağlayabilir. Yağlamalı kesme şartları altında daha düşük kesme kuvvetleri takım yüzeyinde ya da iş parçası takım aralığında

düşük sürtünme kuvvetini sağlayabilir. Dolayısıyla yağlama yapılan işlemlerde kesme kuvvetlerinin daha düşük olmasından dolayı daha az titreşim oluşturduğunu bu da daha iyi yüzey kalitesi oluşmasını sağladığını belirtmektedir. Benzer sonuçlar, Li ve Liang (2007) tarafından yapılan AISI 1045 malzemesi işlenen çalışmada da görüldü. Buna karşın kuru işlemin etkilerinin araştırıldığı başka bir çalışmada ise Srejith ve Ngoi (2000), kesme sıvısı atıkları yok etmek için çevresel problemleri arttırıyor. Atıkların artması maliyetleri de arttırdığı ifade edilmektedir.

Yüksek kobalt HSS çeliği ve TiN kaplı karbit takım ile ıslak ve kuru olarak gerçekleştirilen deneylerde Risbood ve ark. (2003), farklı kesme parametreleri uygulanarak yüzey pürüzlülüğü tahmini elde edilmeye çalışılmıştır. Deneyler sonunda ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü iyileşir. (sınır: 0.14 mm). Ayrıca burada sinirsel bağlantı modeli uygulanarak kuru tornalamadaki hata oranı %38,55 olarak bulundu bu oran ıslak tornalamayla kıyaslandığında oldukça fazladır.

AISI 5140, AISI 4140, St37 malzemeleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda Özses (2002), malzemenin karbon miktarına bağlı olarak değişen sertlik ve mekanik özelliklerin yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür. İşlem parametreleri olarak kesme hızının artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği fakat kesme hızının artırılması durumunda takım aşınmasının hızlandığı dolayısı ile takım ömrünün azaldığı anlaşılmıştır. İlerleme miktarındaki artış ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Kesici uç yarıçapının da yüzey pürüzlülüğünü etkilediği, uç yarıçapının büyümesi ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlenmiştir.

Yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi için yapılan çalışmada Abouelatta ve Madl (2001), yüzey pürüzlülüğünün kesme parametreleri ve aynı zamanda kesici takım titreşimine bağlı olduğu ortaya konulmuştur. Kesme parametreleri ve radyal yöndeki titreşim değerlerinin birbirlerine olan etkileşimi üzerine 4 farklı matematiksel model geliştirmiştir. Çıkardığı bu 4-matematiksel modelle  $R_a$  ortalama yüzey pürüzlülüğü,  $R_t$  maksimum yüzey pürüzlülüğü ve genlik dağılım eğrisi değerlerini hesaplamıştır. Bulduğu değerler ile matematiksel modeller arasında yüzdelik olarak hata oranlarını ( $R_2$ ) bulmuştur. Deneysel sonuçlarda ise yüzey pürüzlülüğünün sadece kesme parametrelerine bağlı olmadığı, titreşiminde yüzey pürüzlülüğüne etki ettiğini ortaya

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

---

çıkarmıştır. Maksimum yüzey pürüzlülüğü  $R_t$ 'nin en çok kesme hızı ve parça çapına bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Sert kesmede takım sertliği problemi ve titreşimi çözmek için büyük takım burun radüsü kullanılarak bir titreşim kesme metodu sunulan çalışmada Xiao ve ark. (2003), paslanmaz çelik SUS304 ve zor kesim malzemeleri olarak sınıflandırılan nikel tabanlı alaşımlı Inconel 1600, bu tornalamada kullanıldı. Konvansiyonel kesmede takım burun radüs boyutunun hafif şekildeki artışı oluşan titreşim yüzünden işlemi kötüleştirir. Bu yüzden dinamikte en küçük radüs uc kullanılmalıdır. Buna karşı titreşim kesmesinde burun radüsün artışıyla yüzey pürüzlülüğü azalır. Burun radüsü 0.2 m'ye eşit olduğu zaman yüzey pürüzlülüğü sabit titreşim değerine yakın bir değer elde edilir. Titreşimli kesmede tahmin edilen en iyi yüzey pürüzlülüğü 4.3  $\mu\text{m}$ 'dir. Titreşimli kesim konvansiyonel kesime göre takım burun radüsün daha büyük değerinde kullanılmasına olanak sağlar. Inconel 1600 titreşimli kesmede izin verilebilir takım burun radüsü 0.2 mm iken, konvansiyonel kesimde bu 0.02 mm'dir. Benzer sonuçlar tungsten karbitin ultrasonik elipsel kesimi çalışmasında da Nath ve ark. (2009) görülür.

Kesme parametrelerinin ve takım üzerindeki titreşimin, yüzey pürüzlülüğüne ve serbest yüzey aşınması üzerine etkisi deneysel olarak incelenen çalışmada Ghani ve Choudhury (2002), kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin artırılmasıyla serbest yüzey aşınması hızlanmıştır. Serbest yüzey aşınmasının artışıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan, serbest yüzey aşınmasının artışıyla, takım üzerinde oluşan titreşim genliği ve ivmesinin arttığını ortaya koymuştur.

AISI 1040 çeliğin tornalamasında takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırıldığı çalışmada Neşeli ve Yıldız (2011), takım burun radüsünün değerinin artışı kesme boyunca takım iş parçası bağlantı uzunluğunu artırır. Bu bağlantı uzunluğu da chatter titreşimine ve yüzey pürüzlülüğü değerinin artmasına neden olur. Yaklaşma açısının artması kesme kuvvetlerinin artmasına neden olur. Takım burun salınımının artması işlenen yüzeyde pürüzlülük değerini artırır. Sırt açısı azalan yüzey pürüzlülüğünde en yüksek etkiye sahiptir. Takım burun radüsü % 51.45 oranla yüzey pürüzlülüğe en yüksek etki ettiği ortaya çıktı. Bunu takip eden diğer parametreler % 18.24'le yaklaşma açısı, % 17.74 ile rake açısıdır. Bunun sonucunda 0.4 mm takım burun radüsü, 60° yaklaşma açısı, -3° rake açısı optimum değerler olarak ANOVA ile bulundu. Optimum

yüzey pürüzlülük değeri ise  $Ra=1.8294$   $\mu m$  olarak bulundu. Sonuç olarak verilen üç bağımsız değişkenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü de artar.

CBN takımlarının çeşitli hızlar altında yüksek sertlikteki bileşiklerin tornalamadaki takım aşınma mekanizmaları araştırılan çalışmada Lin ve ark. (2008), kesme sıcaklığı düşük olduğu zaman iş parçasının yumuşaklık derecesi önemli olmadığı için kesme kuvveti artar. Sert karbit parçacıkları iş malzemesi tarafından takım yüzeyi çizilebilir. Aşınmanın ana çeşidi sıyrıktır ve bu da takım yüzeyinde görülür. İş malzemesinin yumuşaklığı kesme hızının artışı kadar önemlidir. Bu da kesme kuvvetinin azalmasına sebep olur. Burada aşınma önemli değildir artık. Yüksek kesme sıcaklığı yüzünden yayılma ve oksidasyon daha fazla ön plana çıkar. Burada yüksek kesme sıcaklığı olduğu zaman sürtünme kuvveti yüzünden yapışkan katman yıpranır.

Tornalama operasyonu için cevap yüzey metodu ile kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği) bağlı olarak, kesme kuvvetlerinin modellenmesi amaçlandığı çalışmada Neşeli ve ark. (2012), kuru kesme şartlarında AISI 4140 çeliği, karbit uçlar kullanılarak silindirik dış yüzey tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Sonuçta en iyi kuvvet değerlerinin çıkabilmesi için, gerekli kesme parametresi kombinasyonu kesme hızı 211 m/dak, ilerleme oranı 0.13 mm/dev, kesme derinliği 0.25 mm olarak bulunmuştur. Ayrıca analiz sonuçlarına göre kesme derinliğinin tüm kesme kuvvetleri bileşenleri üzerinde en etkin parametre olduğu tespit edilmiştir.

Yüksek hızda kesme şartları altında sertleştirilmiş çelik AISI H13 iş parçası ve TiN kaplamalı P10 karbit kesici takımıyla yapılan deneylerde optimum kesme parametrelerinin belirlenme çalışmasında Ghani ve ark. (2002), düşük kesme kuvveti ve iyi bir yüzey bitimi için yüksek kesme hızı, düşük ilerleme oranı ve düşük kesme derinliği parametrelerinde sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Başka bir çalışmada Liu ve ark. (2003) ise, CBN takımıyla tungsten karbit işlenerek takım aşınması araştırıldı. Burada kesme hızları 148.3 m/dak, 370.7 m/dak, 593.1 m/dak, kesme derinliği 3  $\mu m$ , ilerleme oranı 0.01 mm/dev değerlerinde deneyler yapıldı. Yapılan analizlere göre takım aşınması genel olarak takım yan kenarında olduğu gözlemlendi. Kesme kuvvetleri takım yan kenar aşınmasıyla kesme

mesafesinin artışıyla arttığı sonucuna varıldı. Ancak işlenen iş parçası yüzey pürüzlülüğü takım kenar aşınmasının değişiminde önemli olmadığı belirtildi.

Kaplamalı karbit takımla Inconel 718 malzemesin kuru şartlar altında işlenmesinde kesme kuvvetleri ve takım aşınmasının araştırıldığı çalışmada Devillez ve ark. (2007), kesme hızları 20 m/dak, 200 m/dak, ilerleme oranı 0.1 mm/dev, 0.2 mm/dev ve kesme derinliği ise 1.5 mm değeri alındı. Kaplamasız takımlarla değişik malzemelerle kaplı takımlar aynı şartlar altında işlenerek yapılan kıyaslama sonucunda AlTiN en iyi kaplama olduğu görüldü. Ayrıca aşınmanın artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı açık bir şekilde görüldü.

CVD elmas takımla sinterlenmiş sert metalin kuru şartlar altında tornalamasında kesme kuvvetlerinin değerlendirildiği çalışmada Belmonte (2004), kesme kuvvetlerinde kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliğinin etkisiyle takım kuvvetleri, takım aşınması ve iş parçası yüzey bitimi arasındaki ilişki ortaya konmaya çalışılmıştır. Seçilen test şartları kesme hızı 40 m/dak, ilerleme oranı 0.03 mm/dev, kesme derinliği 0.1 mm'dir. Sonuçlara göre kesme takımının zararının ihmalıyla 35 N kesme kuvvetinde mükemmel bir yüzey bitimi elde edildi. Burada optimum değerler 40 m/dak kesme hızı, 0.03 mm/dev ilerleme oranı ve 0.1 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir. Bu değerlerin üstüne çıkıldığında kesme kuvvetlerinin arttığı ve takımda hasarlara yol açtığı sonucuna varıldı.

Kaplamasız CBN takımıyla EN31 çeliği (AISI 52100) işlenerek elde edilebilecek en iyi yüzey pürüzlülüğünü sağlayacak optimum kesme parametrelerinin araştırıldığı başka bir çalışmada Bartarya ve Choudhury (2012), kesme derinliği kesme kuvvetini etkileyen en önemli parametre olarak bulundu. Ayrıca kesme hızının artışıyla kesme kuvveti de artmaya başladı ancak daha sonra azalmaya başladı. Bu da bize kritik bir kesme hızı aralığı olduğunu göstermektedir.

Farklı sertliklerdeki AISI 4340 çeliğinin tornalamasında kesme parametreleri ve iş parçası sertliği düşünülerek kaplamalı karbit takımının performansı araştırıldığı bu çalışmada Chinchankar ve Choudhury (2013), deneysel sonuçlarda sert iş parçası malzemesi için yüksek kesme kuvveti gereklidir. Bu kesme kuvveti daha çok kesme kuvveti ve ilerleme oranıyla değişir. Ayrıca kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği yüzey pürüzlülüğünü etkilediği vurgulanır. Kesme hızı sonrasında kesme

derinliđi takım 3mrünü etkileyen en 3nemli parametredir. RSM kullanılarak belirlenen optimum kesme Őartlarında dūŐuk ilerleme oranı, dūŐuk kesme derinliđi ve sınırlı deđerdeki kesme hızı 235 m/dak ve 144 m/dak, 35, 45 HRC sertlikteki iŐ malzemesi iŐlenirken minimum kesme kuvveti yūzey pūrūzlūlūđū ve daha uzun takım 3mrū elde edilmiŐtir. Benzer sonuŐlar Suresh ve ark.'nın (2012) yaptıkları ŐalıŐmada da g3rūlmūŐtur.

CBN takımıyla 52 HRC sertlikteki alaŐımlı Őeliđin iŐlenerek tanımlayıcı parametrelerin belirlenme amacı taŐıyan ŐalıŐmada Remedna ve Rigal (2006), sonuŐlara baktıđımızda kesme geometrisi CBN takımının 3mrūnū būyūk 3lŐūde etkilemektedir. Kesme kuvvetleri takım kenar aŐınmayla kesme mesafesinin artıŐıyla adım adım artar.

Jang ve ark. (1996), yaptıđı ŐalıŐmada esnek bir imalat sisteminde bir tezgahu kontrol etmek iŐin gerŐek zamanlı bir izleme algoritması geliŐtirmiŐlerdir. Yūzey pūrūzlūlūđū ile tırlama titreŐimi arasındaki korelasyonla ilgili olan bu algoritma, takımla iŐ parŐası arasında bađıl kesme titreŐimlerinin olduđunu ortaya koymuŐtur.

'Torna operasyonlarında takım aŐınmasının titreŐim 3lŐūmleri kullanılarak izlenmesi' ŐalıŐmasında Cornelius Scheffer (1999), takımlardaki aŐınma deđiŐimini tespit etmek iŐin takımdaki titreŐim ve gerilme 3lŐūmlerini araŐtırmıŐtır. ŐalıŐmanın amacı imalat tesisine herhangi bir izleme sistemi kurmadan 3nce takım aŐınmasını g3stermek iŐin titreŐim izleme y3nteminin boyutlarını araŐtırmaktır. ŐalıŐma esnasında bir d3nme iŐlemine ait veriler, gerŐek zamanlı bir FFT analiz cihazına bağlanmış iki akselerometre (ivme3lŐer) kullanılmak suretiyle kaydedildi. Takım aŐınmasının belirtici 3zellikler, sens3r sinyallerinden alınmıŐ ve daha sonra Kendiliđinden Dūzenlemeli Harita (SOM) iŐine girdi olarak kullanılmıŐtır. SOM, kontrollū olmayan eğitime dayanan sinirsel bir ađ tipidir ve yeni aŐınmıŐ takımlarla denk gelen b3lgelere veri giriŐinin sınıflandırılmasında kullanılmıŐtır. Ayrıca SOM'un kesikli deđiŐkenlerle birlikte Őok etkili Őekilde kullanılabileceği de g3sterilmiŐ.

Inconel 718 sūper alaŐımının kaplamalı ve kaplamasız karbūr matkaplarla delinmesi esnasında kesme parametrelerinin, yūzey pūrūzlūlūđū ve talaŐ oluŐumu yūzerindeki etkisi analiz edilen baŐka bir ŐalıŐmada ise Kıvak ve ark. (2010), delme deneyleri kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplı karbūr matkaplar kullanılarak, kuru kesme Őartlarında CNC dik iŐleme merkezinde, d3rt farklı kesme hızı (10, 12.5, 15, 17.5

m/dak) ve üç farklı ilerleme oranı (0.05, 0.075, 0.1 mm/dev) kullanılarak yapılmıştır. 5 mm çapında matkaplarla 8 mm derinliğinde kör delikler delinmiştir. Genel olarak, yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçlar kaplamasız takım ile delinen deliklerden alınmıştır. Talaş oluşumu incelendiğinde yapılan bütün deneylerde, ilk delikte meydana gelen talaş şeklinin kopuk talaş ya da küçük adımlı helisel talaş şeklinde olduğu görülmüştür.

Altın (2005), doktora tezinde Inconel 718 süper alaşımının işlenebilirliğini incelemiştir. Çalışmasını tornalama üzerine yapmış ve kesme parametrelerinin karbür ve seramik kesici takımlar için takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Bu analizler sonucunda optimum işleme şartlarını belirlemeye çalışmıştır. Kesme kuvvetlerini tezgaha bağlanan bir dinamometre yardımıyla ölçmüştür. Dört tip kesici uç ve her kesici uç için yuvarlak ve kare geometrili uç kullanarak toplam sekiz farklı kesici uçla çalışma yapmıştır. Sonuç olarak yüzey kalitesinin geliştirilmesi için talaş derinliği ve ilerlemenin azaltılması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca seramik uçlu takımların Inconel 718 süper alaşımının yüksek hızlarda tornalanmasında uygun olmadığını, takım aşınmalarının çabuk gerçekleştiğini tespit etmiştir. Son olarak sementit karbür kesici takımlar ile Inconel 718 işlenirken yuvarlak geometrili takımların tercih edilmesini, seramik kesici takımlar ile işlemede kaliteli bir yüzey için kare profilli takımlar seçilmesini ve kaba tornalamada ise yuvarlak geometrili seramik kesici takımların seçilmesini tavsiye etmiştir.

Antoniali ve ark. (2010) yaptığı çalışmada, titanyum alaşımının frezelemesinde kesme kuvvetlerinin frekans alan analizi, zamana bağlı takım ömrü üzerinde takım giriş açısının etkisini araştırdı. Deneylerde 3 eksenli CNC dikey takım tezgahı kullanıldı. Kuvvetler 3 eksenli dinamometre ile ölçüldü. Testler en yaygın titanyum alaşımı olan Ti-6Al-4V plakası üzerinde yapıldı. Test sonuçlarına baktığımızda kesme kuvvetleri düşük girişli açılarda yüksek olmasına rağmen, takım ömrü daha uzun olduğunu çünkü yüklemenin çoğu düşük frekansla ilişkili olduğunu belirtti. Büyük giriş açılı takım kullanılmasıyla daha yüksek frekans doğurduğu ve takımın sert bir duruş göstermeyeceğini sonucuna vardı. Bu da kesme kenarının çatlamasına ve takım ömrünün kısalması anlamına gelmektedir. Düşük girişli açı olduğunda ise normal difüzyon aşınmasına neden olur. Bu yüzden uzun takım ömrü



takım titreşimini azaltarak sağlanır. Ayrıca düşük titreşimin yorulmanın sebep olduğu kesme kenar çatlamayı önleyeceğini de ifade etmektedir.

Moradi ve ark. (2013) yaptığı çalışmada delme işleminin iç rezonansında dinamik modelin zorlanmış titreşim analizini araştırdı. Bu model sönümlenme etkileri, yenilenebilir titreşim, yapısal nonlineerlik ve takım aşınması içerir. Yaptığı araştırmalara göre titreşim genliklerin azaltılması için sunulan model etkili bir pasif kontrol yaklaşımı olduğunu belirtmektedir.

Dimla ve Lister (1999) yaptıkları kuvvet ve titreşim analizi çalışmasında ise titreşim ölçümlerini ve kesme kuvvetinin karşılıklı üç dikey bileşenlerin kullanımını içeren bir teknik için deneysel ve analitik metodu açıklamaktadır. Bu analizde zaman ve frekans alanında ölçülen sinyallerin bazı bileşenleri ve oluşan takım aşınmasıyla ilişkisi açıklandı. Çalışmaların sonucunda kesme kuvvetlerinin büyüklükleri özellikle kesme koşullarına (ilerleme oranı ve kesme derinliği) büyük oranda bağımlı olduğu görülmektedir. Ayrıca kesme kuvveti ve titreşim ölçümlerinin dikey (z) eksenindeki bileşenleri takım aşınmasını önemli derecede etkilediği görülmektedir.

Kesme hızı, ilerleme oranı, iş parçası sertliği ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı başka bir çalışmada ise Auoici ve ark. (2012), iş parçası AISI H11 çeliği üç farklı sertlikte (40, 45 ve 50) HRC sertlikte ve takım malzemesi CBN7020 kullanılarak deneysel araştırmalar yapıldı. Sonuçlara göre en iyi yüzey pürüzlülüğü düşük ilerleme oranı ve yüksek kesme hızında olduğu görüldü. Ayrıca ilerleme ve kesme kuvveti yüzdelik olarak sırasıyla (56.77) ve (31.50) kesme derinliği tarafından etkilendiği ortaya çıkmıştır.

Kesici ağız yuvarlatılmış aşınmış takımlarla ortogonal talaş kaldırmada kesme kuvvetlerinin deneysel incelendiği çalışmada Uysal ve Altan (2013), serbest yüzey aşınması, kesici ağız yuvarlatma yarıçapı ve kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetleri artmakta ve kesme hızı ve talaş açısı arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir.

Kesme parametreleri ve takım titreşimine dayalı olarak yapılan tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü analiz çalışmasında Hessainia ve ark. (2013), 42CrMo4 sertleştirilmiş malzeme ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiC karıştırılmış seramik kesme takımı kullanıldı. Yapılan deneyler sonucunda ilerleme oranı yüzey pürüzlülüğünün oluşmasında en

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

---

önemli faktördür. Ancak titreşimler ilerleme oranı parametresi kadar yüzey pürüzlülüğünü etkilemediği görülür. Yapılan deneylere göre optimum kesme parametreleri ve titreşimlerle mükemmel yüzey pürüzlülüğü elde edilebileceği belirtildi.

Delme işlemi boyunca titreşim analiziyle takım aşınmasının değerlendirildiği başka bir çalışmada Orhan ve ark. (2007), 35 HRC sertlikteki AISI D3 takım çeliği ve CBN takımı kullanarak yaptığı testler sonunda, takım aşınmasının artışıyla titreşimdeki genliklerin de arttığını gözlemledi. Bu durum özellikle takım aşınmasının belli bir seviyeye ulaşıldıktan sonra monitörde açıkça görüldü.

Dimla (2004) yaptığı deneysel araştırmasında, kesme takım aşınmasından kaynaklanan titreşimler ve kesme kuvvetlerini etkileyen kesme parametrelerini belirlemeye çalıştı. Deneyler sonucunda kesme derinliğinin ve ilerleme oranının önemli derecede etkilendiğini gördü ve özellikle frekans bandı değişimlerde çok daha fazla duyarlı olduğunu gözlemledi.

Jin ve Murakawa (2001) yaptıkları çalışmada ise, kesme takımının kenarında oluşacak hasarı önlemek için engelleme kombinasyonu araştırmıştır. Bu hasar işlenen iş parçası yüzeyi ile kesme takımının kenarı arasında çarpışmadan kaynaklanır. Bunun için ilk olarak daha önce kullandıklarından daha fazla sert ve dengeli yeni ultrasonik titreşimli kesme (UC) sağlandı. Ek olarak, kesme takımının titreşim yönündeki kesme operasyonu performansı gerçekleştirildi ve bu da iş parçasına doğru  $10^{\circ}$ - $30^{\circ}$  temel kesme yönünden eğimlidir. Bunun sonucunda kesme kenarındaki hasar etkili bir şekilde engellendi ve sertleştirilmiş kesme işlemi gerçekleştirildiği zaman hem devamlı hem de aralıklı olarak iyi bir yüzey bitimi sağlandı.

Chang (2001) yaptığı çalışmasında, titreşim genliği ve frekansının güçlü bir şekilde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını etkilediğini ortaya koymuştur. Uygun olmayan takım geometrisi ve uc radüs, daha fazla titreşim oluşmasına neden olduğunu belirtti.

Bir başka çalışmada Luke ve Chen (2001), işlemde zorlanmış titreşim ve kendiliğinden oluşan titreşim olmak üzere iki çeşit titreşim oluşabileceği belirtildi. Zorlanmış titreşim uygun olmayan diş kutuları, dengesiz makine takım bileşenleri, motor ve pompalarla ilişkilidir. Kendiliğinden oluşan titreşim ise kesme tabakasındaki bozukluklar sonucunda, makine takım yapısı ve talaş hareket işleminin etkilerinden

dolayı oluşan tırlamadan dolayı oluşur. Ayrıca çalışmada tırlama daima kendiliğinden oluşan titreşimde bir bozukluk olduğunu belirtir.

Venkato Rao ve ark. (2013) yaptığı çalışmasında, iş parçası olarak AISI 1040 çeliği, kesme takımı olarak PVD kaplı tungsten karbit, 0.4 mm ve 0.8 mm değerlerinde iki farklı uc radüs kullanarak kuru şartlar altında yaptığı deneylerde farklı kesme parametrelerinde (dönme hızı, ilerleme oranı ve uc radüsü), iş parçasının titreşimini, yüzey pürüzlülüğünü ve iş parçasından ayrılan talaşın boyutunu analiz ettiler. İşlemler CNC torna tezgahında yapıldı. Yapılan testler sonucunda iş parçasının titreşim genlikleri takım aşınmasının artışıyla arttığı tespit edildi. Uc radüs (%45.81) oranında iş parçasının genliğini etkilemede önemli bir parametre olduğu sonucuna varıldı. Ayrıca ilerleme oranı (%55.57) oranında yüzey pürüzlülüğünü etkilediğini gözlemlendi. Bunun yanında ilerleme oranı (%51.26) oranında talaş boyutunu etkilediği sonucuna varıldı.

### 2.1. Önceki Çalışmaların Değerlendirmesi

Konuyla ilgili yapılan çalışmalara baktığımızda kesici takım ile iş parçasında oluşan mekanik titreşimlerin genellikle kesme kuvvetlerinden kaynaklandığı Tekaut (2008) bunun yanında torna tezgahının rijitliği ve sönümlenme kullanılmaması Thomas ve ark. (1996), Jang ve Tarng (1999) soğutma sıvısının kullanılıp kullanılmadığı Zhang ve ark. (2012), iş parçasının uzunluğu, malzemenin bağlanma şekline Ghani ve Choudhury (2002) kaynaklandığı görülür.

Kesme kuvvetlerini inceleyecek olursak, kesme kuvvetlerini etkileyen her parametrenin titreşimi de etkilediğini dolayısıyla yüzey pürüzlülüğünü etkilediği Thomas ve ark. (1993), Abouelatta ve Madl (2001), Thomas ve Beauchamp (2003), Belmonte ve ark. (2004), Ghani ve ark. (2004), El-Sinawi ve Kashani (2005), Devillez ve ark. (2007), Neşeli (2007), Arıtaşı (2008) ve Aouici ve ark. (2012) yaptıkları çalışmalarda ortaya koymuşlardır. Bunun sebebi de kesme kuvvetinin artmasının sonucunda yan aşınmanın artışı doğurur. Bu aşınmayla da titreşim artar dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü kötüleşir (Tekaut 2008). Ayrıca kesici takım ve iş parçasının bağlı pozisyonunun sabitleştirilmesi şeklinde olduğu literatürdeki araştırmalardan bilinmektedir (Choudhury ve ark. 1997) Ayrıca sert metallerin işlenmesinde yüksek kesme hızı ve düşük kesme derinliği ile titreşimin azaldığı görülmektedir (Ghani ve Choudhury 2002). Titreşimlerin bütün bu olumsuz etkilerine karşın kesici takımın

belirli zaman aralıklarında bilinen frekans değerlerinde iş parçasına yakınlaştırılıp uzaklaştırılarak bu etkinin azaltılması yönünde çalışmalar yapılmış ve sert metaller için uygun kesme şartları belirlenmiş olup takımda zorlanmış titreşim oluşturarak kesme modeli belirlenmiştir (Wang ve Zhao 1987).

Yapılan çalışmaları incelediğimizde takım tezgahlarında oluşan titreşimlerin yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki ettiği açık bir şekilde görüldü. Daha iyi bir yüzey kalitesi için bu titreşimlerin belirlenmesi, işlem boyunca kontrol edilmesi, minimum seviyeye getirilmesi için optimum parametrelerin belirlenmesi ve buna göre hareket edilmesi son derece önemli bir olgudur.

### 2.2. Titreşim

Titreşim hızlı salınım hareketi, bir ritimle tekrarlanan salınım hareketi, veya bir sesin modülasyonudur.

İnsanoğlunun endüstride kullanmak üzere makineleri üretmeye başlamasından ve özellikle bu makineleri motorlar vasıtasıyla çalıştırmaya başlamasından itibaren titreşim probleminin yok edilmeye çalışılması (azaltılması veya izole edilmesi) mühendisleri meşgul etmiştir. Yavaş yavaş titreşim izolasyonu ve azaltma tekniklerinin makine dizaynını tamamlayıcı bir parçası haline gelmesiyle, titreşimlerin doğru bir şekilde ölçülmesi ve analizi önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Fabrika mühendislerinin tecrübeli kulakları ve dokunuşları veya titreşim ölçen basit optik aletler geçmişin yavaş ve hantal makineleri için bu ihtiyaç yeterince tatmin edilmiştir. Son 15-20 yıldır büyük gerilimler altında ve yüksek hızlarda çalışan makinelerin incelenmesinde kullanılmak üzere tamamen yeni bir teknoloji geliştirilmiştir. Piezoelektrik ivme algılayıcıların titreşimin elektrik sinyallerine dönüştürülmesi, ölçüm ve incelemede elektroniğin avantajlarını kullanma işleri çok kolaylaşmıştır.

Sistemlerdeki titreşim, her zaman istenmeyen bir durum değildir. Bazı kullanım yerlerine göre titreşim ve titreşimi oluşturan bu sistemler günlük hayatta birçok alanda yardımcı olabilmektedir (örneğin; asfalt sıkıştırma makineleri, kum eleme elekleri, taş kırma kompresörleri, masaj aletleri, zımpara makineleri vb.).

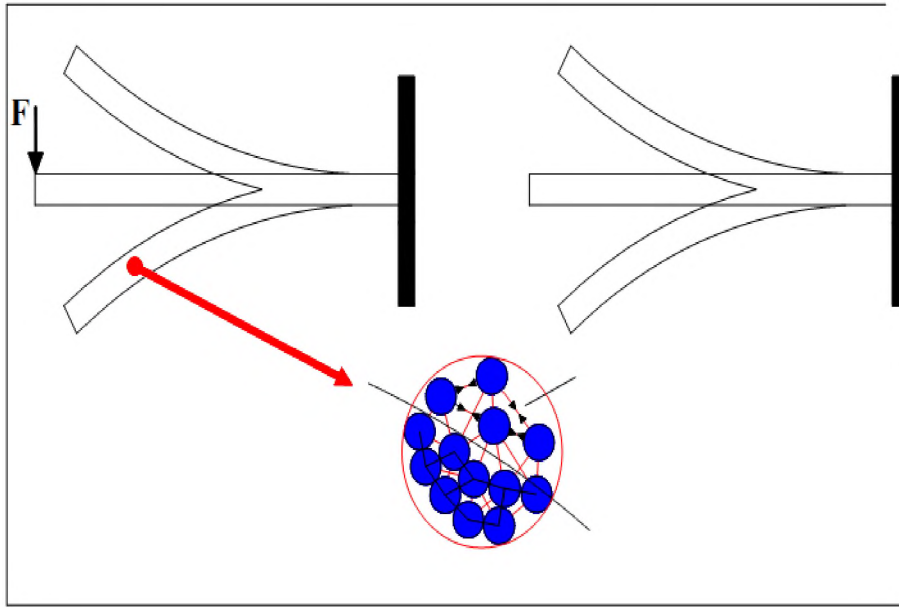
Sistemlerin titreşimden yararlanmanın yanı sıra, titreşim daha çok endüstride kullanılan sistemlerin ömürlerini sınırlayıcı etki olarak karşımıza çıkmaktadır. Titreşim sistemlerde istenmeyen bir durumdur. Çünkü dinamik sistemlerde boşa enerji

harcanmasına neden olur, gürültü çıkarır ve üretim esnasında titreşimden dolayı istenmeyen kalitede ürün ortaya çıkarabilir. Ayrıca, çalışma ortamında titreşen sistemlerle temas eden insanların sağlığını olumsuz etkilemesine neden de olabilir. Bunun yanında son yıllarda önemini artırmış olan uyarıcı bakım dediğimiz periyodik olarak sistemlerin titreşim analizi yapılarak bakım ve arıza tespiti yapılmaktadır. Bu tespit yapılırken bir cisme etki eden kuvvetler sonucunda meydana gelen titreşimi 0 (sıfır) ile belli bir frekans üst değeri arasında ve belli bir sayıdaki frekans bileşenlerindeki genliklerini gösteren ve titreşimin spektrumu (frekans-zaman, hız-zaman, deplasman-zaman, ivme-zaman vb.) adı verilen grafikler kullanılır. Titreşim spektrumuna bakarak, sistemlerin elektrik motorunda mekanik boşluk, motor elektrik arızası, rulman arızası, kaymalı yataklarda aşınma, dişli arızaları, takım tezgahlarında ayna ve fener mili dişlileri veya iş başlığında oluşan boşluktan dolayı meydana gelen arızalar, santrifüj motorlarında ve fanlarda kanat arızaları gibi birçok arıza tespit edilebilir. Bir benzetme yapılacak olursa, hastanın kalp titreşiminin spektrum analizi (EKG) alınıp hastanın kalp fonksiyonları analiz edilip yorumlanıyorsa dinamik sistemlerin de EKG'si alınıp sistemin fonksiyonları hakkında yorumlar yapılabilmektedir (Teküt 2008).

Dinamik sistemlerdeki titreşimler, dış kuvvetler ve sistemin bu dış kuvvetlere cevap verme özelliğinden kaynaklanır. Dolayısıyla dış kuvvetler veya sistemin bu kuvvetlere cevap verme özelliği değiştirilerek sistemin titreşim özelliği değiştirilmiş olur.

Fizikte harmonik hareket adı altında tarif edilen titreşim, bir kütlenin belli bir merkez etrafında çevrimsel hareketidir. Titreşim malzemenin atomik yapısındaki statik dengeyi bozan bir kuvvet etkisi ile meydana gelir. Bu statik dengeyi bozan kuvvet ortadan kalktıktan sonra atomlar arasındaki bağ kuvveti malzemeyi eski statik dengeye getirmeye çalışır. Bu elastik bağ kuvveti malzemeyi statik denge konumuna getirmek için ivmelenir. Bu ivmenin etkisi ile malzeme eski statik konumunu geçer ve ters yönde ivme kazanır. Eski statik denge konumunu ivme etkisi ile geçen malzeme tekrar bağ kuvveti ile eski denge konumuna gelmek için ters yönde ivmelenecektir. Bu olay devamlı tekrarlandığı için malzeme statik denge konumu etrafında hareket eder. Malzemenin atomları arasındaki sürtünme yok sayılırsa bu hareket sonsuza kadar devam eder. Bu tür titreşimlere serbest titreşim denir (Şekil 2.1.). Serbest titreşimde,

başlangıçta başlangıç hareketinin verilip sonradan kuvvetin ortadan kalkması sonucunda sistemin yapısında bulunan bağ kuvvetleri ve atomlar arası sürtünme kuvveti ivmelenme hareketini yavaşlatacak ve zamanla sistemdeki titreşim sifira yakın olacaktır. Serbest titreşime; salıncakta sallanan çocuğa ilk hareketin verilip bırakılması, sazın teline vurulup bırakılması veya bir yüzücünün traplenden sıçradıktan sonra traplenin aşağı ve yukarı hareketine devam ederek yavaşlayıp statik konumuna geri gelmesi örnek teşkil edebilir. Bu örnekte salıncaktaki çoğunun yavaşlaması yer çekimi kuvveti etkisi sayesinde olurken sazın telinin ve traplenin ilk konumuna gelmesi ise malzeme yapılarındaki bağlar sayesinde olur (Tekauit 2008).



Şekil 2. 1. Serbest Titreşim (Badrowy 2003)

### 2.2.1. Titreşimin Sınıflandırılması

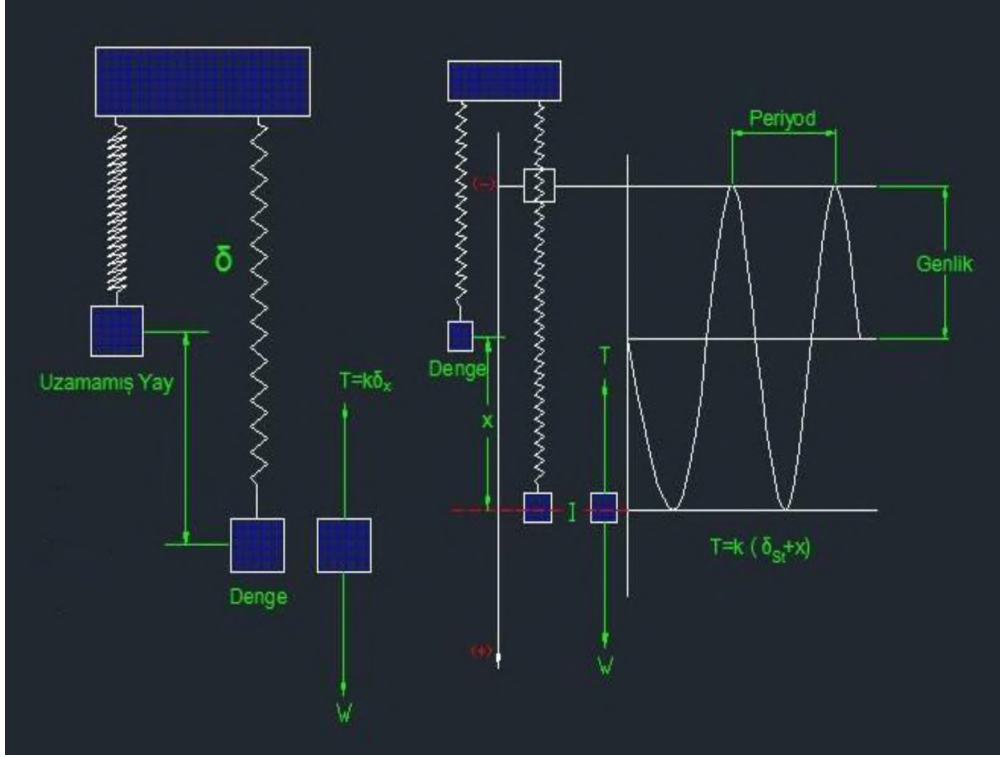
Titreşimleri sönümlü ve sönümsüz titreşimler olmak üzere iki şekilde inceleyebiliriz. Titreşim bir süre sonra sona eriyorsa sönümlüdür. Bir yere tespit edildikten sonra çekilip bırakılan çelik bir telin titreşimi sönümlüdür. Otoların titreşimi gibi titreşimler, yay ve amortisör tarafından yutulduğu için sönümlüdür. Titreşim sürekli ise sönümsüzdür ki o durumda titreşimin bir kuvvetle desteklenmesi gerekir.

Titreşimleri biraz daha açarsak aşağıdaki gibi de gruplandırabiliriz.

- Sönümsüz serbest titreşimler
- Sönümsüz zorlanmış titreşimler
- Sönümlü serbest titreşimler

- Sönümlü zorlanmış titreşimler

Titreşim sisteminin ideal kütle-yay modeli olarak alındığında bu sistem denge konumundan ayrıldıktan sonra belirli bir ilk hızla veya hızsız olarak kendi haline bırakılırsa kütle aşağı ve yukarı gidip gelmeye başlar. Titreşim hareketini yapan kütleye dışarıdan herhangi bir etki olmadığından dolayı meydana gelen hareket sönümsüz titreşim olayıdır. Bu sistemde yayda ve havadaki sürtünme kuvveti sıfır kabul edilmelidir. Hareketin aşağı ve yukarı yöndeki hareketini tamamlaması için geçen zamana titreşimin periyodu denir. Birim zamandaki periyoduna ise titreşimin frekansı denir. Sistem harekete geçtikten sonra kuvvet ortadan kalkınca ve sistem kendi haline bırakılırsa sistemin yapısından dolayı yaptığı titreşimin frekansına doğal frekans denir. Frekansın birimi Hertz (Hz)'dir. Sistemin statik denge konumuna göre maksimum yer değiştirme miktarına titreşimin genliği denir (Şekil 2.2.). Bir sistemde titreşim hareketinin devamı sadece yapısından dolayı geriye döndürücü ivme kuvvetleri sayesinde oluyorsa serbest titreşim adını alır. Eğer sisteme periyodik bir kuvvet uygulanıyorsa ortaya çıkan titreşime zorlanmış titreşim denir. Bir sistemin doğal frekansına zorlayan kuvvetin frekansı çok yaklaşır veya çakışırsa rezonans oluşur. Yani sistem titreşiminin genliği sonsuza gider. Bu da istenmeyen bir durumdur. Bunun için sistemlerin doğal frekansı bilinmeli ve zorlayan kuvvetin frekansı ile karşılaştırılmalıdır. Sistemde sürtünmenin etkisi ihmal edilirse titreşim sönümsüz olur. Aslında hiçbir sistem sönümsüz değildir. Bir sistemde serbest titreşim hafif sönümlü ise genliği yavaş yavaş azalır ve bir müddet sonra hareket kendiliğinden durur. Sönümlü zorlanmış bir titreşimin kendini oluşturan periyodik kuvvet uygulandığı sürece titreşim devam eder.



Şekil 2. 2. Sönümsüz serbest titreşim (Beer ve Johnston 2003)

Zorlamalı titreşimin frekansı ile sistemin doğal titreşiminin frekansının birbirlerine çok yakın olduğu durumlarda sönümlenme özelliği çok düşük sistemlerde titreşimin genliği çok yüksek olabilir. Eğer bu genlik mekanik sistemlerde meydana gelirse çok zararlı olabilir ve sistemin bozulmasına neden olabilir. Zorlayan kuvvetin frekansını sistemin doğal frekansından uzaklaştırılarak sistemin genliğini düşürebiliriz ve bu sayede rezonans da önlenmiş olur.

Serbest titreşimde  $F(t)=0$  olduğundan sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibidir.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.1)$$

$m$  : Eşdeğer kütle,

$x$  : Deplasmandır,

$c$  : Birim zamandaki sönümlenme kuvveti,

$k$  : Birim deplasmandaki yay kuvvetidir.

Zorlanmış titreşim genellikle  $F(t)=F_m\sin(\omega t)$  veya  $F(t)=F_m\cos(\omega t)$  şeklinde dış kuvvetlerin sisteme etki etmesi sonucu oluşan titreşimlerdir. Zorlanmış titreşim

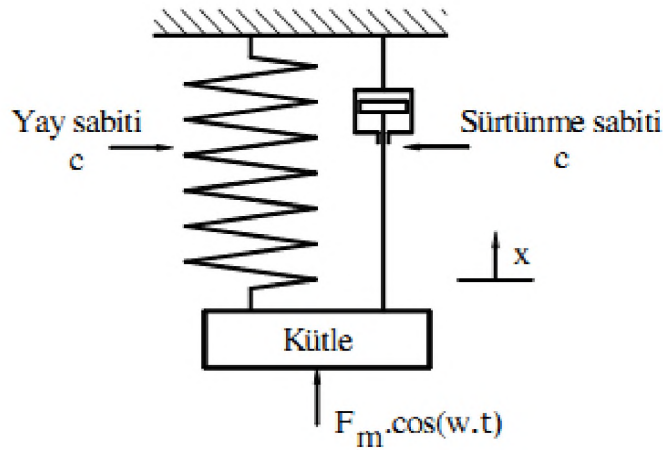


hareketinde sistem kendi tabii frekansı ile olduğu kadar, tatbik edilen dış kuvvetlerin frekansı ile de titreşmeye zorlanır. Sürtünme olması halinde, hareketin tatbik edilen sinüzoidal dış kuvvetin ihtiva etmediği bölümü, zamanla söner. Neticede sistem ilk şartlardan ve kendi tabii frekansından bağımsız olarak tatbik edilen dış kuvvetin frekansı ile titreşir. Dış kuvvetin tesiri ile meydana gelen titreşime düzgün titreşim hali veya tepki denir. Genellikle titreşimin devamlı tesirleri dolayısıyla düzgün titreşim hali meydana gelir. Şekil 2.3.'te görülen tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi, (2.2) denklemindeki gibidir (Neşeli 2007).

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_m \cos(\omega t) \quad (2.2)$$

$F_m$  : Dış harmonik kuvvetin max. değeri,

$\omega$  : Dış harmonik kuvvetin açısal frekansıdır.



Şekil 2.3. Sönümlü tek serbestlik dereceli kütle yay sistemi (Neşeli 2007)

Bu sistemin sabit durumlu titreşim hali aşağıdaki gibidir:

$$x = \frac{F_0 \cos(\omega t - \delta)}{[4\delta^2 \omega^2 + (\omega_n^2 - \omega^2)^2]^{1/2}} \quad (2.3)$$

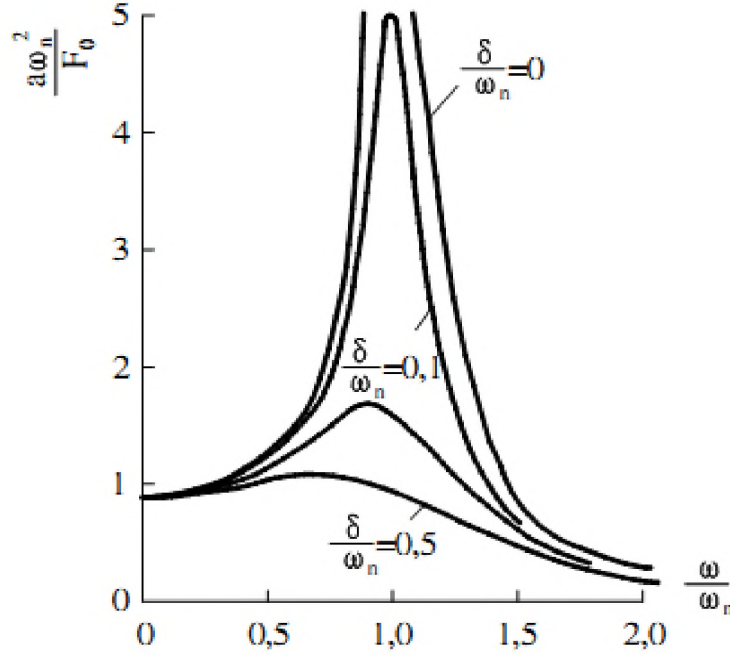
Burada,  $F_0 = F_m/m$ ,  $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$  (tabii açısal frekans),

$\delta = c/2m$  (sönümleme katsayısı)

Denklem (2.3), a genliğinde ve  $\delta$  faz açılı bozucu kuvvet geciktirmeli  $\omega$  açısal frekansında bir hareketi ifade eder. Bu genlik aşağıdaki gibidir;

$$X = \frac{F_0}{[4\delta^2\omega^2 + (\omega_n^2 - \omega^2)^2]^{1/2}} \quad (2.4)$$

$\omega$  ile  $\omega_n$  birbirlerine eşit olduğu zaman rezonans meydana gelir. Rezonanstaki genlik ise  $F_0/2\delta\omega_n$ 'dir. Bu sonuçlar Şekil 2.4.'te görülmektedir. Aşağıdaki şekil sönümlenme katsayısının değişen değerleri için çizilmiş bir grafikdir.



Şekil 2.4. Tek serbestlik dereceli kütle-yay sisteminin cevap eğrisi (Neşeli 2007)

Şekil 2.4. için;

$a$  : Titreşim genliği,

$F_0$  : Bozucu kuvvetin kütleye oranının maksimum değeri

$\omega$  : Açısal zorlanmış frekans,

$\omega_n$  : Sistemin açısal tabii frekansı,

$\delta$  : Sönüm katsayısı.

Bu sonuçlardan, sönümlü kütle-yay sisteminin titreşim genliğini minimize etmek için sönümlenme mümkün olduğu kadar büyük olmalı, buna karşılık sistemin tabii frekansı, bozucu (zararlı) kuvvetin frekansından önemli derecede küçük olması gerektiği çıkarılabilir (Neşeli 2007).

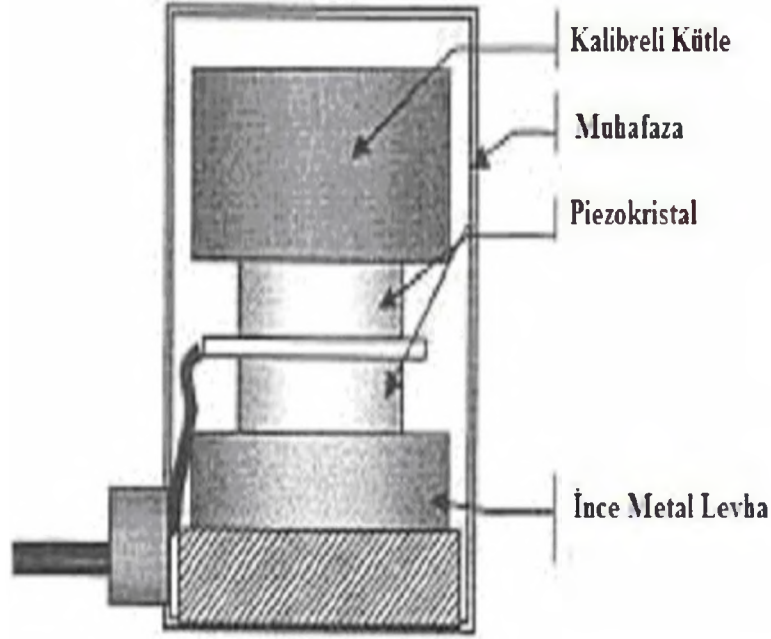
### 2.2.2. Titreşimin Ölçülmesi

Bir sistemin titreşimini ölçebilmek için titreşimin spektrum analizine ihtiyaç vardır. Titreşimin spektrumu bir cisme etki eden kuvvetler sonucunda meydana gelen titreşimin sıfır (0) ile belli bir frekans üst değeri arasında belli bir sayıdaki frekans bileşenlerindeki genlikleri gösteren grafiklerdir. Spektrum analizi spektrumu elde etmek için enerji dönüştürücü dediğimiz ölçüm probuna ihtiyaç vardır. Titreşim ölçüm tipine göre üç farklı sensör kullanılır;

Bunlardan birincisi Eddy prob titreşim yer değiştirme sensörüdür. Bu sensörün uç kısmındaki bobinin oluşturmuş olduğu manyetik alan çizgileri yanındaki rotordan etkilenererek sıkışma ya da gevşeme yapar. Direnç üzerinde akım değişimine neden olan bu durum voltaj değişimi nedeni ile yer değiştirme değerinin ölçülmesini sağlar. Genellikle şaft ile yatak arasındaki değişimlerin ölçüldüğü kaymalı yataklarda kullanılır.

İkincisi ise hızölçer titreşim hız sensörüdür. Bir yay ile tespit edilmiş metalik çubuk etrafını çevrelemiş bobin içerisinde sensörün bulunduğu ortamdaki titreşime bağlı olarak hareket eder. Manyetik alan çizgilerini etkileyen bu çubuğun neden olmuş olduğu akım değişimi titreşim miktarıyla doğrudan ilgilidir. Bu sensör tipi, hareketli parça içerdiğinden sık sık kalibrasyon ihtiyacı doğurur.

Üçüncüsü ve en çok kullanılanı ise ivmeölçer titreşim ivme sensörüdür. İvme sensörünün çalışması şu şekilde açıklanabilir. İki yüksek duyarlılıktaki sismik kütle arasına yerleştirilen piezo-elektrik kristal sismik kütlelerin ortam titreşimine bağlı olarak yapmış olduğu sıkıştırma ile akım üretir. Şekil 2.5.'te görüldüğü gibi aralarında ince akım toplayıcı plaka bulunan kristaller, alt taraftan bir şaseye bağlanır; üst tarafı ise, çok hassas bir şekilde ağırlığı bilinen bir parçaya yapıştırılır. Üst taraftaki ağırlık, titreştikçe  $F=M$  (Kütle).a (İvme) prensibine göre kendi kütesine ve ivmesine bağlı olarak kristali ezer. Bu a ivmesiyle titreşen üst taraftaki ağırlık, kristali ezince  $F$  kuvvetine orantılı olan bir akım ( $I$ ) meydana gelir. Bağlantı kurulacak olursa, ivme ( $a$ ) oluşan akım ( $I$ )'ya orantılıdır. Bu akım, bir dirençten ( $R$ )'den geçirilirse, burada oluşacak voltaj mV (milivolt) seviyesinde olur. Bu milivolt seviyesindeki voltajlar ölçüm cihazı tarafından genlikler olarak cihazın ekranında çizgiler şeklinde görülür (Çağlayan 2005).



Şekil 2.5. Titreşim ölçer (Akselerometre) iç yapısı (Çağlayan 2005)

### 2.2.2.1. Titreşim Ölçer (Akselerometre) Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

- Frekans aralığına,
- Minimum titreşim genliğine,
- Maksimum titreşim genliğine,
- İşleme sıcaklığı aralığı,
- Çalışacağı çevre (sıvılar, gazlar, kimyasallar) şartlarına,
- Montaj metoduna,
- Fiziksel kısıtlamaların neler olduğuna,
- Gerçek güvenlik sertifikasının bulunup bulunmadığına ivmeölçer seçiminde

dikkat edilmelidir (Lally 2001).

### 2.2.3. Titreşime Neden Olan Faktörler

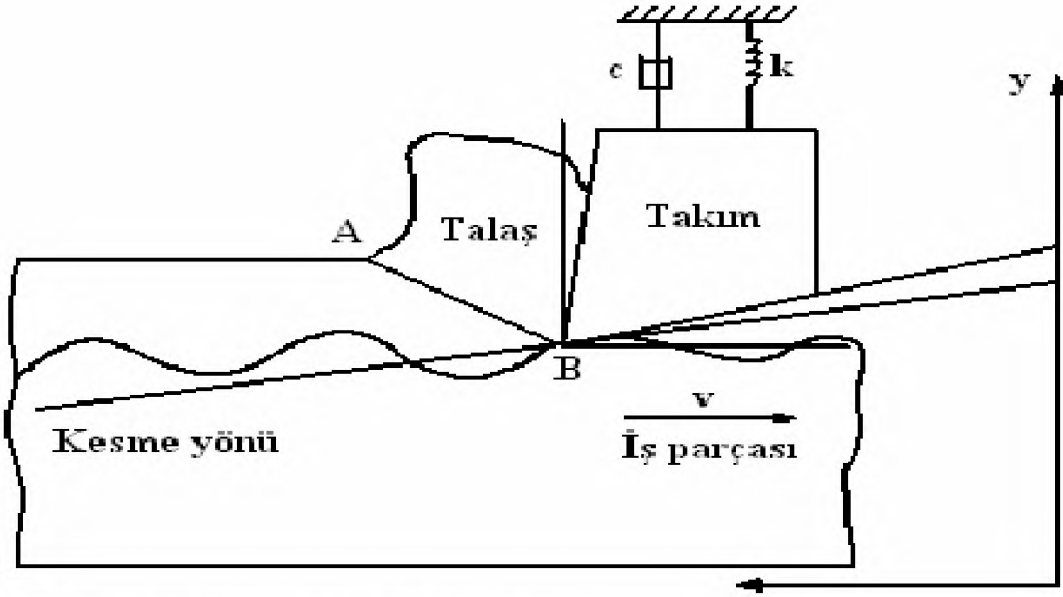
Titreşimin oluşmasına neden olan birçok faktör vardır.

- Kesme kuvvetleri
- Talaş yapışması ve sıvanması
- Sürtünme

- Kesici takımın uc yarıçapı
- Kesici takımın takım tutucuya montajı
- Takım tutucu uzunluğu
- Kesici takımın boşluk açısı
- Kesme parametreleri

Kesme işlemi sırasında kesme kuvvetlerinin değişimi takım titreşimini oluşturur. Bu kuvvetler doğrusal olmayıp devamlı değişim gösterirler. Tornalama işleminde kesici takımın ve takım tutucunun titreşimine kesme kuvvetleri etki etmektedir. Bu kuvvetlerin büyüklüğü ve periyodik olarak uygulanması titreşimin en büyük nedenidir. Titreşim, kesici takım veya iş parçasının yer değiştirmesinden kaynaklanabileceği gibi çalışma şartlarındaki değişimlere bağlı olarak kesme işlemindeki değişikliklerden ve malzeme şartlarında da kaynaklanır. Bu yer değiştirmeler kesme kuvvetleri dalgalanmalarına ve titreşime sebebiyet verir.

Kesme kuvvetlerinin değişiminden titreşimin nasıl oluştuğu incelenecek olursa, kesici takıma uygulanan üç kuvvetten ikisi talaş kaldırma işlemi gerçekleştirir. Bu iki kuvvetin bileşkesi iş parçası üzerinde plastik şekil değişikliği yapar. Bu plastik şekil değişikliği aşağıdaki şekildeki gibi iş parçasının yüzeyinden talaş kaldırılırken kayma düzlemi denilen düzleminde atom kümelerinin kopması ile gerçekleşir. Bu kayma düzleminin iş parçası eksenine ile yaptığı açı işlem boyunca değişiklik göstermektedir. Bu değişik açılarda kendisini gösteren kayma düzlemi, kesici takımın iş parçası üzerinde değişik miktarlarda kesme kuvveti uygulamasına neden olur. Bu değişen kesme kuvveti kesici takım titreşimlerinin temel sebeplerinden biridir. Ayrıca ilk pasodan sonra, iş parçası yüzeyinde dalgalı bir yüzey meydana gelir. Kesici takım kesme esnasında bu dalgalı yüzeyde tepelerin ve çukurların arasında gidip gelerek kesici takımında ilave titreşimler oluşturur (Şekil.2.6.).

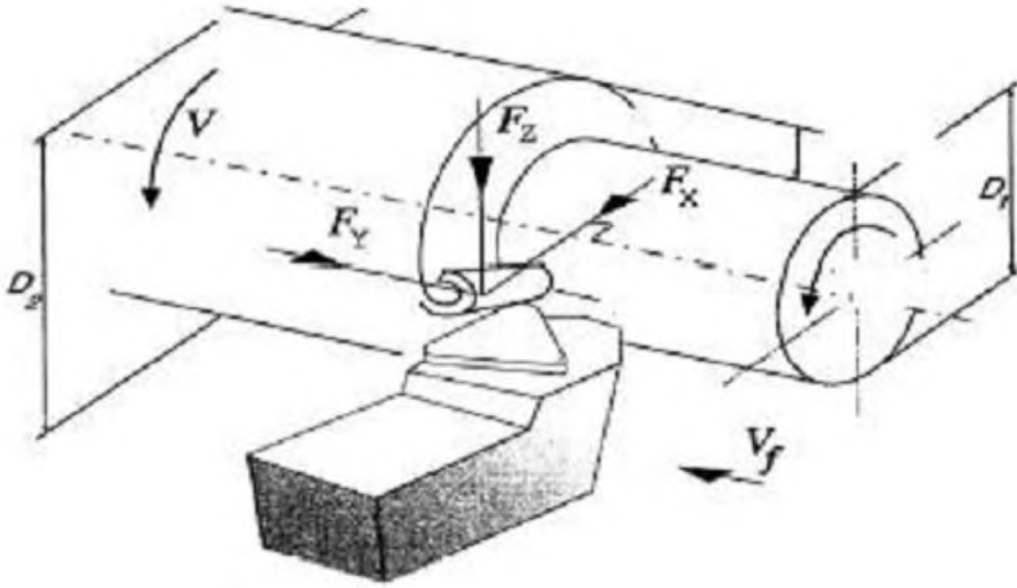


Şekil 2.6. Kayma düzlemi değişimi (Taşkesen 2003)

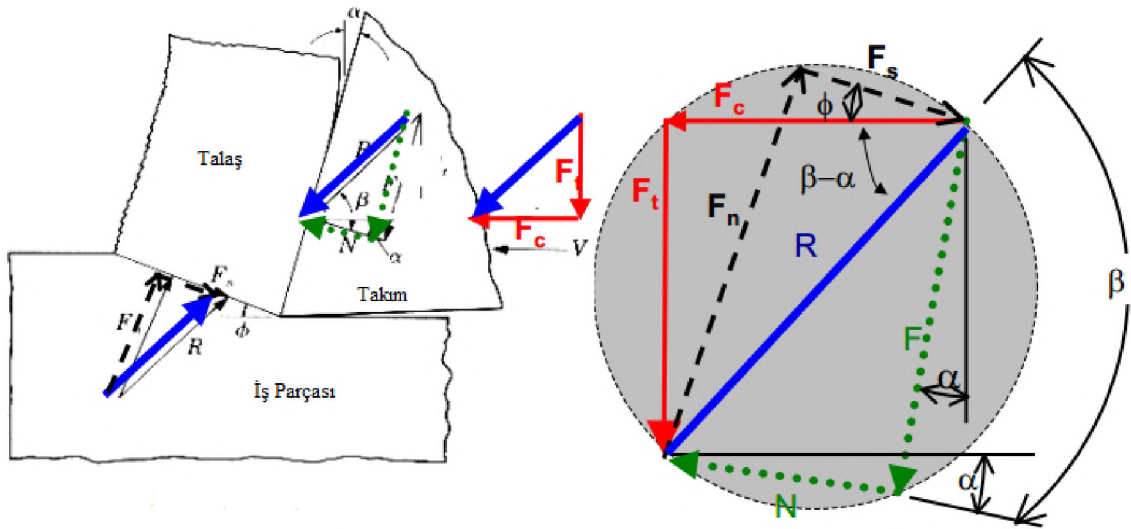
Kesme işleminin gerçekleşmesi sırasında aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi  $x$ ,  $y$ ,  $z$  yönünde kuvvetler oluşur (Şekil 2.7.). Kesici takım dönen iş parçasından talaş kaldırırken kesme kenarında kesme kuvveti  $F_z$  oluşur.  $F_z$  tornalama esnasında kesme işlemini oluşturan kuvettir ve asıl kesme kuvveti  $F_c$  olarak ifade edilir. Bu kuvvetin konumu iş parçası eksenine diktir.  $F_c$  kuvveti kesici takımı ve takım tutucusunu düşey yönünde momente zorlar.  $F_c$  kuvveti bitirilmiş iş parçası yüzey kalitesi için de son derece önemlidir.

Diğer bir kuvvet ise tornalama anında kesici takımın ilerleme dediğimiz hareketini gerçekleştiren  $F_y$  ile ifade edilen kuvettir. Bu kuvvet kesici takımı iş parçası eksenine paralel yönde iterek kesici takım tutucusunda moment oluşturur.

Üçüncü kuvvet olan iş parçası eksenine dik olan ve şekilde  $F_x$  olarak gösterilmiş olan kuvettir. Bu kuvvet en çok iş parçasından kuvvet kaldırmak için kesici takımın talaş kaldırma derinliğine ulaşıncaya kadar yüksek değerde olur. Ayrıca bu kuvvet iş parçası yüzeyindeki dalgalanmalardan da etkilenir (Taşkesen 2003).



Şekil 2. 7. Kesme işlemindeki kuvvetler (Pratt 1997)

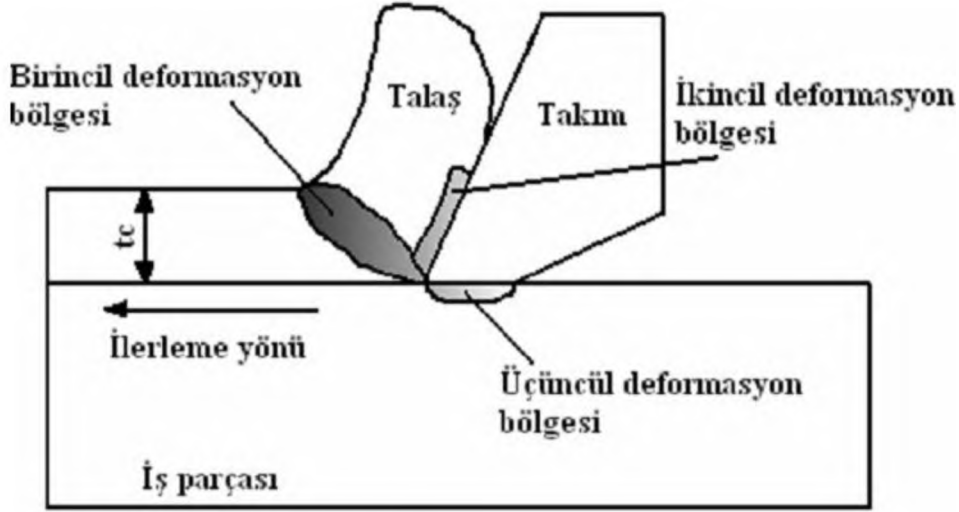


Şekil 2.8. E. Merchant'ın kesme diyagramı

Bir başka titreşim nedeni de kesici takımının işlem esnasında uç kısmında oluşan talaş yapışması ve sıvanması (Build-up edge) bu yığılma talaşın sürtünmeden ve yığılma miktarının değişiminden de kesme kuvvetlerinde değişim olması titreşimlere neden olur (Güngör 2011).

Talaşlı imalat işlemi sırasında kesici uç ile iş parçası arasında oluşan sürtünmeden dolayı da titreşim oluşur. Çünkü oluşan sürtünmeyle ısı artarak kesici uç ile iş parçası arasında bir deformasyon oluşur. Dolayısıyla bu deformasyon bölgesi

kesme işleminin talaş oluşumunu geometrisini, takım aşınmasını hatta takım ömrünü olumsuz etkiler. Oluşan sürtünmelerle kesme kuvvetinin değişimine neden olur. Kesme kuvvetindeki değişimler de titreşimin oluşmasına neden olur (Şekil 2.9.) (Güngör 2011).



Şekil 2.9. Deformasyon bölgeleri

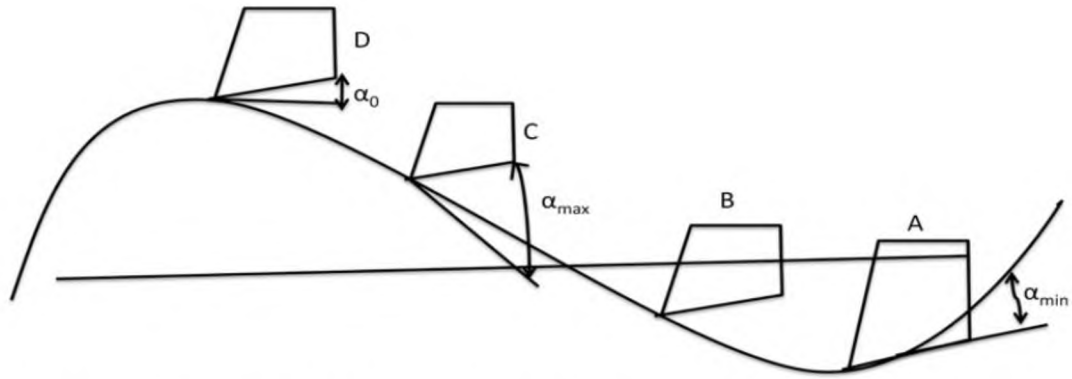
Kesme işlemi esnasında kesme kuvvetlerini etkileyen unsurlardan birisi de kesici takımın uç yarıçaplarıdır. Kesme işleminde kesici uç yarıçapı hem iş parçası yüzey kalitesi hem de kesme kuvvetlerini etkiler. Uç yarıçapının büyük olması kesme yüzeyinin geniş olması anlamına geldiğinden bu, daha fazla kesme kuvveti ve sürtünme demektir. Ayrıca kesme işleminde kesici uç yarıçapı iş parçası üzerinde yarıçapı genişliğinde dalga izleri bırakır. İş parçasının yüzeyinde oluşan bu büyük dalgalar titreşime neden olmaktadır (Young-Bin 2006).

Ayrıca kesici takımın takım tutucuya montajı da önemlidir. Çünkü rijit bir şekilde bağlantı yapılmamışsa kesici takım tutucusu ile kesici takım arasındaki boşluktan veya gevşemeden dolayı titreşim oluşabilir (Güngör 2011).

Kesme kuvvetlerini etkileyen nedenlerden birisi de takım tutucunun uzunluğudur. Eğer kesici takım boyu gerekenden uzun olursa kesici takıma uygulanan kuvvet oranındaki değişimler, takım tutucuda moment değişimi meydana getirerek titreşim sönümlenme olayını geciktirebilir (Tekait 2008). Yine takım tutucusunun yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılan çalışmada Kıyak ve ark. (2010), takım tutucu uzunluğunun artmasıyla, iş parçası yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir.



Kesme işlemi esnasında kesici takımın boşluk açısı da önemlidir. Boşluk açısının düşük olduğu durumlarda kesici takım dalgalı yüzeyde çukur bölgelere girerken kesici ucun malzemeye dalmasına engel olabilir. Bunun için boşluk açısı uygun seçilmelidir. Aksi halde kesici takım kesme işlemi yapamayacak sadece sürtünme oluşacaktır. Bu durum kesme kuvvetlerinde değişikliğe neden olur (Şekil 2.10.). Kesme kuvvetlerinde meydana gelen bu değişiklik kesici takımda titreşim oluşturur (Neşeli 2006).



Şekil 2.10. Kesme işleminde boşluk açısı değişimleri (Neşeli 2006)

Burada titreşimin oluşmasına neden olan bir diğer önemli faktör kesme parametreleridir. Kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği gibi... Titreşimi minimum seviyeye çekmek için bu parametrelerin optimum değerlerini bulmaya çalışacağız. Çünkü titreşimin minimum seviyeye getirilmesiyle ürünün istenen düzeyde yüzey pürüzlülüğünü elde etme imkanımız olur. Dolayısıyla daha az zaman ve maliyetle işlem gerçekleştirilmiş olur.

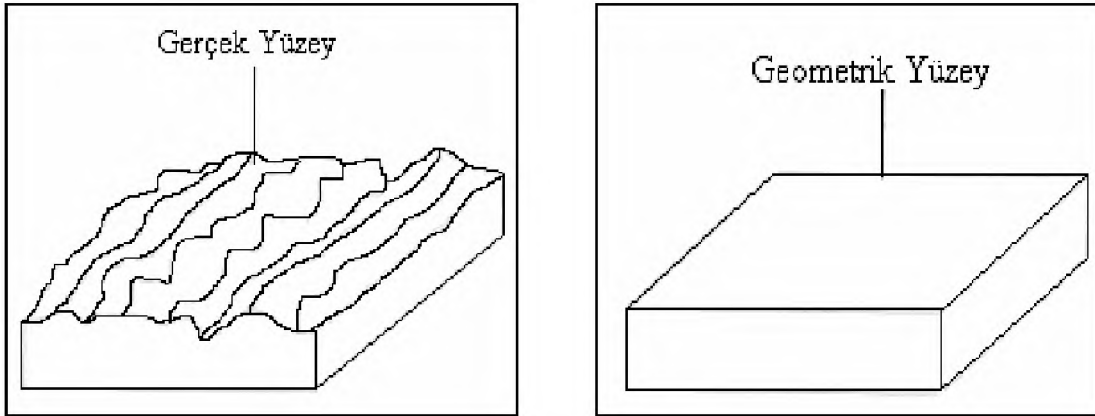
### 2.3. Yüzey Pürüzlülüğü

İşleme metodu, kesicinin cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak, işleme sırasında fiziksel, kimyasal ve ısıl faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerinde etkisiyle işlenmiş yüzeylerde, genellikle istenmediği halde bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir (Güllü, 1995). Bir başka deyişle talaş kaldırarak şekillendirme sırasında; seçilen yöntem, kesici cinsine ve işleme şartlarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısıl faktörlerin ve kesici iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmediği halde işleme izleri oluşmaktadır.

Normal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denmektedir.

### 2.3.1. Yüzey Yapısının Özellikleri

Modern talaş kaldırma yöntemlerinde boyutsal tamlılığın yanında yüzey kalitesi de önemli bir unsurdur. Birbirleriyle çalışan yüzeylerin kalitesi bu parçaların aşınmasında önemli bir etkidir. Standartlara göre, bir nesne bir yüzey tarafından sınırlanır ve bu yüzeyin nesneyi başka bir yüzeyden, alandan veya maddeden ayırmasına gerçek yüzey adı verilir ve geometrik bakımdan mükemmel yüzey olarak düşünülür. Gerçek yüzey, cismi sınırlayan ve çevresindeki ortamdan ayıran yüzeydir. Yüzey yapısı, sapmaları ifade eder. Sapmalar tekrarlı veya rasgele olabilir. Geometrik bakımdan mükemmel yüzey olarak düşünülen yüzeye geometrik yüzey adı verilir. Projelerde veya diğer teknik belgelerde anma biçimi olarak tarif edilen ideal yüzeydir (Şekil 2.11.) (Demir 2002).

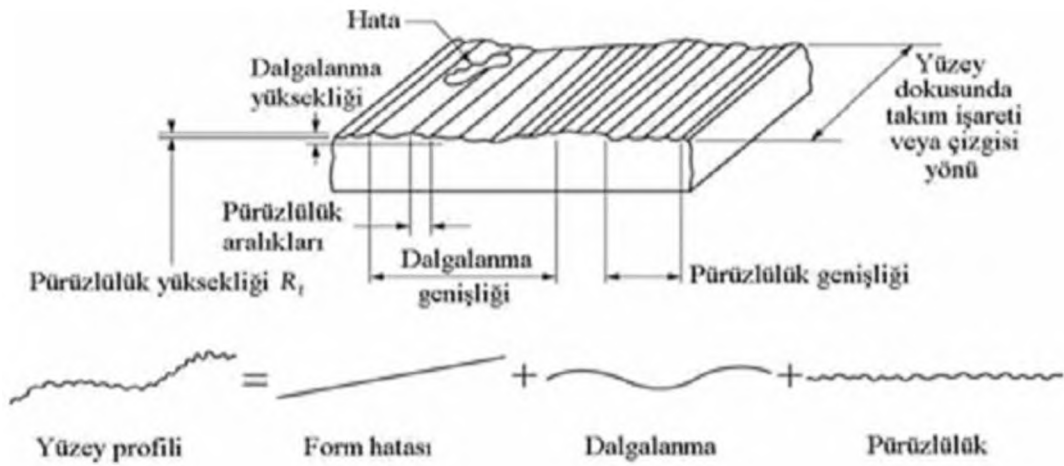


Şekil 2.11. Yüzey şekilleri (Demir 2002)

En uygun takım geometrisi ve kesme hızı ile sağlanabilen en iyi yüzey pürüzlülüğü ideal yüzey pürüzlülüğünü verir. Kesici takımında BUE oluşumu, titreşim ve takımın hatalı bağlanması gibi etkenler azaltılırsa ideal yüzey pürüzlülüğü elde edilebilir.

Bir yüzey yapısının kontrolünde yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınma önemli faktörlerdir. İşlenen yüzeylerde dalgalık ve pürüzlülük olmak üzere iki tip yüzey sapması meydana gelir. Dalgalık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü standarda göre yüzeye dik olan bir kesitte, belli bir numune uzunluğu boyunca, belli bir referans profiline ve profil

ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Düz bir yüzey denildiğinde dalgasız, pürüzsüz denildiğinde dalgalı, fakat gözle bakıldığında veya tırnakla kontrol edildiğinde, pürüzlülükleri fark edilemeyen yüzeyler anlatılmak istenir. Doğrultu, yüzey pürüzlülüklerinin referans alınan bir alın yüzeyine göre durumunu belirler. Yüzey geometrileri, isteme metoduna bağlı olarak değişir (Şekil 2.12) (Çelik 2010).



Şekil 2.12. İşlenmiş bir yüzey yapısı (Çelik 2010)

### 2.3.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

- Sürtünmeli yataklar,
- Korozyon ortamında çalışan parçalar,
- Yuvarlanmalı yataklar,
- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
- Sızdırmazlık yüzeyleri,
- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- Masterlar vb (Çelik 2010).

### 2.3.3. Yüzey Kalitesini Etkileyen Faktörler

- Takım tezgâhlarının yeterince rijit olmaması,
- İşlenen malzemelerde bağlamadan dolayı oluşan deformasyon,
- Talaş akışının sebep olduğu bozukluk,

- İlerleme mekanizmasındaki düzensizlikler,
- İlerleme hızında meydana gelen düzensizlikler,
- İşlenen malzemedeki yapı bozuklukları,
- Kolay şekillendirilebilir malzemeler düşük kesme hızlarında işlendiği zaman,
- İşlenen malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,
- Tezgahın kinematik mekanizması,
- Takım ucu ve takım ucunun rijit olmamasından kaynaklanan imalat hataları,
- Kesici tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
- Takım konumlama ve bağlama hataları,
- Takım aşınmasından kaynaklanan hatalar,
- İşlenen malzemeden talaş kaldırma şekli,
- Çevrenin etkisi ile oluşan hatalar olarak sayılabilir (Çelik 2010).

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaş kaldırma işleminde; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işleminde talaş akışı ve malzeme aşınımının oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenebilmesi için çoklu değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak üç önemli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği için uygun değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak, talaş derinliği ve ilerleme miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değeri azalmaktadır (Neşeli 2006).

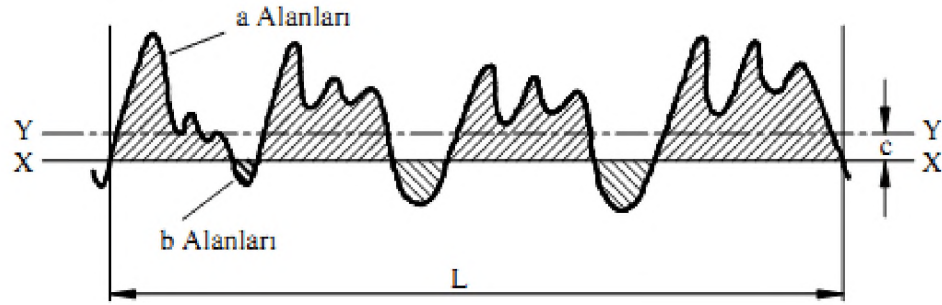
### 2.3.4. Yüzey Kalitesinin Sayısal Olarak Değerlendirilmesi

Yüzey pürüzlülüğü kalitesinin hesaplanmasında genellikle iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar ortalama çizgi sistemi (M) ve zarf sistemi (Z) olarak bilinirler.

#### 2.3.4.1. Ortalama Çizgi Sistemi (M)

Ortalama çizgi elde edilen geometrik profili tasdik eden bir çizgi olarak tanımlanabilir (Şekil 2.13). Bu ortalama çizgi öyle bir yere yerleştirilmiştir ki, bu çizgi ile profil arasındaki ordinatların karelerinin toplamı minimum olmalıdır. Dolayısıyla ortalama veya merkez çizgisi pratikte profilin genel yönüne paralel bir çizgi olarak

belirlenebilir ve bu çizginin altında ve üstündeki profili oluşturan alanlar (a ve b) birbirlerine eşittir.



Şekil 2.13. Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi (Scarr 1991)

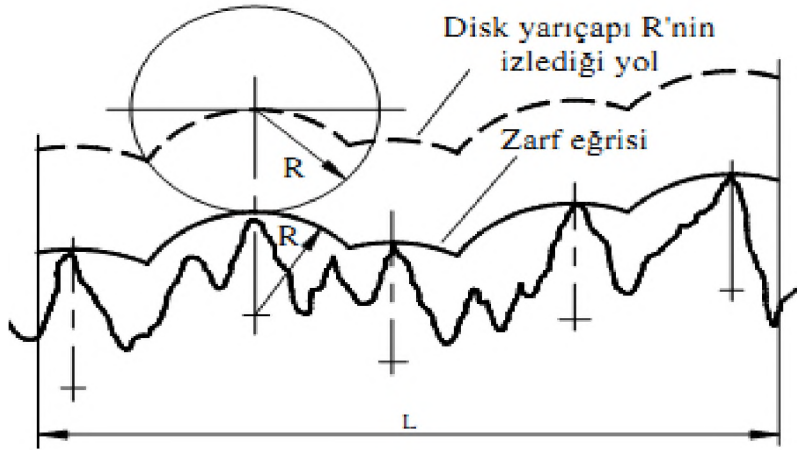
Verilmiş olan bir profil için ortalama çizginin konumu, aşağıda açıklanan yöntemle belirlenebilir. Şekil 2.13.'te gösterildiği gibi bir XX doğrusu çizilir. Bu çizgi uygun örnekleme uzunluğu (L)'nin üzerindeki profilin genel yönüne paraleldir. Bir planimetre veya ordinat metodu kullanılarak a ve b alanları ölçülür. Sonra XX ve istenen ortalama çizgi YY arasındaki c mesafesi şu şekilde verilir (Neşeli 2006).

$$c = \frac{\sum \text{Alan (a)} - \sum \text{Alan (b)}}{L} \quad (2.5)$$

#### 2.3.4.2. Zarf Sistemi (E)

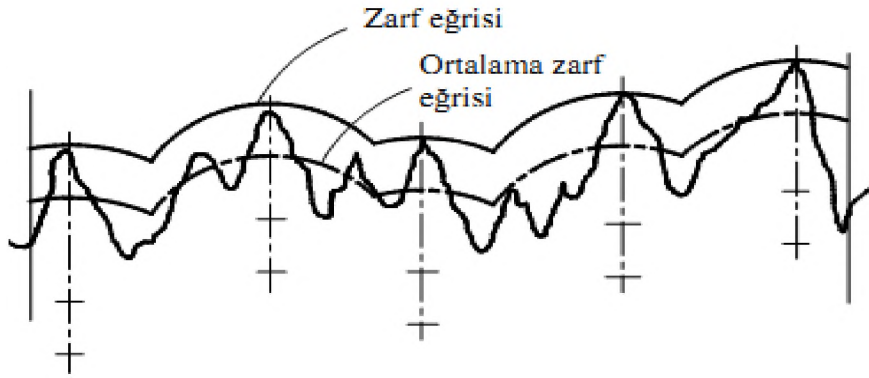
Zarf sistemi, izlere karşı yuvarlanan bir dairenin yarıçapı tarafından üretilen bir çizgi esasına dayanır. Daire merkezinin hareketinden oluşturulan bu eğri R mesafesi tarafından düşey olarak yerleştirilmiştir. Bu çizgi yüzeyin üzerinde yer alır. Şekil 2.14.'te gösterildiği gibi zarf eğrisi, ideal geometrik profile dik açılarda en yüksek profile doğru çizilen ordinatlar tarafından oluşturulur.

Yarıçap R'nin dairesel yayları ordinatlar üzerindeki merkezleriyle birlikte tepelere doğru çizilerek zarf eğrisini oluşturur. Bu eğrinin oluşumu yüzey kalitesinin grafik çıktısının dikey ve yatay eksenlerde aynı oranda büyütüldüğünü kabul eder (Neşeli 2006).



Şekil 2.14. Zarf eğrisinin elde edilişi (Scarr 1991)

Dikey büyümelerin yataydaki büyümelerden dikkati çekecek kadar fazla olması ve dairesel yayların bozularak eliptik şekil alması olağandır. Eğer V dikey büyüme ve H da grafiğin yatay büyümesi ise zarf profili dairesel yayların yarıçaplarının R yerine  $(R \times H^2) / V$  olarak düzeltilmesiyle yeniden elde edilir. Daha sonra üretilmiş haldeki temas eden zarf çizgisinin altında ve üstünde eşit olan yüzey profili tarafından kapatılmış yayların pozisyonu ile değiştirilebilir. Bu durum Şekil 2.15.'te görülmektedir. Bunun manası, zarf eğrisi M sistemindeki ortalama çizgiyi karşılar (Scarr 1991).



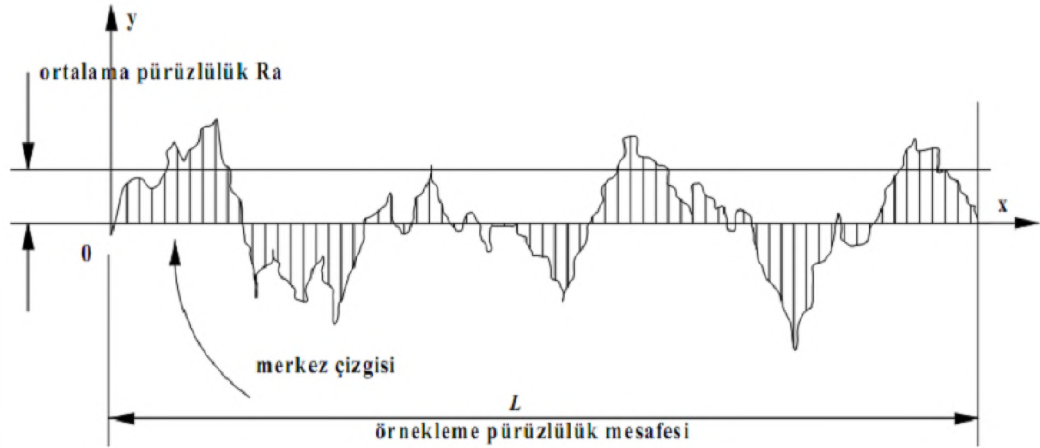
Şekil 2.15. Ortalama zarf eğrisi (Scarr)

Yüzeyde oluşan girinti ve çıkıntıların alan bakımından eşitlendiği orta eksenin üstünde ve altında kalan alanların aritmetik ortalamasını veren çizgiler arası mesafe  $R_a$  olarak, orta eksenin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeri ( $R_q$ ) olarak adlandırılır. Değerlendirme aralığındaki en yüksek beş çıkıntı ile en derin beş girintinin mutlak değerlerinin ortalaması  $R_z$ , değerlendirme aralığındaki filtre

edilmemiş pürüzlülüğün en yüksek çıkıntısı ile en derin girintisi arasındaki mesafe  $R_{max}$  ( $R_y$ ), filtre edilmiş pürüzlülüğün en yüksek tepesi ile en derin girintisi arasındaki mesafe de  $R_t$  olarak adlandırılmaktadır.

Talaşlı imalat işlemleri tamamlandıktan sonra istenilen ölçü doğruluğuna ve pürüzlülüğe ulaşıldığı kontrol edilmektedir. Ortalama pürüzlülük, yüzeyin genel kalitesini göstermek için kullanılan geniş bir terimdir. “İyi yüzey” düşük pürüzlülük değerini ve tersi de her zaman “yüksek pürüzlülük” değerlerini gösterir.

Yüzey pürüzlülüğü mekanizmasının modellenmesi, esasen talaş kaldırma işlemine bağlı karmaşık bir süreçtir. Endüstride kullanılan yüzeylerin pek çok pürüzlülük parametresi vardır. Bunlar ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ), RMS pürüzlülüğü ( $R_q$ ) ve maksimum tepe vadi pürüzlülüğü ( $R_y$  veya  $R_{max}$ ). Bu çalışmada  $R_a$  parametresi kullanılmıştır.  $R_a$ , merkez doğrusu ve yüzey izleri arasındaki hattın alt ve üst eşdeğer alanı olarak alınır (Şekil 2.16.).  $R_a$ , uluslararası benimsenmiş sembol olup pürüzlülük değerini gösterir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ), pürüzlülük profili ile alan çizgisi arasında kalan kısmın mutlak değerinin integrali alınarak bulunabilir. Ortalama yüzey pürüzlülüğünü ( $R_a$ ) bulabilmek için aşağıda verilen Denklem (2.6) kullanılmaktadır (Çolak ve ark., 2007).



Şekil 2.16.  $R_a$  Yüzey pürüzlülük değerinin gösterimi

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx \quad (2.6)$$

Ayrıca ilerleme (f) ve köşe radüsüne ( $r_E$ ) bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması olarak adlandırılan  $R_a$ 'yı bulabilmek için kullanılan bir başka formülde Denklem (2.7)'de görülmektedir.

$$R_a = \frac{0.321 \times f^2}{r_E} \quad (2.7)$$

Bunun yanında takım uc yarıçapının değeri parça yüzeyindeki yüzey pürüzlülüğü belirler. Bu bakımdan uc yarıçapı r, ilerleme f ve yüzey pürüzlülüğü  $R_t$  arasındaki bağıntı denklem (2.8)'de görülmektedir (Akkurt 2009).

$$f = \sqrt{8 \cdot R_t \cdot r} \quad (2.8)$$

### 2.3.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçme Teknikleri

Talaş kaldırarak imal edilen makine parçalarında elde edilen yüzey pürüzlülüğü, malzeme yapısının, seçilen işleme şartlarının ve yönteminin kesin bir göstergesi olmuştur. Yapılan çeşitli araştırmalarda yüzey pürüzlülüğünün doğru olarak ölçülmesi ve üretim şekli için en uygun yüzey pürüzlülük ölçme yönteminin tercih edilmesi önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. Bilinen ölçme teknikleri aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

#### 2.3.5.1. Optik Metot

Bir yüzey üzerine yansıtılan ışının geliş açısı ile yansıma açısı aynı olacaktır. Pürüzlü yüzeylerde ışının dağılımı optik sensörlerle ölçülerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir (Tekait 2008).

#### 2.3.5.2. Dokunma Metodu

En eski ve hala kullanılabilen bir metottur. Bir iğne, kalem ve hatta tırnak ucunun bir yüzey üzerine işleme yönüne dik olarak sürülmesiyle, yüzeyin pürüzlülüğü hakkında bilgi edinilebilmektedir (Güllü 1995).

#### 2.3.5.3. Mekanik Metot

En az 500 gram ağırlığında çelik bilye kullanılarak, yüzeyin içine doğru 1µm lik yer değiştirmesi yüzey pürüzlülüğünün bir ölçümüdür (Güllü 1995).



#### **2.3.5.4. X Işını Metodu**

Mikroskop altında yüzey düzensizliklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508 µm arasındaki pürüzlük değerleri ölçülebilir (Tekauit 2008).

#### **2.3.5.5. Elektron Mikroskobu Metodu**

Elektron mikroskobu en küçük düzensizleri ölçme gücüne sahip olmasına rağmen, ölçüm yapılacak yüzey boyutunun küçük tutulması zorunluluğu ve yüzey pürüzlülüğü görüntüsünü kopyalama sırasında oluşabilecek zorluklar bu metodun kullanımını sınırlar (Güllü 1995).

#### **2.3.5.6. Hidrolik Metot**

Belli eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belli hacimde yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında kurulan bir ilişki ile pürüzlülük değeri ölçülmesi esasına dayanır (Tekauit 2008).

#### **2.3.5.7. Replika (Mask) Metodu**

Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz - asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında % 80 oranında bilgi verir (Tekauit 2008).

#### **2.3.5.8. Yüzey Dinamometresi Metodu**

İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, sürtünme katsayısı, sürtünen parçaların yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Sürtünme katsayısının dinamometre ile ölçülmesi sırasında elde edilen F kuvveti yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılıdır (Güllü 1995).

#### **2.3.5.9. Kesit Alma Metodu**

Numunenin ince kesitinin alınmasından sonra koruyucu bir metal tabaka ile yüzey kaplanır. Yüzeyin dik kesitinden optik yansıtma yapılarak yüzey düzensizliklerinin büyütülmüş hali görülür. Gerekirse şeklin optik olarak daha da büyütülmesi mümkündür. Bu metodun dezavantajı numunenin tahrip edilmesi ve yavaşlığıdır (Güllü 1995).

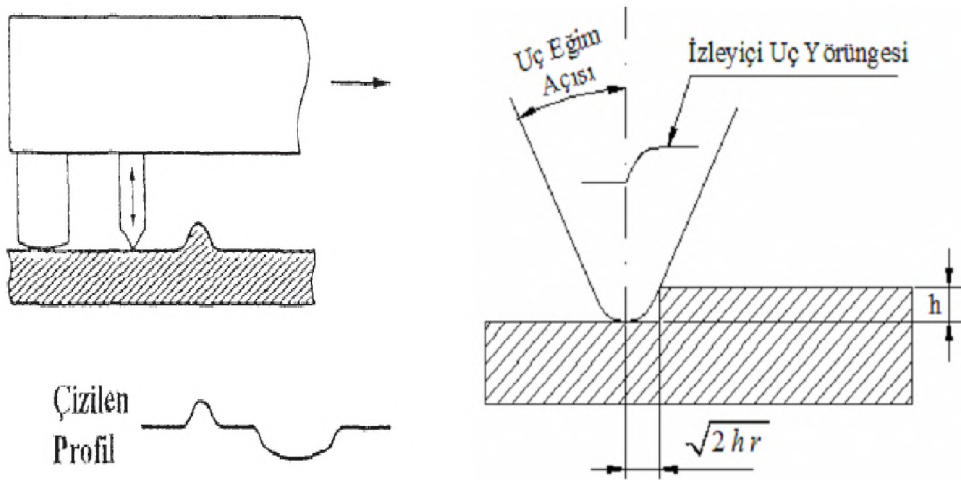
### 2.3.5.10. Karşılaştırmalı Mikroskoplu Metot

Cihazın çıplak gözle bırakılan ekranında; hemen kontrolü yapılacak yüzeyin büyütülmüş kesitinin birlikte görmek mümkündür. Bu kıyaslamada; aynı malzemeden yapılan, aynı işlem metoduyla en iyi sonuç veren iş parçasının görünüşü referans alınır, aynı grupta bulunan diğer iş parçasının uygunluk kontrolü kolayca yapılabilir (Güllü 1995).

### 2.3.5.11. İzleyici Uçlu Cihazlar Metodu

İzleyici uçlu cihazlar, kullanılan çok sivri bir izleyici ucun, ölçüm yapılan yüzey üzerinde, yüzey düzensizliklerine çapraz yönde ve değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket boyunca meydana gelen titreşimlerin büyütülerek, yine hareketli bir şerit üzerine kayıt edilmesi veya göstergeden okunması esasına dayanır. İzleyici ucun yüzey üzerindeki baskısı çok azdır ve pürüzlülük büyütme oranı 100,000 kata kadar çıkarılabilir.

Numune yüzeyini ölçmek için kullanılan iğnenin idealde keskin bir uca sahip olması gerekir. Bu ise pratikte mümkün değildir. İğnenin ucundaki sonlu yarıçap, ölçme yapılan yüzeyin şekline bağlı hareketin hassasiyetinde bazı kayıplara sebep olur. İzleyici ucun sonlu yarıçapından dolayı meydana gelen hatanın pratikte çok ciddi olmadığı görülmüştür. 0,0001 inç yarıçaplı bir uca sahip olan iğne 0,0002 inç genişliğinde bir hata ile ölçülmesi beklenirken, sonucun bundan daha iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 2.17. İzleyici uç prensibi (Güllü 1995)

Şekil 2.17.'de ölçüm yapılan yüzeyleri birbirinden ayıran bir tepe üzerinden, izleyici uca kızaklık eden elemanın geçmesiyle, profilde ortaya çıkan yanlış çukurun şematik gösterilmiştir (Güllü 1995).

Cihazların mekanik, pnömomatik, optik veya elektronik olarak yapılmışlardır. En yaygın olanı elektrondur, zira elektrik sinyalleri kolaylıkla işlenebilir. İzleyici ucun mekanik yer değiştirmelerini elektrik sinyallerine dönüştürmede kullanılan transdüserler üç çeşittir. Bunlar;

- Akım üreten cihaz
- Gerilim üreten cihaz
- Sinyal modüle cihazı (Güllü 1995)

### **2.3.5.12. Elektro Fiber Optik Metot**

Yüzey pürüzlüğü ölçülecek malzeme X,Y yönünde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcı ile parça yüzeyine dik olarak ışın gönderilir. Parça yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur (Özses 2002).

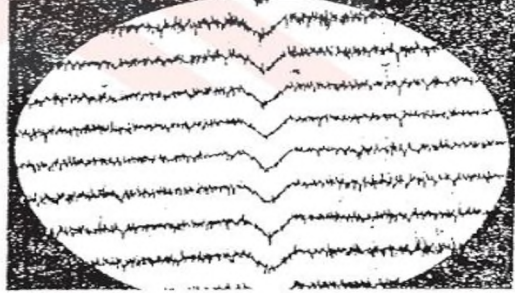
### **2.3.5.13. Optik Parazit Aletleri Metodu**

Çok düzgün yüzeyler parazitlenme bakımından test edildiklerinde, yüzeyler optik olarak parlattıkları sürece, yüzey izleri testere dişi görüntüsünde olacaktır. Bu görüntü yüzey üzerinde mevcut olan yüzey bozuklarından kaynaklanmaktadır. Parazit mikroskobu, bir optik yüzeyin yardımıyla oluşturulan yüzey izlerinin büyütülmesini sağlar. Hata yana doğru yüzey kalite düzensizliklerinin büyütülmüş görüntüsünü verir ve onların derinliklerini büyütür. Bu ise, yüzey izleri boşluk etkilerinin bir sonucudur. Şekil 2.18. a'da bu tip alet tarafından çekilmiş taşlanmış bir çelik yüzeyin bir fotoğrafı görülmektedir. İki veya üç yüzey izi boşluğu arasındaki tepeden çukura olan yükseklik 20~30 µm'dir.

Şekil 2.18. b'de görülen leplenmiş bir çelik yüzeyi beklediği gibi düzgündür. Onun yüzeyindeki düzensizlikler genellikle yüzey izi boşluklarının bir çeyreğini aşmaz, örneğin; 2-3 µm'dir. Buna 8 µm derinliğinde olan merkezdeki bozulma dahil değildir (Güllü 1995).



(a)



(b)

Şekil 2.18. Taşlanmış çelik yüzey (a: Taşlama Yapılmış Yüzey, b: Leplenmiş Yüzey) (Güllü 1995)

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Materyal

İmalat sanayisinde geniş kullanım alanı olan AISI 1040, iş parçası malzemesi olarak kullanılmıştır (Şekil 3.1.). Taşıt, motor, makine ve aparat yapımında orta zorlamalı parçalarda, cer kancaları, dişliler, miller ve kalıp setlerinde kullanılır. Alaşımsız çeliklerdir. İçerdikleri yüksek oranda karbon miktarından dolayı karbon çelikleri olarak da bilinirler. Sertleşebilirlikleri, içerdikleri karbon miktarına paralel olarak artarken toklukları ise karbon miktarı ile ters orantılıdır. Çizelge 3.1.'de deney numunelerinin kimyasal kompozisyonu verilmiştir.



Şekil 3.1. AISI 1040 iş parçası

Çizelge 3.1. AISI 1040 çeliğin kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
0.365	0.247	0.799	0.0166	0.042 2	0.0528	0.026 7	0.106	0.0190	0.0223
Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	Sb	Fe	
0.300	0.0020 0	0.0010 0	0.0010 0	0.086 8	0.0020 0	0.018 8	0.0066 9	97.83	

#### 3.2. Metot

Bu çalışmada titreşim analizleri için genlik frekans ilişkisini gösteren spektrum grafikleri matlabta elde edilmiştir. Ayrıca titreşim genlikleri ivme ölçer kullanılarak labview programında elde edilerek analiz edilmiştir.

Tornalama esnasında oluşan kesme kuvvetleri ise dinamometre yardımıyla dynoware programında ölçülüp analiz edilmiştir. Her deney sonrasında işlem yapılan iş parçasındaki bölgenin 5 farklı yerinden yüzey pürüzlülük cihazı ile yüzey pürüzlülüğü ölçülüp, gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

#### 3.3. Deney Numuneleri

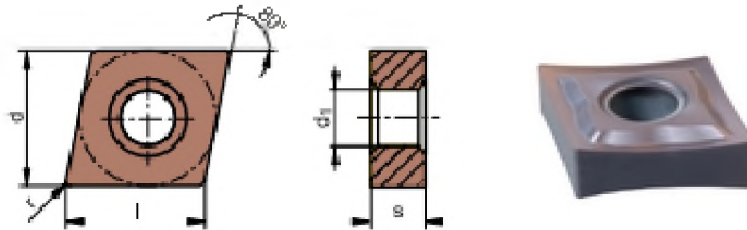
Deney malzemesi Ø50x300 mm boyutlarında AISI 1040 çeliğidir. Yüzeydeki olumsuzlukların giderilmesi ve dış yüzey tabakası sertleşmesi ihtimalinin azaltılması amacıyla parça yaklaşık 1 mm talaş derinliğinde torna tezgahında silindirik torna işlemine tabi tutulmuştur. Bunu yaparken malzemenin tek tarafına punta deliği açılıp, deney için hazır hale getirilmiştir. Toplamda 27 adet deneyimiz vardır ve bunun için 3 adet iş parçası kullanıldı. Daha sağlıklı veriler elde etmek için her 9 deney farklı iş parçasında yapıldı.

##### 3.3.1. Kesici Takım ve Takım Tutucu

Deneylerde kullanılmak üzere iş parçasına uygun 0,4 uc radüsündeki 115° yanaşma açısına sahip CNMG 120404-NM KLP 115 formunda sementit karbür kesici takım (Şekil 3.2) ve buna uygun DCLNR 2020K12 formunda takım tutucu kullanıldı (Şekil 3.3). Sırasıyla kesici takımın ve takım tutucunun boyutları çizelge 3.2 ve çizelge 3.3'te görülmektedir.

Çizelge 3.2. Kesici takımın boyutları

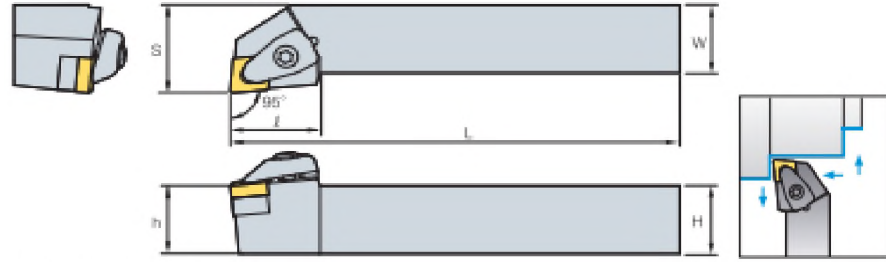
Ürün Adı	d (mm)	l (mm)	s (mm)	r (mm)	d1 (mm)
<b>CNMG 120404-NM KLP 115</b>	<b>12,7</b>	<b>12,9</b>	<b>4,76</b>	<b>0,4</b>	<b>5,16</b>



Şekil 3.2. Kesici takım

Çizelge 3.3. Takım tutucunun boyutları

	H	W	L	S	h	l
<b>DCLNR 2020 K12</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>125</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>30</b>



Şekil 3.3. Takım tutucu

### 3.3.2. Torna Tezgahı

Deneylerin gerçekleştirildiği tezgah SMARC LC360B marka torna tezgahıdır (Şekil 3.4). 2.2 kW motor gücündeki dijital ölçüm sistemine sahip tezgahın maksimum hızı 2000 dev/dak'dır. İşlemler kuru kesme şartları altında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Torna tezgahı

### 3.3.3. Titreşim Ölçme Cihazı

Deneylerde titreşim sensörü olarak Kistler 8702B500 tipi konektör bağlantılı sensör kullanılmıştır (Şekil 3.5). Bu modelin kullanılmasındaki amaç titreşim hassasiyetinin bizim için uygun olmasıdır. Titanyum kaplamalı bu cihaz hava geçirmezdir. Titreşim sensörü takım tutucunun uc kısmına özel bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış her deney için aynı noktadan ölçümler alınmıştır. Burada ölçümler kesme yönündeki kuvvet daha büyük olacağından kesme yönünden alınmıştır. Titreşim ivme sensörü teknik özellikleri çizelge 3.4'te verilmiştir. İvmelenme sensöründen çıkan sinyaller özel kablo aracılığıyla veri kartına (NI-cDAQ 9172) aktarılır (Şekil 3.6). Veri

### 3. MATERYAL VE METOT

kartından bilgisayara aktarılan sinyaller bilgisayardaki Labview programıyla işlenip sayısal değerlere ve grafiklere dönüştürülüp kaydedilmiştir.



Şekil 3.5. İvme ölçer



Şekil 3.6. Veri kartı

Çizelge 3.4. İvme ölçerin teknik özellikleri

Hassasiyet	<b>9.82 mV/g</b>
Gövde	<b>Paslanmaz çelik</b>
Frekans Ölçüm Aralığı	<b>54 kHz</b>
Dinamik ölçüm aralığı	<b>±500 g</b>
Kullanım sıcaklığı aralığı	<b>-54 ile 120 °C</b>
Bağlantı türü	<b>Konaktör bağlantılı</b>



### 3.3.4. Dinamometre

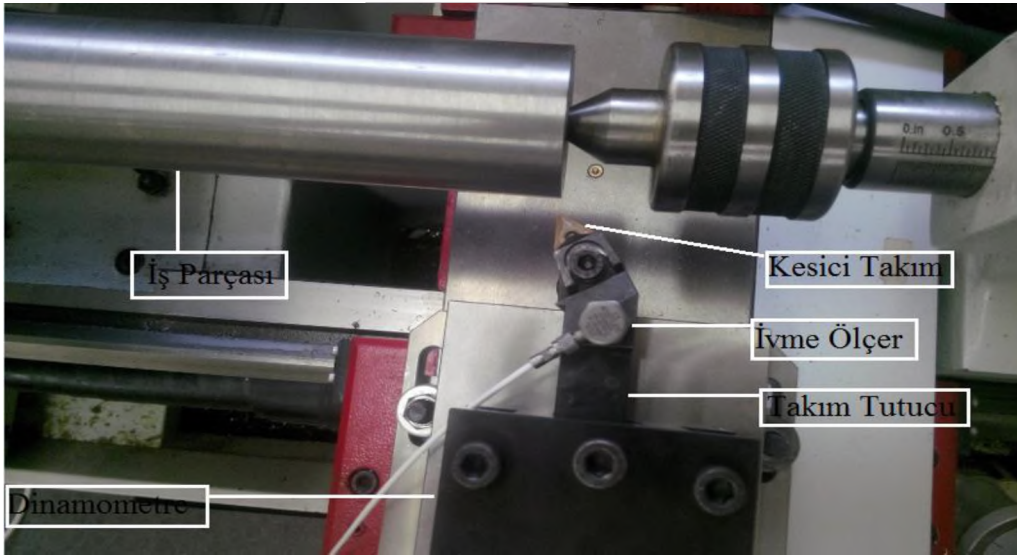
Deneylerde KISTLER 9257B tipi üç bileşenli kuvvet ölçme cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.7). Dinamometrenin teknik özellikleri çizelge 3.5’te görülmektedir. Her bir deney için farklı parametreler kullanılarak kesme kuvvetlerinin grafikleri elde edilmiştir. İşlemden sonra kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerleri esas alınarak, ortalama  $F_c$ ,  $F_a$ ,  $F_p$  kuvvetleri belirlenmiştir. Dinamometrenin tezgaha bağlantısı Şekil 3.8’de görülmektedir. Dinamometreden gelen sinyaller yükselticiye (Kistler 5070A) (Şekil 3.9) buradan da bilgisayara aktarılıp Dynoware programı kullanılarak kesme kuvvet değerleri elde edilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Dinamometrenin teknik özellikleri

Özellikler	Ölçüm Birimi	Type 9257B
Ölçüm Aralığı ( $F_x$ )	kN	-5.00..10.0
Ölçüm Aralığı ( $F_y$ )	kN	-5.00..10.0
Ölçüm aralığı ( $F_z$ )	kN	-5.00.10.0
Eksen Sayısı		3
Ölçüm modu		direkt
İşlem sıcaklık aralığı	°C	0...70
Uzunluk	mm	170
Genişlik	mm	100
Ağırlık	mm	60
Koruma derecesi	IP	67
Değiştirilebilir kablo		Var
Bağlantı kablosu		Fiş



Şekil 3.7. Kuvvet ölçme cihazı



Şekil 3.8. Dinamometrenin tezgaha bağlanması



Şekil 3.9. Yükseltici

### 3.3.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Cihazı

Deneyley iş parçası işlendikten sonra Taylor Hobson's Surtronic 3+ marka yüzey pürüzlülük cihazı (Şekil 3.10.) ile iş parçası üzerinden ölçümler yapıldı. Her deney sonunda işlenen iş parçasının yüzeyinde 5 farklı noktadan ölçümler alınıp ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) elde edildi.



Şekil 3.10. Yüzey pürüzlülük cihazı

### 3.4. Deney Değişkenleri

Takım üretici firma verileri ve ISO 365'teki öneriler dikkate alınarak, üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme oranı ve üç farklı talaş kalınlığı belirlenerek kesme parametreleri kullanılmıştır. Deneylelerde kullanılan kesme parametre değeryeri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

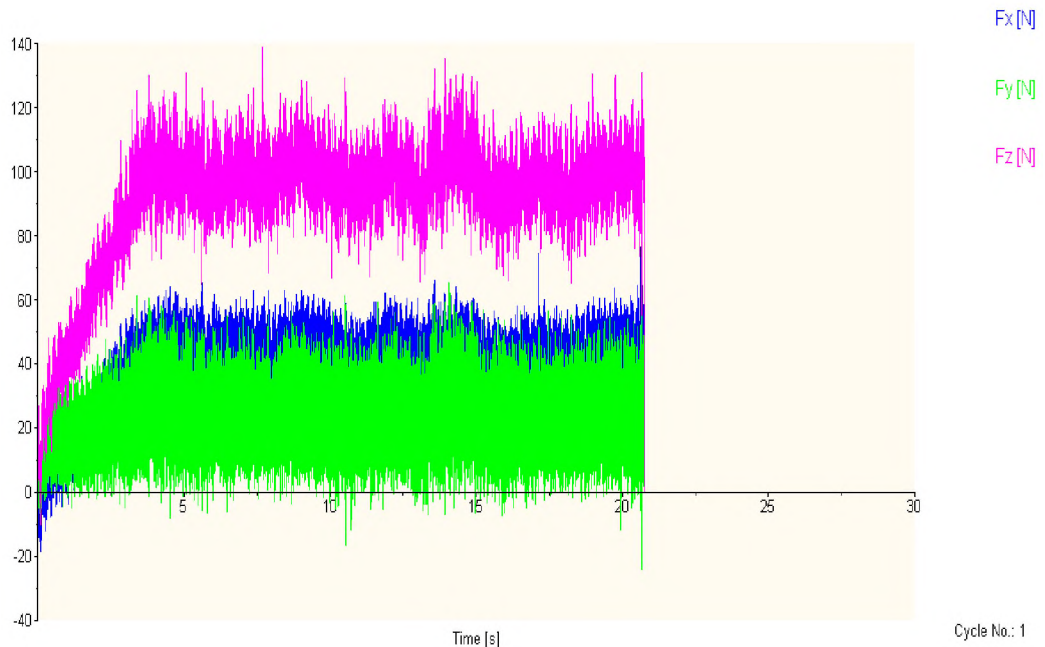
Çizelge 3.6. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Deney No	Kesme Hızı m/dak	İlerleme Oranı (mm/dev)	Kesme Derinliği (mm)
1	87	0.052	0.5
2	87	0.104	0.5
3	87	0.162	0.5
4	143	0.052	0.5
5	143	0.104	0.5
6	143	0.162	0.5
7	238	0.052	0.5
8	238	0.104	0.5
9	238	0.162	0.5
10	87	0.052	1.0
11	87	0.104	1.0
12	87	0.162	1.0
13	143	0.052	1.0
14	143	0.104	1.0
15	143	0.162	1.0
16	238	0.052	1.0
17	238	0.104	1.0
18	238	0.162	1.0
19	87	0.052	1.5
20	87	0.104	1.5
21	87	0.162	1.5
22	143	0.052	1.5
23	143	0.104	1.5
24	143	0.162	1.5
25	238	0.052	1.5
26	238	0.104	1.5
27	238	0.162	1.5

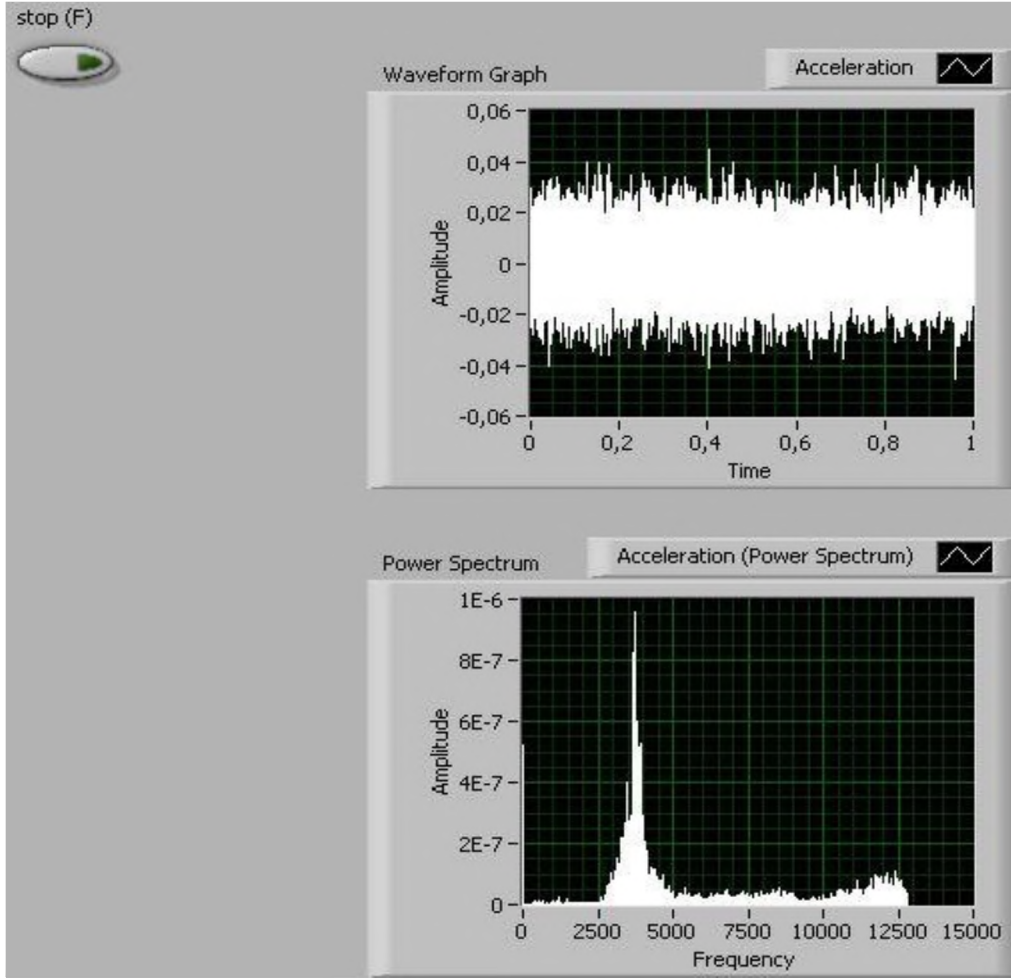
### 3.5. Deneylerin Yapılışı

Daha sağlıklı sonuçlar elde etmek için üç adet iş parçası kullanılarak her 9 deneyde iş parçası değiştirilmiş olup toplam 27 adet deney yapılmıştır. İş parçası üzerinden ortalama 20 saniye talaş kaldırılarak işlem süresi boyunca dinamometre ve ivmeölçer ile hem kesme kuvvetleri ölçülüp kaydedilmiş hem de titreşim değerleri ölçülüp kaydedilmiştir. Kullanılan iş parçası Ø50x200 mm boyutlarındadır. Yapılan 1 nolu deneyi ele alacak olursak; bütün ekipmanlar bağlantısı yapıldıktan sonra torna tezgahında kesme hızı  $V=87$  m/dak, ilerleme oranı  $f=0.052$  mm/dev ve kesme derinliği  $a=0.5$  mm olarak ayarlanıp deneye başlanmıştır. 125 mm uzunluğundaki takım

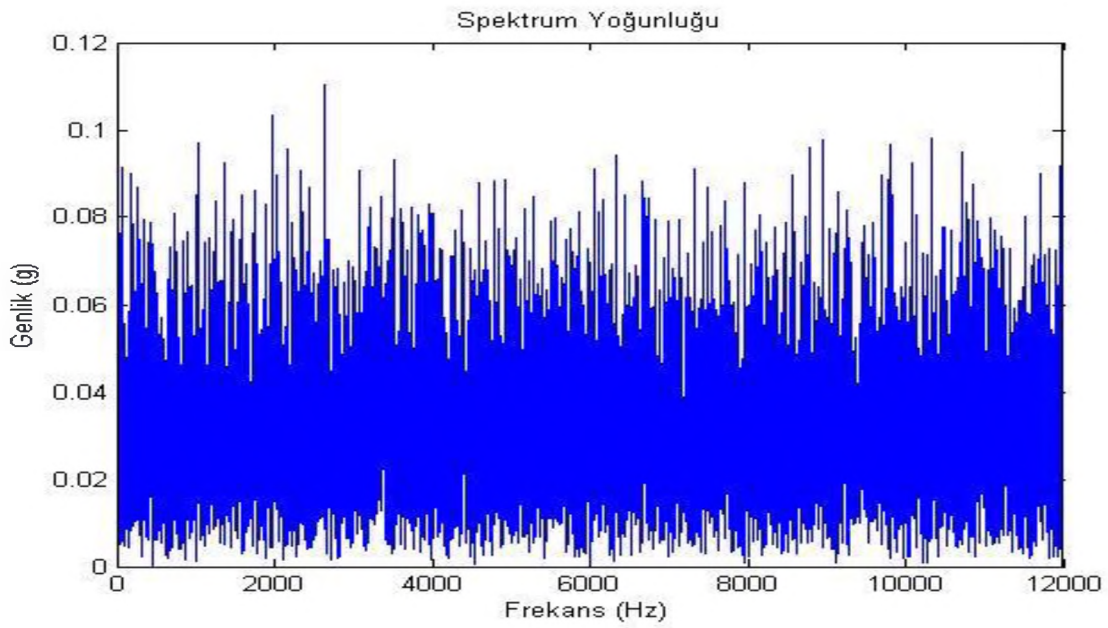
tutucunun uc kısmına özel bir yapıştırıcı ile sabitlenen ivmeölçer ile bilgisayardaki Labview programı kullanılarak titreşim ivmesi ve aynı zamanda kesici takım tutucunun monte edildiği dinamometre vasıtasıyla kesme kuvvetleri yine bilgisayardaki Dynoware programı ile ölçülüp kaydedilmiştir. Burada titreşimin oluşmasını sağlayan en önemli parametre olan kesme kuvvetinin ( $F_c$ ) ortalama değeri alınmıştır. Daha sonra işlenen yüzeyin yüzey pürüzlülük değeri yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile iş parçasının 5 farklı noktasından ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır. 27 adet deneyin her biri için yukarıdaki sıra takip edilmiştir. Deneylerden elde edilen kesme kuvvet ortalamaları, kesici takımdaki titreşim ivme değeri, ve yüzey pürüzlülük değerleri hem tablo hem de grafik olarak sunulmuştur. Elde edilen grafikler yorumlanırken kesme hızının, ilerleme oranının ve kesme derinliğinin kesme kuvvetlerine, titreşim değerlerine ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri araştırılmıştır. Ayrıca kesme kuvvetleri titreşim değerleri ve yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki ilişki belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen kesme kuvvet parametrelerine örnek olarak oluşan grafik şekil 3.11.'te gösterilmiştir. Aynı şekilde ivmeölçerden alınan titreşim değerleri Labview programı vasıtasıyla şekil 3.12.'da gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen veriler ışığında Matlab programı kullanılarak spektrum yoğunluk grafiği de elde edilmiştir (Şekil 3.13.).



Şekil 3.11. 9 nolu deney sonucunda elde edilen kesme kuvvet grafiği



Şekil 3.12. 25 nolu deneyden elde edilen titreşim ivmesi ve spektrum yoğunluğu



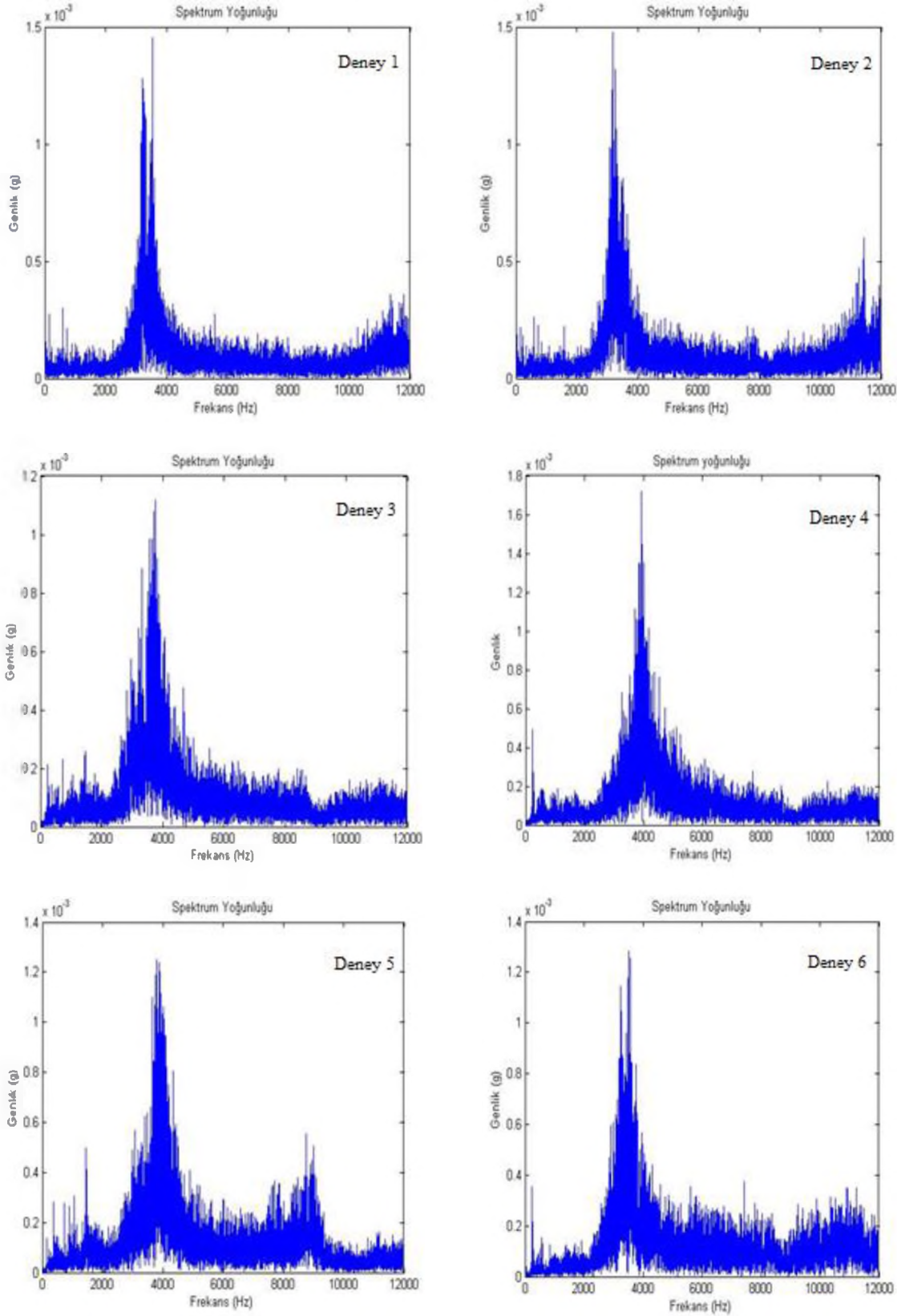
Şekil 3.13. 25 nolu deney için matlabta oluşturulan spektrum yoğunluğu

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Değerlendirme Esasları

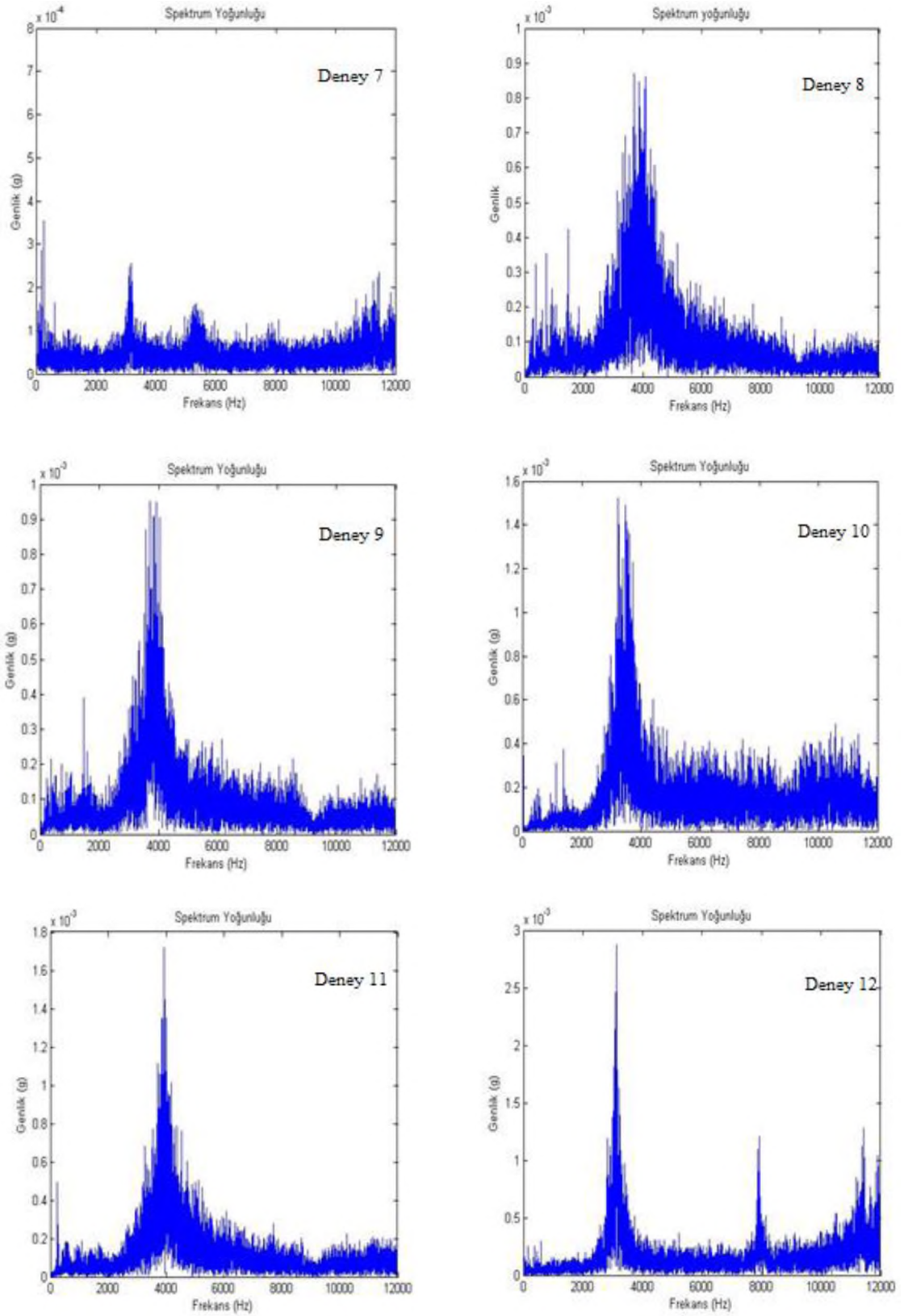
Üretimde elde edilen ürünün yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birçok faktör vardır. Kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği bunların en önemlileri arasında yer almaktadır (Thomas ve ark. 1993), (Abouelatta ve Madl 2001), (Thomas ve Beauchamp 2003), (Ghani ve ark. 2004), (Belmonte ve ark. 2004), (El-Sinawi ve Kashani 2005), (Devillez ve ark. 2007), (Arıtaşı 2008), (Bartarya ve Choudhury 2012) ve (Suresh ve ark. 2012). İşlem sırasında oluşan mekanik titreşimlerde yüzey pürüzlülüğün oluşmasında önemli bir etkiye sahiptir (Tobias 1965), (Lin ve Hu 1992), (Thomas ve ark. 1996), (Choudhury ve ark. 1997), (Jang ve Tarng 1999), (Ghani ve Choudhury 2002), (Neşeli 2007) ve (Tekaut 2008). Takım tezgahlarındaki hareketli makine parçalarından ve tezgahların oturduğu zeminden gelen bazı istenmeyen dış etkilerin oluşturduğu kuvvetlerden dolayı titreşim oluşmaktadır. Dolayısıyla, takım tezgahlarının yapısından dolayı sahip oldukları farklı titreşim frekansı değerleri vardır (Beauchamp ve ark. 1995) ve (Thomas ve ark. 1996). Bunun yanında talaş kaldırma işlemi sırasında kesme parametrelerine bağlı olarak mekanik titreşimler oluşmasının yanında Thomas ve ark. (1996), Saxena (1982) ve Ghani ve Choudhury (2002), bağlantı tipine ve takım bağlama uzunluğuna bağlı olarak da titreşim oluşmaktadır (Saxena 1982), (Ghani ve Choudhury 2002) ve (Lipski ve ark. 2002). Kontrolsüz olarak oluşan bu titreşimler iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü, kesici takımın aşınma davranışını ve işlem sırasındaki kesme kuvvetlerini olumsuz olarak etkilemektedir (El-Sinawi ve Kashani 2005).

Bu araştırma çerçevesinde yapılan deneysel çalışmalar, kesme parametrelerine bağlı olarak kesme işlemi esnasında oluşan genlik ve frekans değerlerini gösteren grafikler aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.1.). Bu grafiklerden takım tezgahının bir çok faktöre bağlı olarak oluşturduğu titreşimlere ek olarak yaklaşık olarak 3800 Hz frekansta genlik değerinin en yüksek seviyede olduğu görülmüştür. Bunun nedeni talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan ve kesmeye bağlı olarak oluşan titreşimler deneylerin tamamında yaklaşık olarak bu frekansta gerçekleşmiştir. Tüm deneylerde zirve noktalarının hemen hemen aynı frekansta gerçekleşmesi deneylerin doğruluğunu ispatlar niteliktedir. En önemli sonuç ise kesme işleminin titreşim üzerinde ne derece etkili olduğunu gösterir.

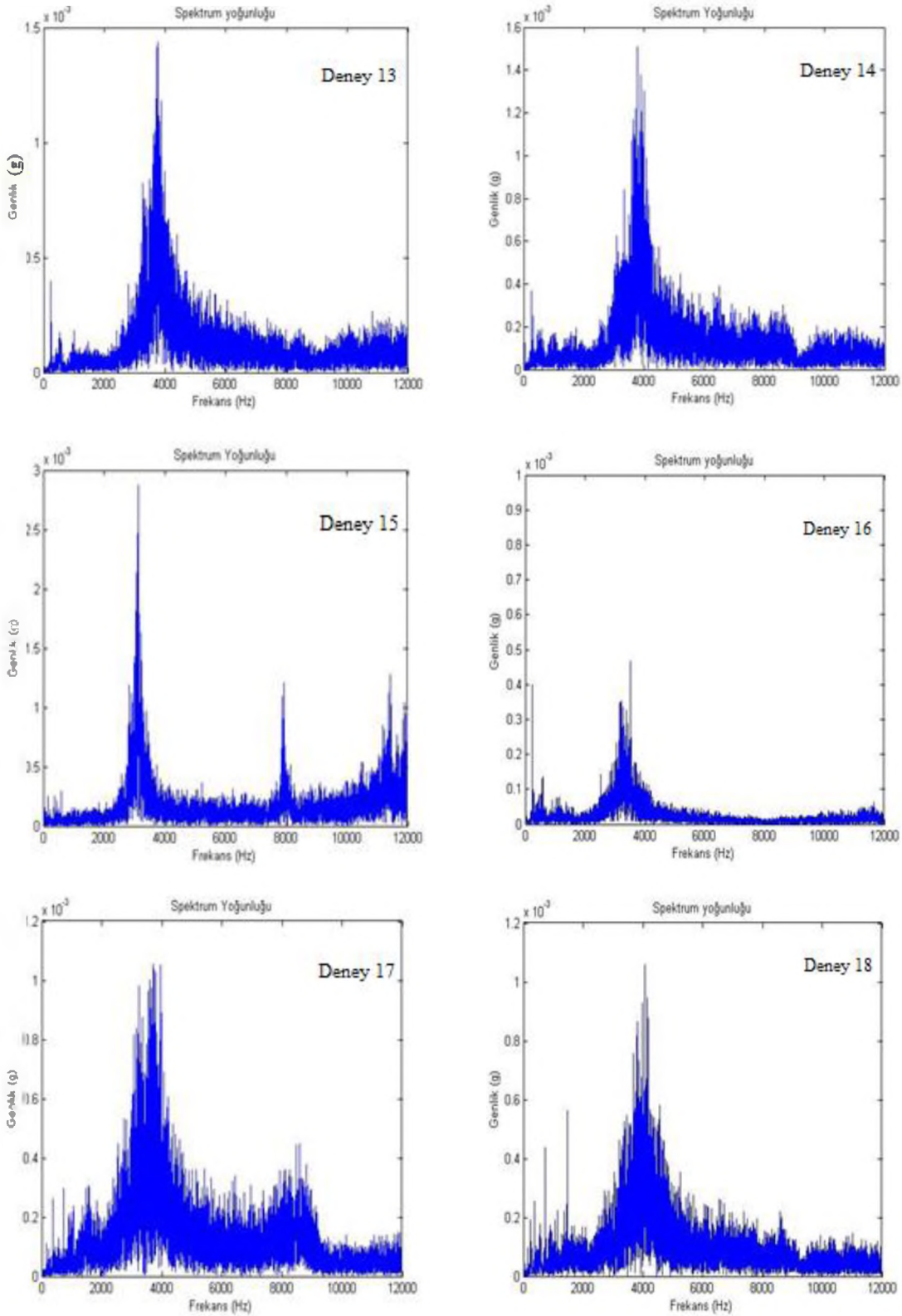


Şekil 4.1. Matlabta elde edilen spektrum grafikleri

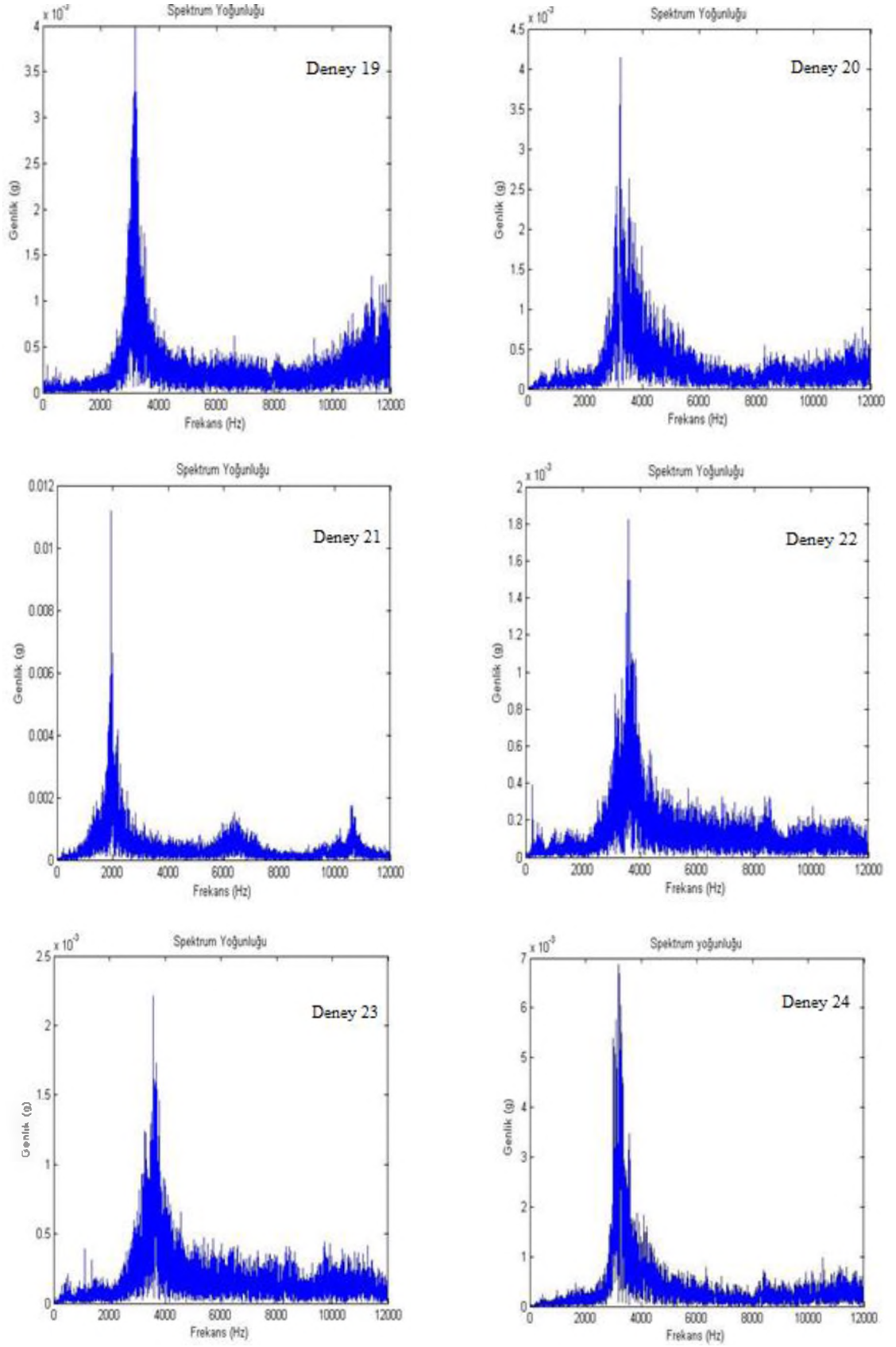




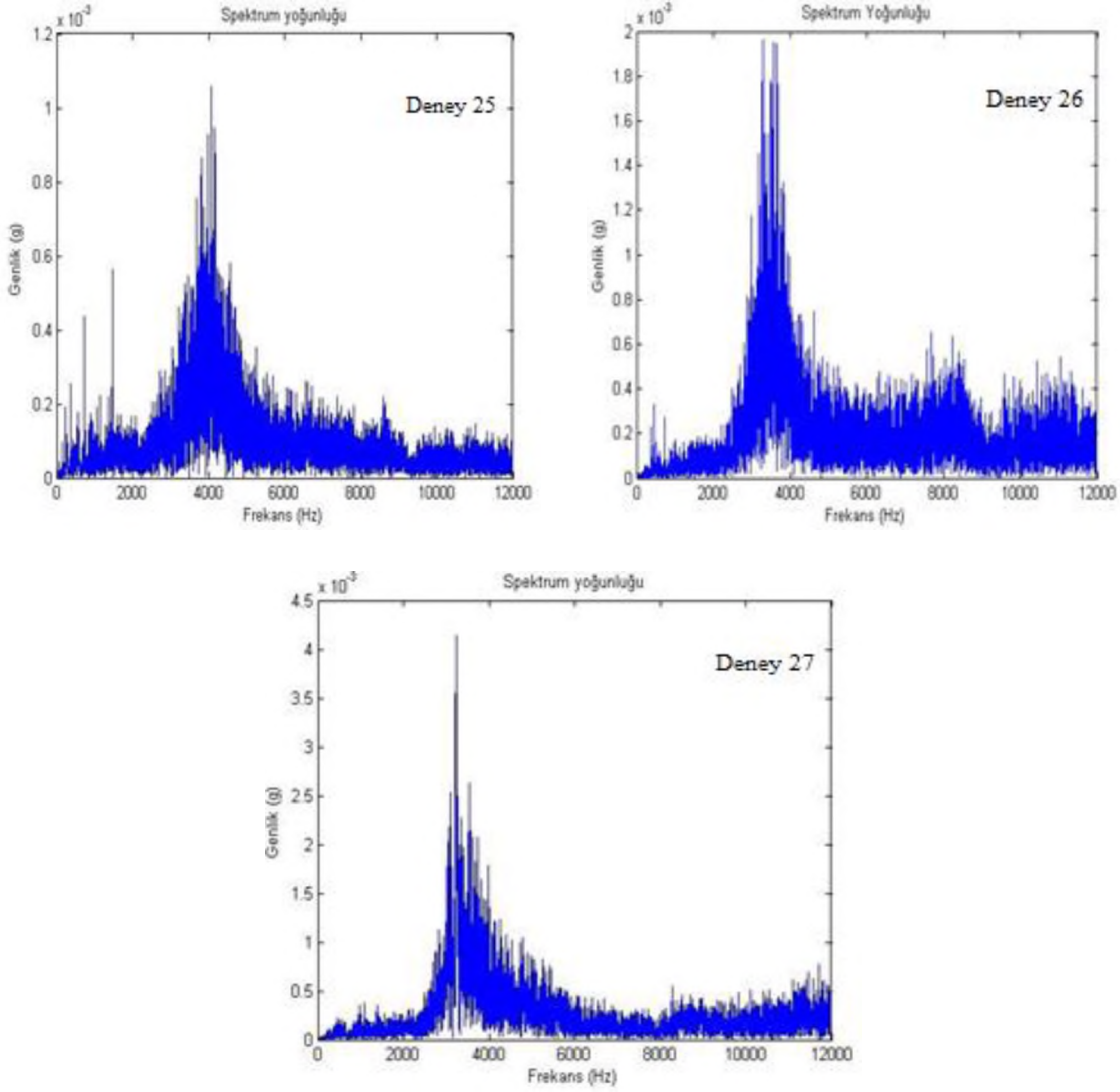
Şekil 4.1. Matlabta elde edilen spektrum grafikleri (Devamı)



Şekil 4.1. Matlabta elde edilen spektrum grafikleri (Devamı)



Şekil 4.1. Matlabta elde edilen spektrum grafikleri (Devamı)



Şekil 4.1. Matlabta elde edilen spektrum grafikleri  
(Devamı)

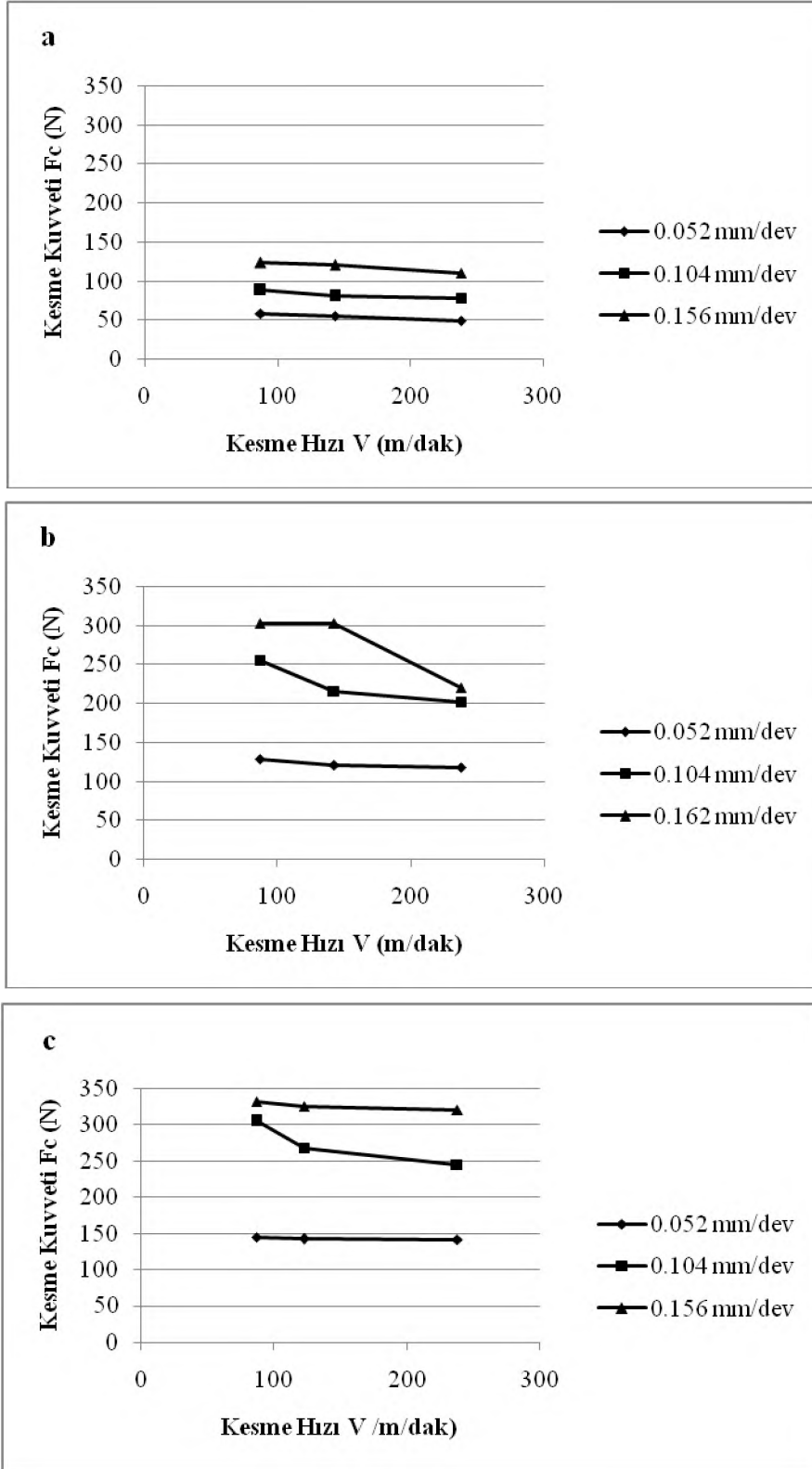
Oluşan bu grafiklerdeki genlik değerlerinin belirlenerek bu değerlerin kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliğine bağlı olarak nasıl değiştiği grafik oluşturularak yorumlanmaya çalışılmasının yanı sıra genlik değerleriyle kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri grafiklere aktarılmış olup arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği değerlerine bağlı olarak elde edilen kesme kuvveti ( $F_c$ ), genlik değeri ( $g$ ) ve ortalama yüzey pürüzlülük değeri ( $R_a$ ) değerleri, Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneysel sonuçları

Deneysel No	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Oranı (mm/dev)	Kesme Derinliği (mm)	Kesme Kuvveti (N)	Titreşim Genliği (g) x(10 <sup>-3</sup> )	Yüzey Pürüzlülüğü (µm) (Ra)
1	87	0.052	0.5	58.62	1.4	0.266
2	87	0.104	0.5	87.89	1.41	0.292
3	87	0.162	0.5	123.2	1.672	0.323
4	143	0.052	0.5	55.15	1.17	0.213
5	143	0.104	0.5	80.45	1.29	0.221
6	143	0.162	0.5	120.4	1.32	0.244
7	238	0.052	0.5	49.25	0.26	0.102
8	238	0.104	0.5	78.3	0.88	0.138
9	238	0.162	0.5	110.8	0.96	0.156
10	87	0.052	1.0	128.7	1.56	0.321
11	87	0.104	1.0	225.9	1.75	0.328
12	87	0.162	1.0	303	2.8	0.385
13	143	0.052	1.0	121	1.5	0.301
14	143	0.104	1.0	215	1.52	0.321
15	143	0.162	1.0	302	2.71	0.352
16	238	0.052	1.0	117.7	0.5	0.124
17	238	0.104	1.0	202	1.05	0.166
18	238	0.162	1.0	220.3	1.09	0.201
19	87	0.052	1.5	145.6	4	0.395
20	87	0.104	1.5	305.4	4.25	0.419
21	87	0.162	1.5	332.2	11.5	0.523
22	143	0.052	1.5	142.3	1.85	0.335
23	143	0.104	1.5	268.1	2.25	0.352
24	143	0.162	1.5	326.7	6.5	0.468
25	238	0.052	1.5	141.8	1.14	0.212
26	238	0.104	1.5	245	1.98	0.337
27	238	0.162	1.5	320	4.2	0.412

#### 4.1.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

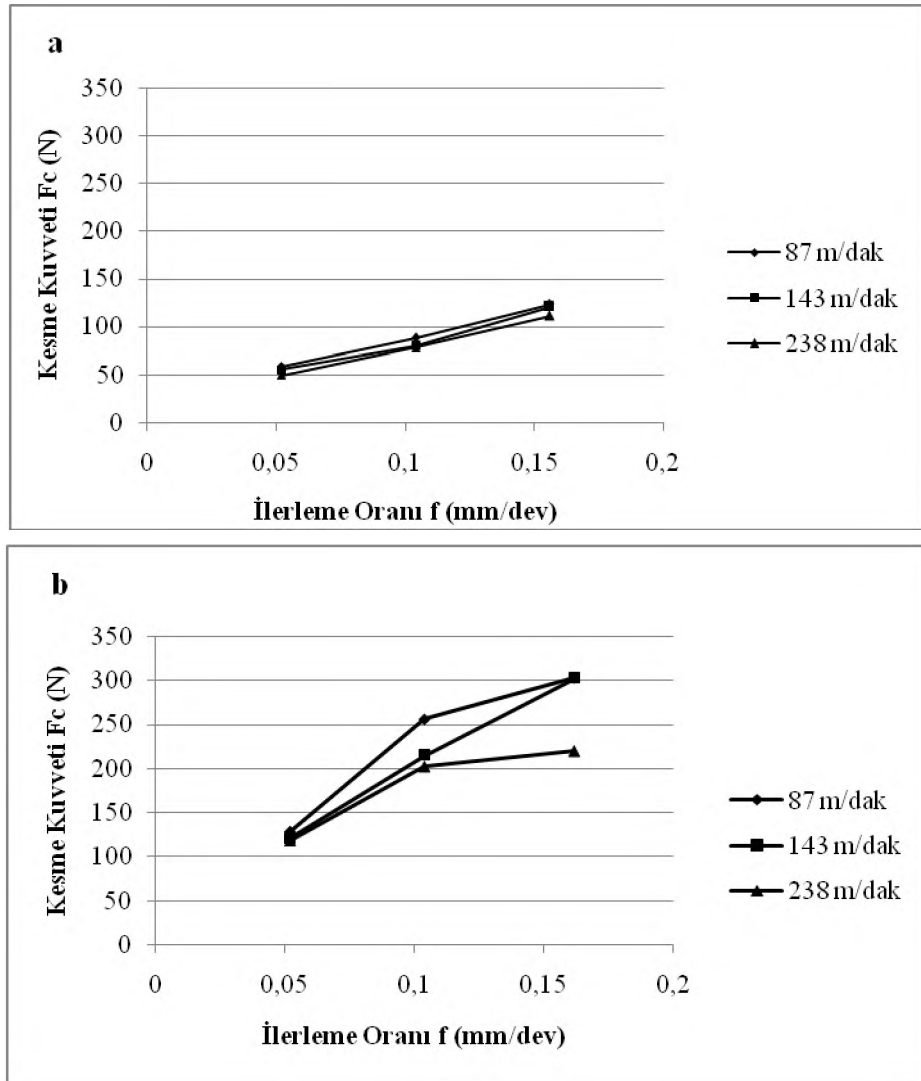
Talaş kaldırma esnasında dinamometre ile ölçülüp Dynoware programı ile grafiklere dönüştürülen kesme kuvvetlerinin kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği) bağlı olarak değişimi Şekil 4.2-Şekil 4.5'te grafiklerde gösterilmiştir.

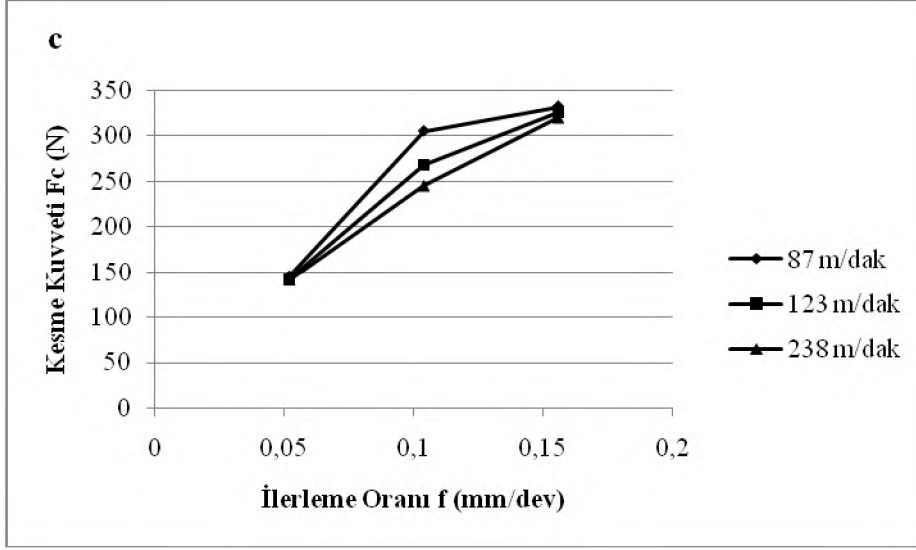


**Şekil 4.2.** Farklı kesme derinliklerinde kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı olarak değişimi (a: a= 0.5 mm, b: a= 1 mm, c: a= 1.5 mm)

Şekil 4.2. incelediğinde kesme kuvvetleri üç farklı kesme derinliğinde de kesme hızının artışıyla azaldığı görülmektedir. Yaşanan bu düşüş kesme esnasında harcanan

enerjinin hemen hemen tamamının kayma düzleminde, kesici takımın çevresinde ısı enerjisine dönüşümü ile açıklanabilir (Tekaut 2008). Bunun sebebi, kesme hızının artışıyla kayma açısı artar, daha kısa kesme alanında talaş kalınlığının azalmasıyla işlem kuvveti azalır (Chinchanikar ve Ckoudhury 2013). Kesme hızının artmasıyla kesme bölgesinde oluşan ısı artacağından dolayı malzemenin plastik şekil değişimi daha az kuvvetle olacaktır. Benzer sonuçlar Tekaut (2008) ve Chinchanikar ve Ckoudhury (2013) yaptıkları çalışmalarında da görülmüştür.



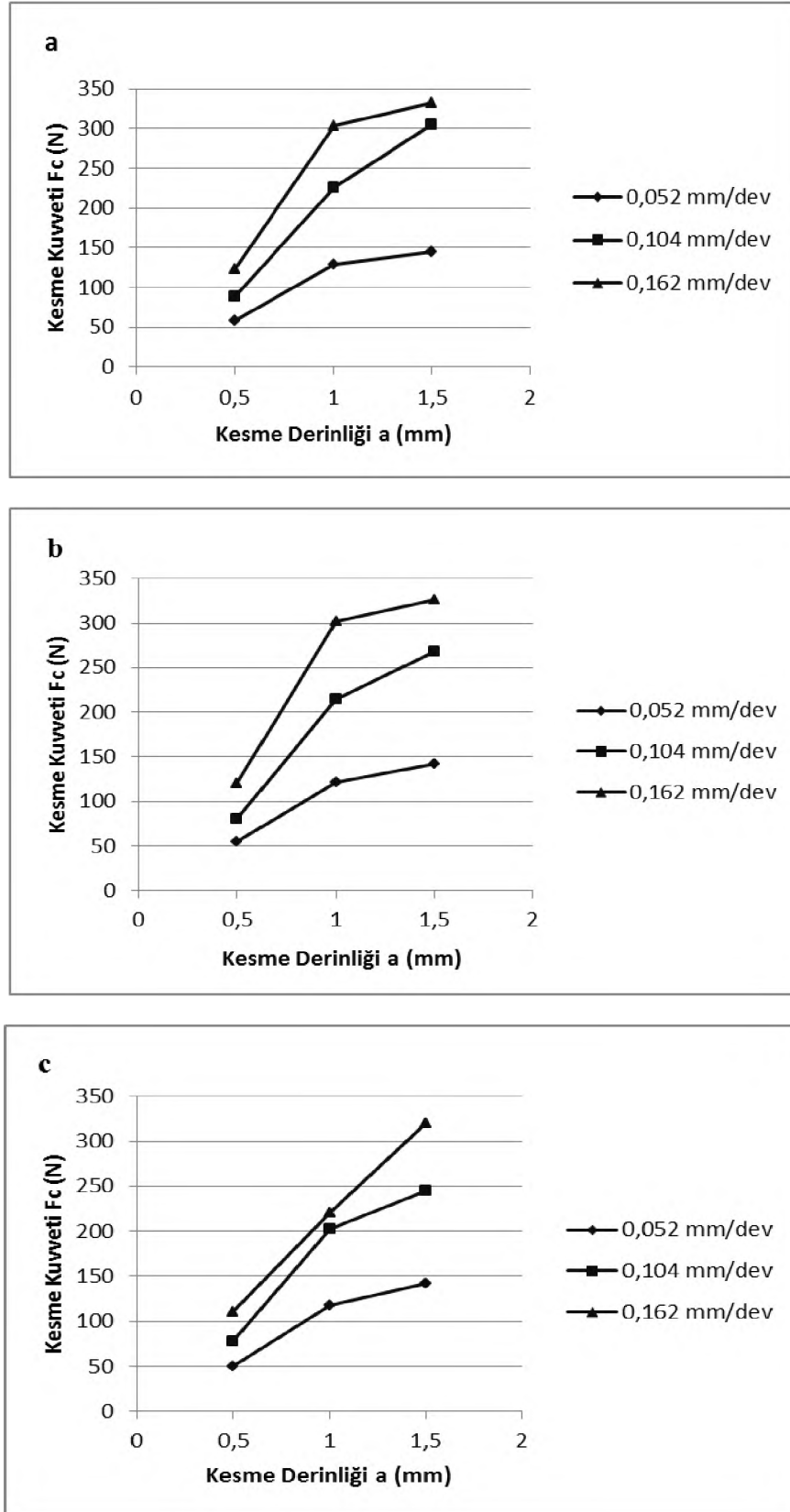


Şekil 4.3. Farklı kesme derinliklerinde kesme kuvvetinin ilerleme oranına bağlı olarak değişimi (a: a= 0.5 mm, b: a= 1 mm, c: a= 1.5 mm)

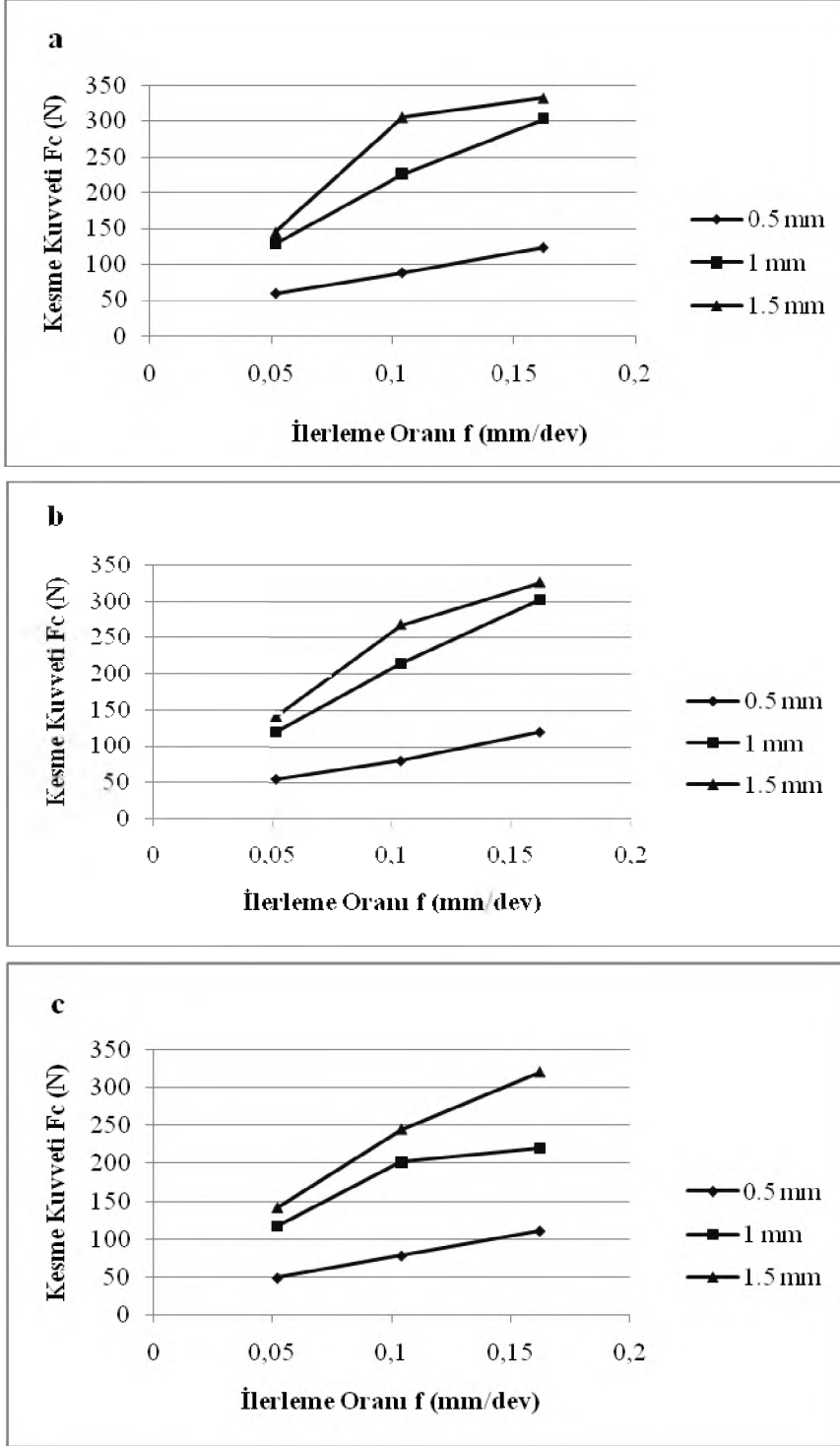
Şekil 4.3. incelendiğinde ise kesme kuvvetinin ilerleme oranının artışıyla arttığı net bir biçimde görülmektedir. Bu durum kullanılan üç farklı kesme hızı ve üç farklı kesme derinliğinde de aynıdır. İlerleme oranının artışı aynı birim zamanda kesme malzemesinin yüksek hacmine sebep olur. Ayrıca kesme kuvvetlerinde dinamik etki yaratır. Bununla birlikte talaş yüzeyi ve takımındaki talaş bağlantı bölgesi uyumunu yönetir. Bu yüzden kesme kuvvetleri ilerleme oranının artışıyla artar (Suresh ve ark. 2012). Bir başka ifadeyle iş parçası ve kesme takımı arasındaki bağlantı alanı arttığından kesme kuvveti de artar (Çakır 1999) ve (Chinchanikar ve Choudhury 2013).

Şekil 4.4. incelendiğinde de kesme kuvvetinin kesme derinliğinin artışıyla arttığı görülür. Bu durum deneylerde kullanılan üç farklı ilerleme oranlarında da aynıdır. Benzer sonuçlar Bartarya ve Choudhury (2012), Suresh ve ark. (2012), Chinchanikar ve Choudhury (2013) yaptıkları çalışmalarında görülmüştür.





Şekil 4.4. Farklı kesme hızlarında kesme kuvvetinin kesme derinliğine bağlı olarak değişimi (a:  $V = 87$  m/dak, b:  $V = 143$  m/dak c:  $V = 237$  m/dak)



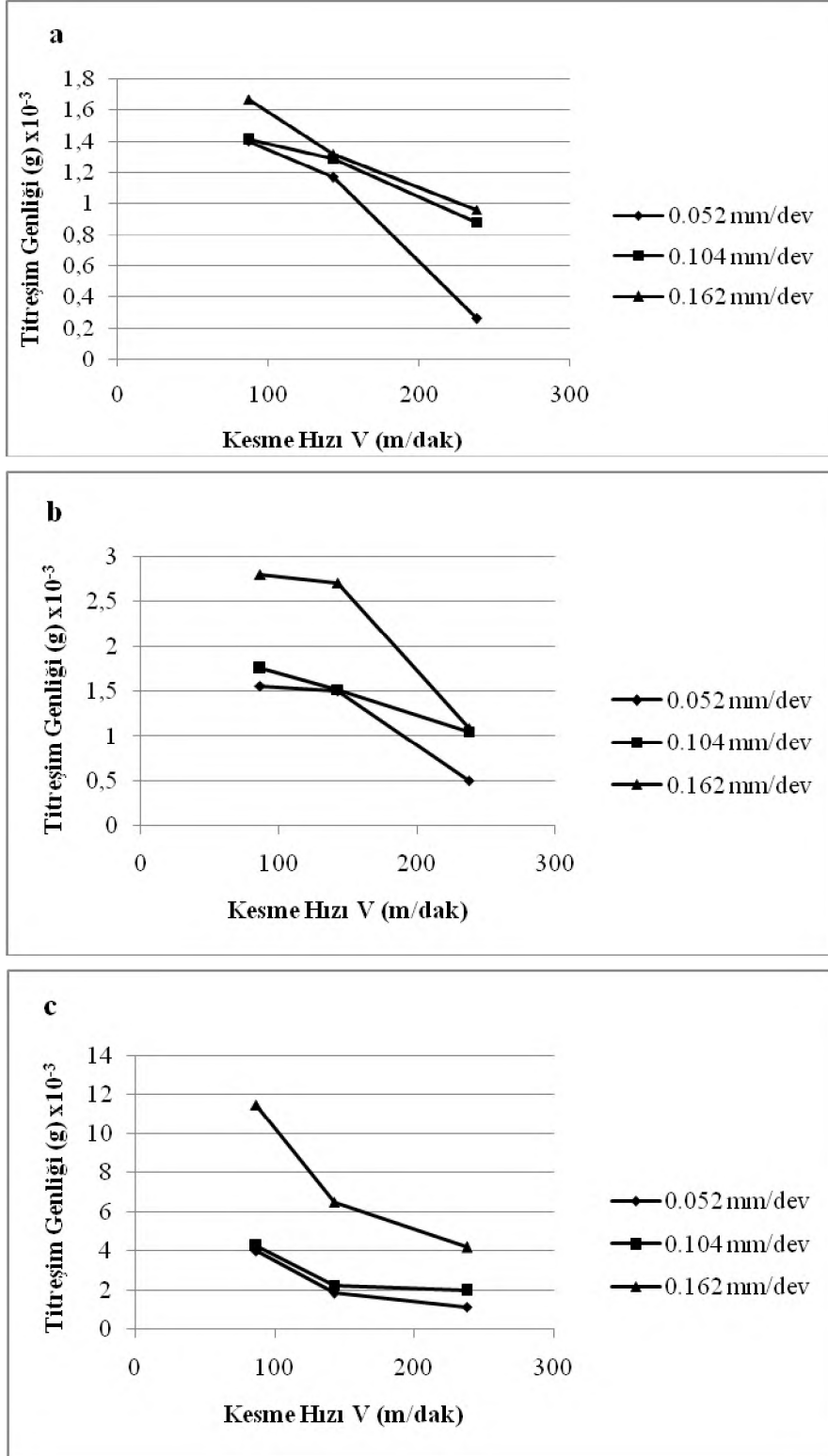
Şekil 4.5. Farklı kesme hızlarında kesme kuvvetinin ilerleme oranına bağlı olarak değişimi (a:  $V=87$  m/dak, b:  $V=123$  m/dak, c:  $V=237$  m/dak)

Şekil 4.5.'e baktığımızda kesme kuvveti her üç kesme derinliğinde de ilerleme oranının artışıyla arttığı görülmektedir. Bu durum kesici takım ile iş parçası arasındaki bağlantı alanının artmasıyla açıklanabilir. Bu durumun yine üç farklı kesme hızlarında da aynı olduğu görülmektedir. Benzer sonuçlar Bartarya ve Choudhury (2012), Suresh

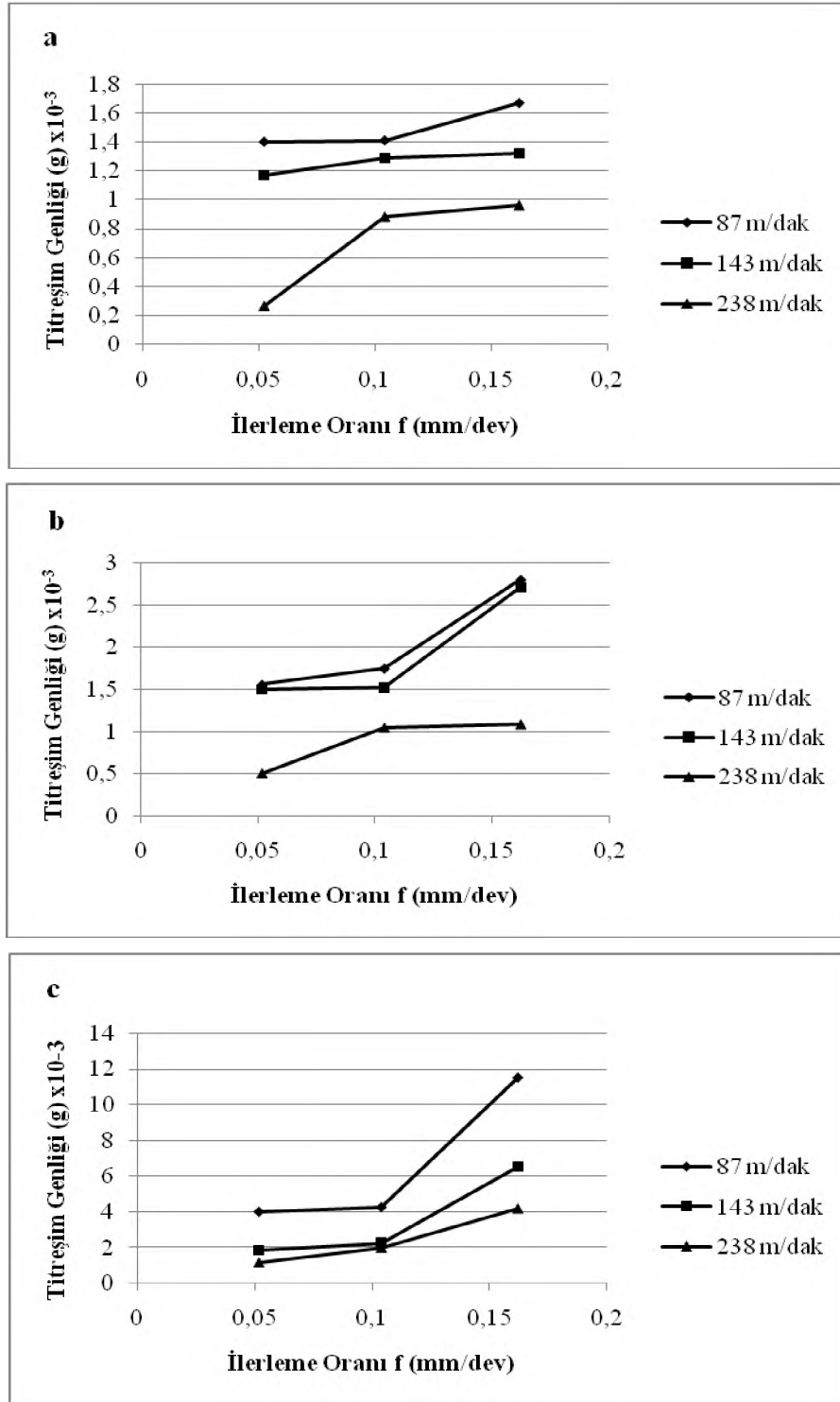
ve ark. (2012), Chinchankar ve Choudhury (2013) yaptıkları çalışmalarında da görülmüştür.

#### 4.1.2. Titreşim Genliklerinin Değerlendirilmesi

Burada titreşim genliği ile onu etkileyen kesme parametreler (kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği) arasındaki ilişki grafik oluşturularak açıklanmaya çalışılmıştır. Titreşim genliğinin üç farklı ilerleme ve üç farklı talaş kalınlığında kesme hızına bağlı olarak değişimi Şekil 4.6.'da yine aynı şekilde ilerleme oranına bağlı olarak değişimi Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Şekil 4.6.'ya baktığımızda titreşimin kesme hızıyla ters orantılı olduğu yani kesme hızının artmasıyla titreşimin azaldığı açık bir şekilde görülmüştür. Bu durum deneylerde kullanılan üç farklı ilerleme oranı ve kesme derinliği değerleri için de benzer olduğu görüldü. Şekil 4.7.'ye baktığımızda ise titreşim genliğinin ilerleme oranının artışıyla arttığını görüyoruz. İlerleme oranının artışı takım yan kenar aşınmasını arttırır bu da kesme kuvvetinin zamanla değişmesine daha doğrusu bu değişimin artmasına neden olacağından titreşimin de artmasına sebebiyet verir. Tekait (2008) yaptığı çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

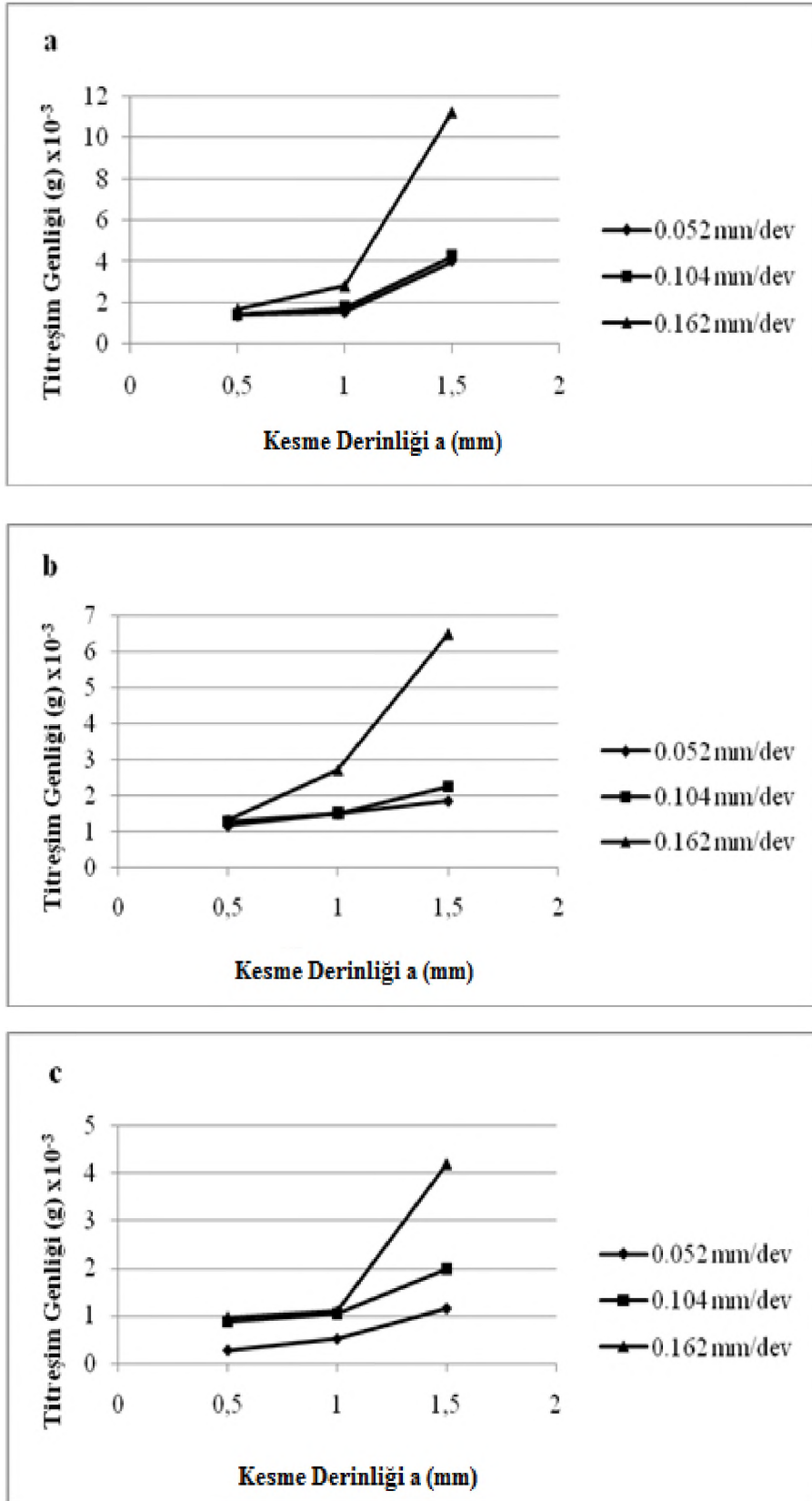


Şekil 4.6. Farklı kesme derinliklerinde titreşim genliğinin kesme hızına bağlı olarak değişimi(a: a= 0.5 mm, b: a= 1 mm, c: a= 1.5 mm)

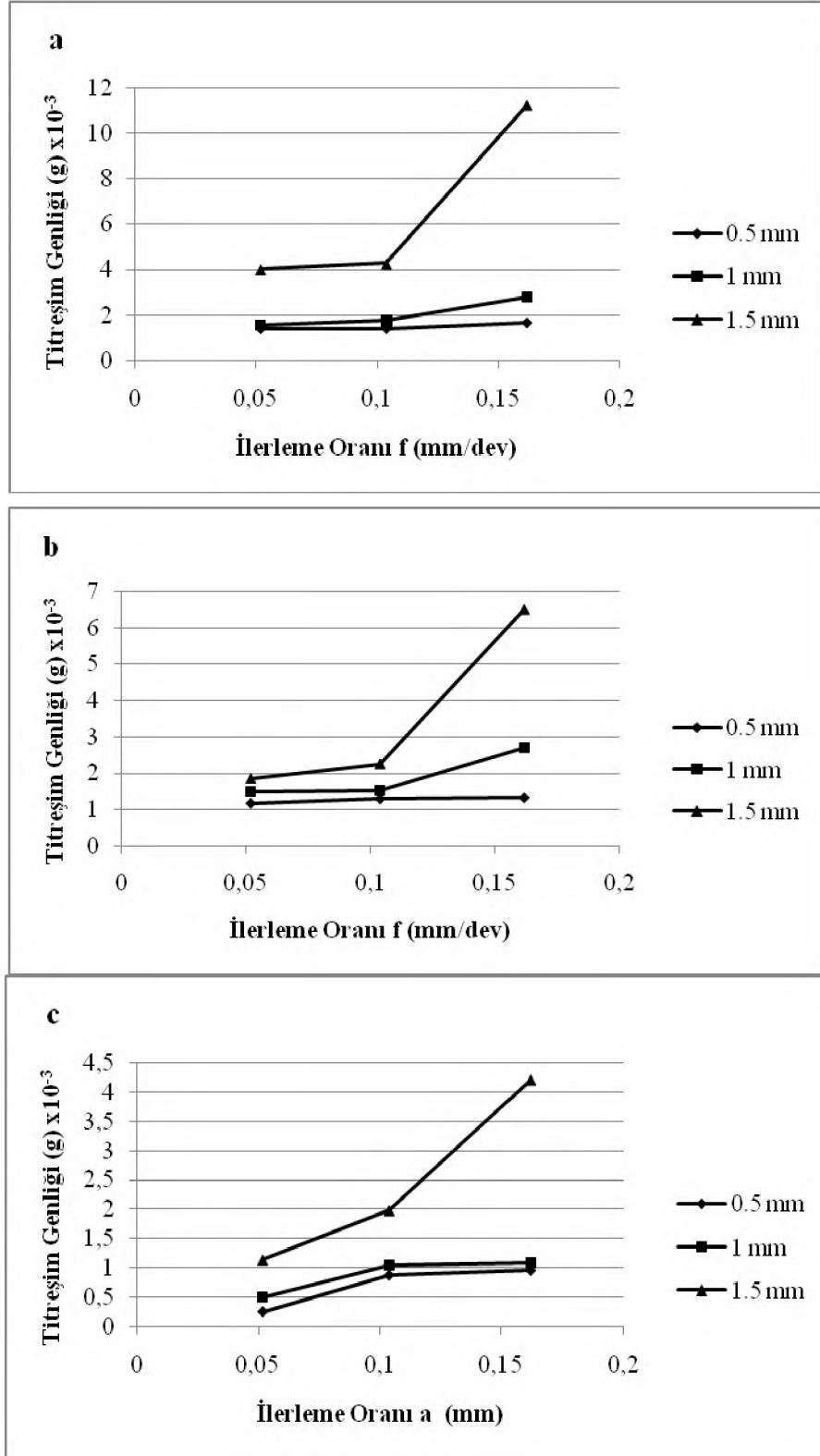


Şekil 4.7.Farklı kesme derinliklerinde titreşim genliğinin ilerleme oranına bağlı olarak değişimi (a: a= 0.5 mm, b: a= 1 mm, c: a= 1.5 mm)

Şekil 4.8.'de titreşim genliğinin üç farklı ilerleme oranında ve üç farklı kesme hızında kesme derinliği ile olan değişimi Şekil 4.8.'de ise üç farklı kesme derinliği ve üç farklı kesme hızında ilerleme oranına bağlı olarak değişimi görülmektedir.



Şekil 4.8. Farklı kesme hızlarında titreşim genliğinin kesme derinliği bağlı olarak değişimi (a: V= 87 m/dak, b: V= 143 m/dak, c: V= 238 m/dak)



Şekil 4.9. Farklı kesme hızlarında titreşim genliğinin ilerleme oranına bağlı olarak değişimi (a:  $V = 87$  m/dak, b:  $V = 143$  m/dak, c:  $V = 238$  m/dak)

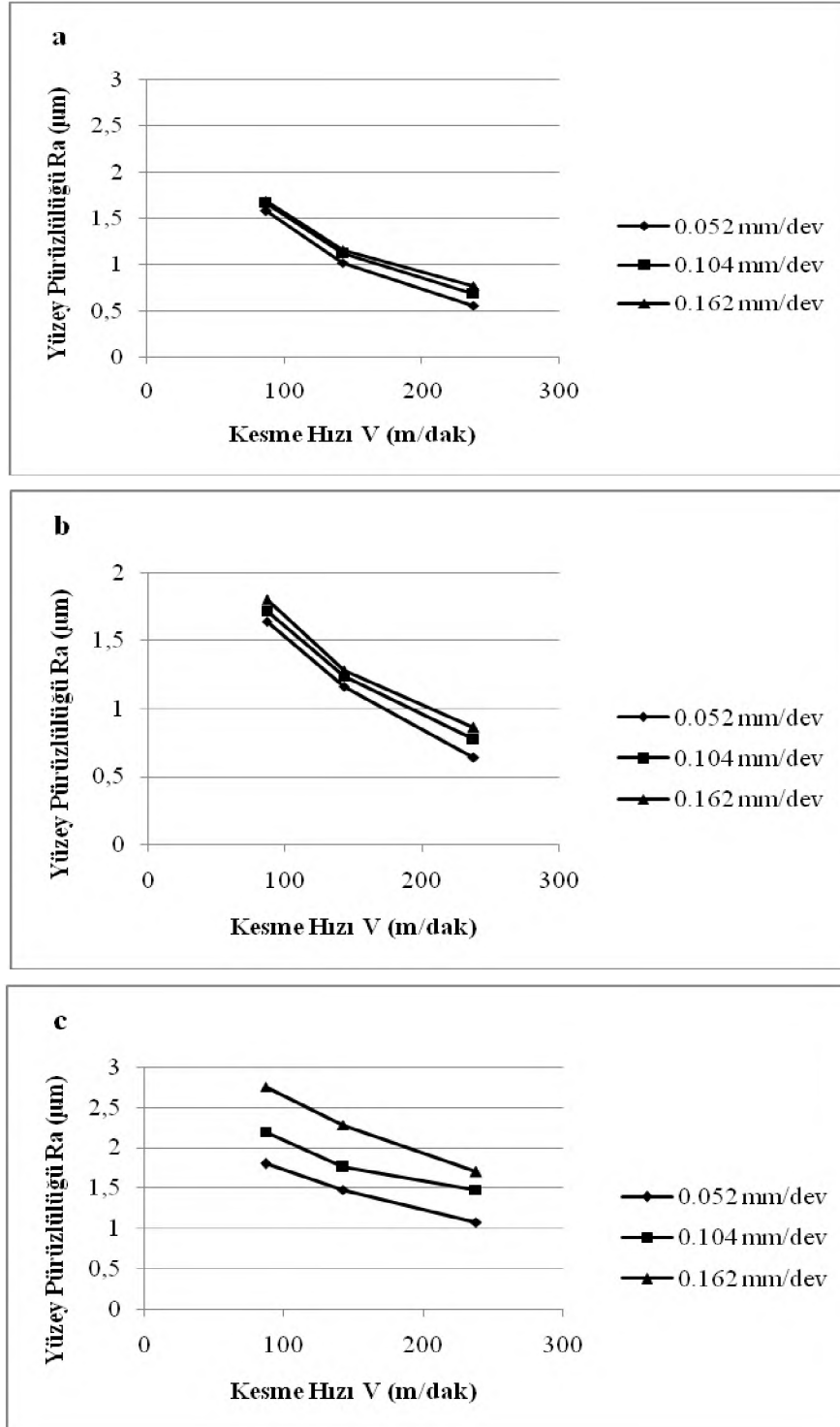
Talaş kalınlığının artışı takım ucunun etki ettiği alanın artmasıyla kesme kuvvetinin arttığını görmüştük. Kesme işlemi boyunca kesici takımda oluşan titreşimin ana nedenlerden birinin oluşan kesme kuvvetleri olduğu anlatılmaktadır. Kesme kuvvetlerinin kesme parametrelerine dayalı zamanla değişmesinden dolayı, kesici takımda aşınma meydana gelir ve bunun sonucunda da titreşimlerin oluştuğu ifade edilmiştir (El-Sinawi ve Kashani 2005). Benzer sonuçlar Thomas ve ark (1996), Rahman ve ark. (2001), Toh (2004) çalışmalarında da görülmüştür. Şekil 4.9.'a baktığımızda kesme kuvvetinin artışıyla titreşim genliğinin arttığını söyleyebiliriz. Esasında titreşim genliği işlem esnasında oluşan kesme kuvvetleriyle paralel bir şekilde ilişkili olduğu görülmektedir. Yani kesme kuvvetlerini etkileyen kesme parametrelerin titreşim genliğini de etkilediği görülmektedir. Titreşim genliği kesme kuvvetinin artışıyla arttığı görülmektedir. Dolayısıyla kesme kuvvetini artmasına sebep olan her kesme parametresinin titreşim genliğini de arttırdığı, aynı şekilde kesme kuvvetinin azalmasına sebep olan her kesme parametresinin de titreşim genliğini azalttığı görülmektedir.

#### 4.1.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

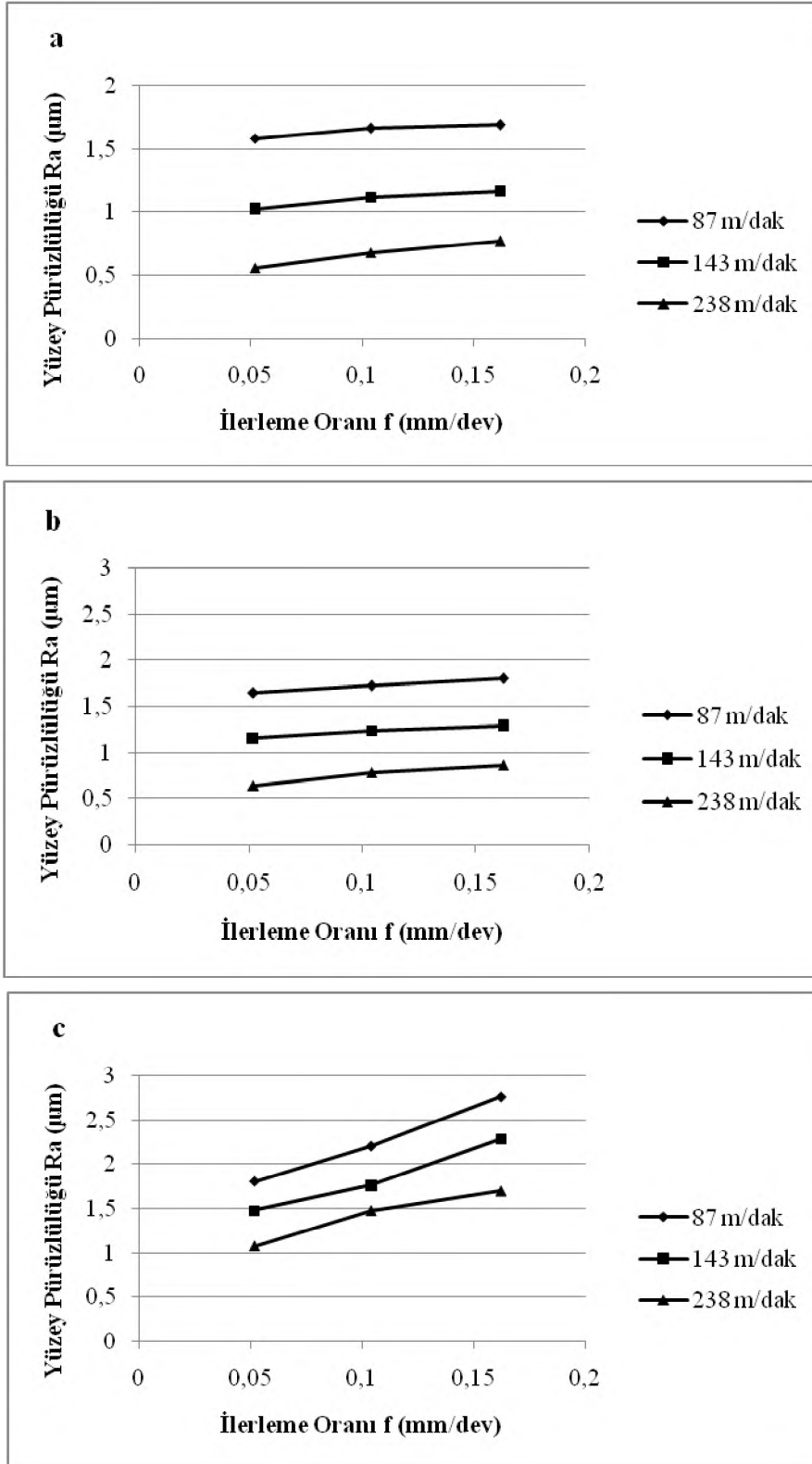
Bu bölümde yüzey pürüzlülüğünü kesme parametreleri nasıl ve ne derece etkilediği oluşturulan grafiklerle açıklanmaya çalışılmıştır. Şekil 4.10'da farklı talaş kalınlıklarında yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.11 ise yine farklı talaş kalınlıklarında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranına bağlı olarak değişimini göstermektedir. Şekil 4.10.'a baktığımızda yüzey pürüzlülüğünün kesme hızının artışıyla azaldığı görülmektedir. Bu durum kesme hızının artışıyla kesici takım ve iş parçasında ısı artacağından iş parçasını oluşturan atomlar arasındaki bağ zayıflayacağından daha az kesme kuvvetine sebep verir ve daha az titreşimin oluşmasına neden olur ki bu da yüzey pürüzlülüğünün azalmasına neden olmasıyla açıklanabilir. Bu durumun üç farklı ilerleme oranı ve kesme derinliğinde de benzer olduğu görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ve ilerleme oranı arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 4.11.'e ve Şekil 4.12.'ye baktığımızda ise yüzey pürüzlülüğü ilerleme oranının artışıyla arttığı görülmektedir. Yine ilerleme oranının artışı kesme kuvvetlerini arttırdığını, dolayısıyla titreşimin artmasına sebep olduğundan, yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olur. Yani daha iyi yüzey pürüzlülüğü düşük ilerleme oranında görüldü ve bu durum her üç kesme hızı ve kesme derinliğinde de aynı olduğu açık biçimde



görülmektedir. Benzer sonuçlar Thomas ve ark. (1996), Abouelatta ve Madl (2001), Arıtaşı (2008), Tekait (2008), Aouici ve ark. (2012), Bartarya ve Choudhury (2012), Suresh ve ark. (2012), Chinchankar ve Choudhury (2013) yaptıkları çalışmalarda da görülmüştür.

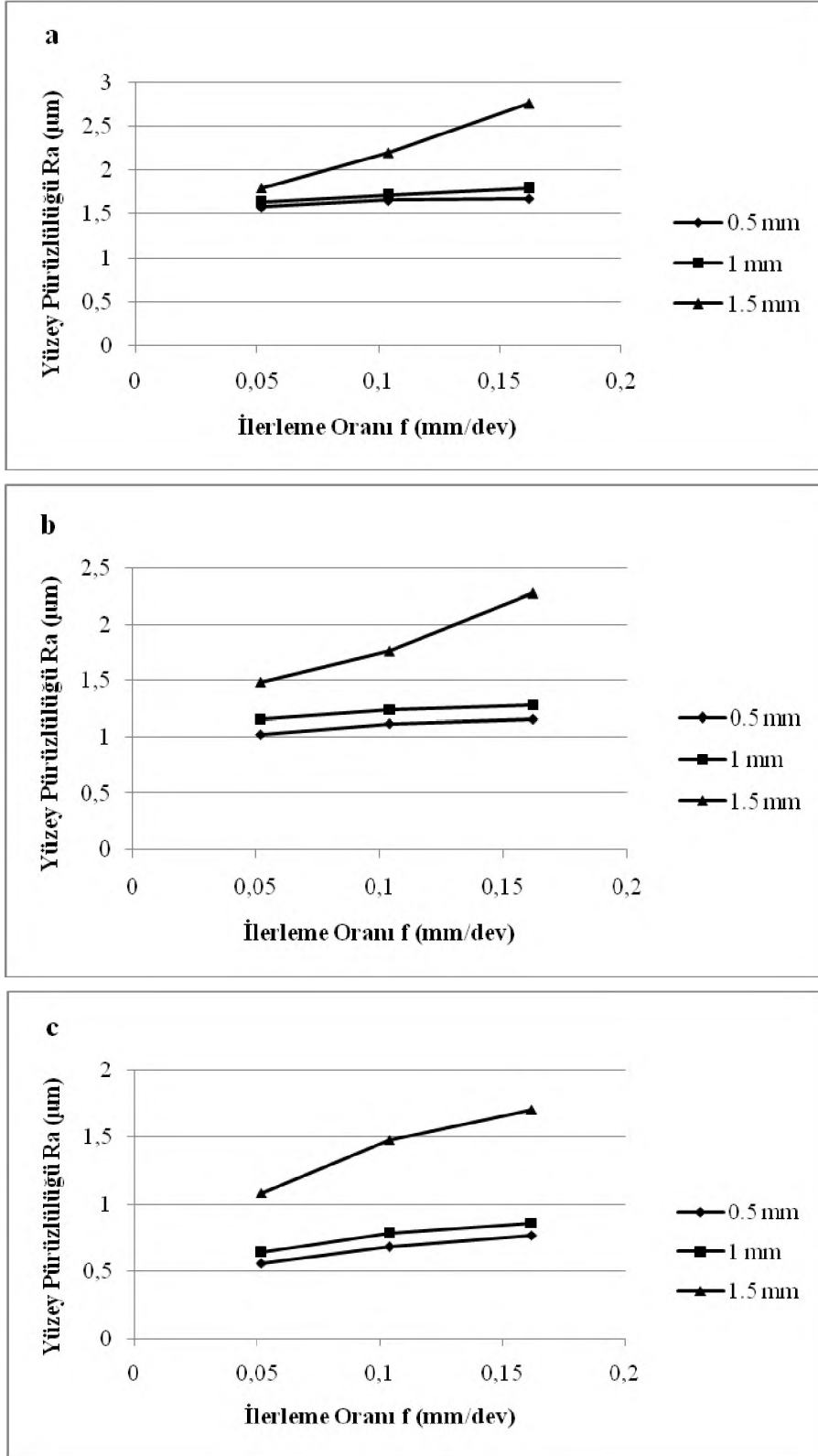


Şekil 4.10. Farklı kesme derinliklerinde yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına bağlı olarak değişimi (a: a= 0.5 mm, b: a= 1 mm, c: a= 1.5 mm)

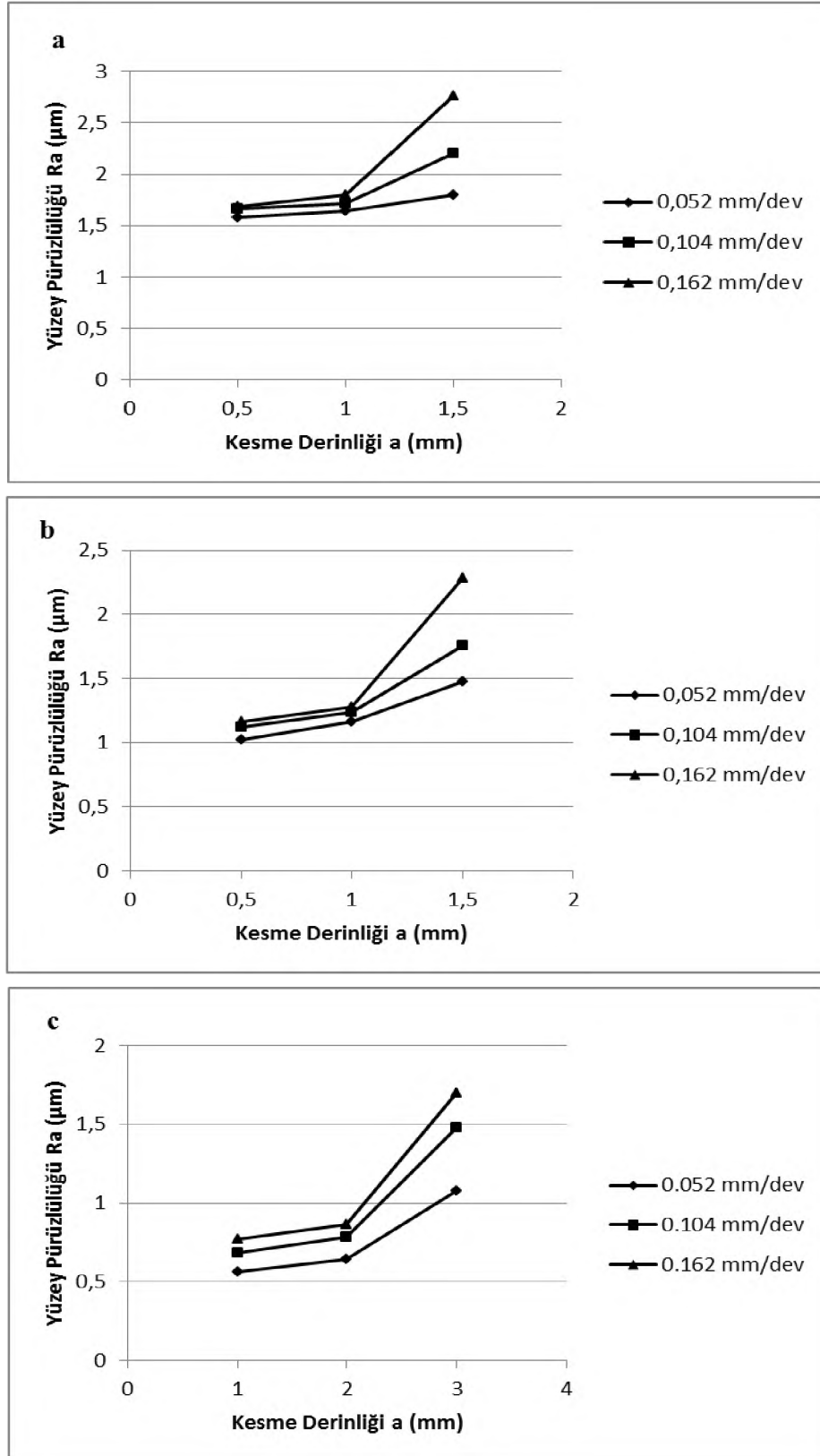


Şekil 4.11. Farklı kesme derinliklerinde yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranı bağlı olarak değişimi (a: a= 0.5 mm, b: a= 1 mm, c: a= 1.5 mm)

Şekil 4.13. ise, farklı kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün kesme derinliğine bağlı olarak değişimini göstermektedir. Şekil 4.13.'e baktığımızda yüzey pürüzlülüğünün kesme derinliğinin artışıyla arttığı görülmektedir. Bu durum yine kesme kuvvet değişimiyle oluşan titreşim değerlerinin artmasıyla açıklanabilir. Bir başka ifadeyle kesme derinliğinin artmasıyla kesme kuvveti artar, kesme kuvvetinin artmasıyla da titreşim genliklerin artmasına neden olur. Dolayısıyla artan titreşim yüzey pürüzlülüğünün kötüleşmesine sebep olur. Bu durum üç farklı kesme hızı ve ilerleme oranında da aynıdır ve benzer sonuçlar Abouelatta ve ark. (2012), Arıtaşı (2008), Aouici ve ark. (2012) yaptıkları çalışmalarında da görülmektedir.



Şekil 4.12. Farklı kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranına bağlı olarak değişimi (a:  $V= 87$  m/dak, b:  $V= 143$  m/dak, c:  $V= 238$  m/dak)



Şekil 4.13. Farklı kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün kesme derinliğine bağlı olarak değişimi (a:  $V = 87$  m/dak, b:  $V = 143$  m/dak, c:  $V = 238$  m/dak)



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Talaş kaldırma esnasında kesme parametrelerine bağlı olarak meydana gelen titreşimler ve yüzey pürüzlülüğü gibi değerlerin önceden bilinip kesme parametrelerin optimize edilerek en iyi seviyeye getirmek günümüz imalatında çok önemli hale gelmiştir. Yapılan bu optimize işlemleri sayesinde hem işlem zamanı azalır hem de oluşan titreşimler yüzünden kesici takımında görülen aşınmanın etkisi azaltılarak kesici takımın ömrü artar. Dolayısıyla maliyet önemli ölçüde düşer. Bu tez çalışmasında literatürden yola çıkılarak, talaşlı imalatta büyük bir öneme sahip yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerinden ve titreşimden nasıl ve ne derece etkilendiği değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kesme işlemi esnasında en yüksek değere ulaşan titreşim genlikleri tüm deneylerde yaklaşık 3800 Hz frekansta ortaya çıkmıştır. Bu durum yapılan deneylerin doğruluğunu ispatlar niteliktedir.
- Yapılan tüm deneylerde kesme kuvvetleri, titreşim genlikleri ve yüzey pürüzlülüğü kesme parametreleriyle (kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği) olan ilişkiyi belirlemek için grafik oluşturulmuş olup yorumlanmıştır. Tüm bu grafiklere bakıldığında kesme kuvvetleri ve titreşim genlikleri arasında bir ilişki olduğu görüldü. Ayrıca titreşim ivmesi ve yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırıldığında titreşim ivmesinin artan değerleri ile birlikte yüzey pürüzlülüğü de artış göstermiştir. Bu sonuç bize titreşimin yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.
- Kesme kuvveti ile kesme parametreleri arasındaki ilişki incelendiğinde ise, kesme hızlarının artışıyla kesme kuvvetlerinin azaldığı, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin artışıyla da kesme kuvvetlerinin arttığı tespit edilmiştir.
- Kesme kuvveti ile titreşim genlikleri karşılaştırıldığında kesme kuvvetinin kesme parametrelerine dayalı olarak zamanla değişmesiyle kesici takımında titreşime sebep verdiği ve kesme kuvvetleri ile titreşim genliği arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu belirlenmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü ile kesme parametreleri arasındaki ilişkide ise; ilerleme oranı ve talaş kalınlığının artışıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, kesme

hızının artışıyla da yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görüldü. Sonuç olarak en iyi yüzey pürüzlülüğü, yüksek kesme hızı (238 m/dak), düşük ilerleme oranı (0.052 mm/dev) ve düşük kesme derinliğinde (0.5 mm) elde edildi.

### 5.1. Öneriler

Talaş kaldırma işleminde titreşim-yüzey pürüzlülüğü ilişkisini açıklamak için yapılan bu çalışma aşağıdaki önerilerle geliştirebilir.

- Deneylede sönümleyici kullanılarak daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilebilir.
- Talaşlı imalatta büyük öneme sahip takım geometrisinden takım uç yarıçapı değişken parametre olarak alınabilir. Bu parametrenin sonuçları etkilediği belirlenip, daha az titreşim elde edilebilir.
- Kesici takımında farklı kalınlıklarda ve farklı kaplamalar kullanılarak yapılan işlemlerle titreşimi azaltıcı yönde bulgular ile ilgili çalışmalar yapılabilir.
- Günümüzde büyük sorun ve karmaşık bir kavram olan titreşimin kesme esnasında analizleri teorik olarak incelemek üzere sayısal modeller geliştirilebilir.
- Takım tutucunun bağlama uzunluğunun titreşim üzerine etkileri de araştırılabilir.
- Rezonans olmaması için iş parçasının doğal frekansı ile kesme esnasında oluşan en yüksek noktaların olduğu frekans karşılaştırılıp örtüşmemesi için çalışmalar yapılabilir.



## 6. KAYNAKLAR

Abouelatta, O.B., Madl, J. 2001. Surface roughness based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations. *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 269-277.

Akkurt, M., 2009. Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi CNC Takım ve Tezgahları ve Üretim Otomasyonu. Tiad Teknik Yayınları, Yayın No:1, Sayfa:100. İstanbul.

Altın, A., 2005. Nikel Esaslı Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenebilirliğinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 233.

Antoniali, A.I.S., Diniz, A.E., Pederiva, R. 2010. Vibration analysis of cutting force in titanium alloy milling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 50: 65–74.

Aouici, H., Yallase, M.A., Chaoui, K., Mabrouki, T., Regal, F. 2012. Analysis of surface roughness and cutting force components in hardturning with CBN tool: Prediction model and cutting conditionsoptimization. *Measurement*, 45: 344-353.

Arıtaşı, A. 2008. Dönen Takma Uçlu Kesici Takımlarla Talaşlı Şekillendirmede İşlem Parametrelerin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, İstanbul, 128.

Arsecalaratne, J.A., Fowle, R.F., Mathew, P. 1995. Nose radius oblique tool: cutting force and built-up edge prediction. *International Journal of Machine Tools Manufacture*, 0890-6955, 00065-8.

Badrowy, S. 2003. Techology Update Principal Engineer Cinciretti Machine.AUNONA Campany, Cincinnati, OH, United States, 4-7.

Bartarya, G., Choudhury, S.K. 2012. Effect of cutting parameters on cutting force and surface roughness during finish hard turning AISI 52100 grade steel. *Procedia CIRP*, 1: 651 – 656.

Bazrov, B.M. 1977. Garyushin, V.E. Elimination of chatter during turning operation using self adaptive control system. *Stanki İlinstrum*, 3-4.

Beauchamp, Y., Thomas, M., Youssef A.Y., Masounave, J. 1995. Investigation of cutting parameter effects on surface roughness in lathe boring operation by use of a full factorial design. *Computers and Industrial Engineering*, 31:645-651.

Beer, F.P., Johnston, E.R. 2003 *Mühendisler için Mekanik, Dinamik*. Birsen Yayınevi, 356-357. İstanbul

Belmonte, M., Oliveira, F.J., Sacramento, J., Fernandes, A.J.S., Silva, R.F. 2004. Cutting forces evolution with tool wear in sintered hardmetal turning with CVD diamond. *Diamond and Related Materials*, 13: 843–847.

Chang FX. 2001. An Experimental Study of the Impact of Turning Parameters on Surface Roughness. *Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference*, GA, 2036.

S, Chinchankar., S,K, Choudhury. 2013. Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach. *Measurement*, 46:1572–1584.

Choudhury, S.K., Goudimenko, N.N., Kudinov, V.A. 1997. On-line control of machine tool vibration in turning. *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 37: 801-811.

Çağlayan, H.İ. 2005. *Titreşim Sözlüğü Ansiklopedisi*. Vibra Tek Firması, 2-4.

Çakır, C.M. 1999. *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*. Ceylan Matbaacılık, 32-36. Bursa, Türkiye.

Çelik, L. 2010. *Taşlama İşleminde Titreşimin İzlenmesi Ve Yüzey Pürüzlülüğünün Regresyonla Modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 133.

Demir, K., Yüzey Pürüzlülüğü ve Pürüzlülüğün Ölçülmesi, Mezuniyet Tezi, Gazi Üniversitesi, 26:40-44 (2002).

Devillez, A., Schneider, F., Dominiak, S., Dudzinski, D., Larrouquere, D. 2007. Cutting forces and wear in dry machining of Inconel 718 with coated carbide tools. *Wear*, 262: 931–942.

Dimla Sr., D.E., Lister, P.M. 2000. On-line metal cutting tool condition monitoring I: force and vibration analyses. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40:739–768.

Dimla Sr., D.E. 2004. The impact of cutting conditions on cutting forces and vibration signals in turning with plane face geometry inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156, 1708-1715.

El-Sinawi, A.H., Kashani, R. 2005. Improving surface roughness in turning using optimal control of tool's radial position. *Journal of Materials Processing Technology*, 167: 54-61.

Ghani, A.K., Choudhury, I.A. 2002. Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool. *Journal of Materials Processing Technology*, 17-22.

Ghani, J.A., Choudhury, I.A., Hassan, H.H. 2004. Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 145: 84–92.

Güllü A. , (1995), Silindirik Taşlamada İstenilen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güngör, O. 2011. Kesici Takım Titreşimlerinin Gerçek Zamanlı İzlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 104.

Hessainia, Z., Belbah, A., Yallese, M.A., Mabrouki, T., Rigal, J.F. 2013. On the prediction of surface roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations. *Measurement*, 46: 1671–1681.

Jang, D.Y., Choi, Y.G., Kim, H.G., Hsiao, A., 1996. Study of the corelation between surface roughness and cutting vibrations to develop an online roughness measuring tecnique in hard turning. *International Journal of Machine Tools manufacture*, Vol. 36(4), 453-464.

Jang, J.L., Tarnq, Y.S. 1999. A study of the active vibration control of a cutting tool. *Journal of Materials Processing Technology*, 95:78-82.

Jin, M., Murakawa, M. 2001. Development of a practical ultrasonic vibration cutting tool system. *Journal of materials processing Technology*, 113: 342-347.

Kevin Chou, Y., Song, H. 2004. Tool nose radius effects on finish hard turning. *Journal of Materials Processing Technology*, 148:259–268.

Kıvık, T., Habalı, K., Şeker, U., 2010. Inconel 718'in delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerindeki etkisinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 293-295.

Kiyak, M., Kaner, B., Sahin, I., Aldemir, B., Cakir, O. 2010. The dependence of tool overhang on surface quality and tool wear in the turning process. *International Journal of Advance Manufacture Technology*, 51:431–438.

Lally J. 2001. Accelerometer selection considerations charge and integral electronic piezoelectric, Technical Note, Vibration Division.

Li, K.M., Liang, S.Y. 2007. Modeling of cutting forces in near dry machining under tool wear effect. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47:1292–1301.

Lin, H.M., Liao, Y.S., Wei, C.C. 2008. Wear behavior in turning high hardness alloy steel by CBN tool. *Wear*, 264:679–684.

- Lin S.C., Hu, M.R. 1992. Low vibration control system in turning. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 32: 627-629.
- Lipski, J., Litak, G., Rusinek, R., Szabelski K., Teter A., Warminski, J., Zaleski, K. 2002. Surface quality of a work materials influence on the vibrations of the cutting Process. *Journal of Sound and Vibration*, 729-737.
- Liu, K., Li. X.P., Rahman, M. 2003. CBN tool wear in ductile cutting of tungsten carbide. *Wear*, 255:1344–1351.
- Nath, C., Rahman, M., Neo, K.S. 2009. A study on the effect of tool nose radius in ultrasonic elliptical vibration cutting of tungsten carbide. *Journal of Materials Processing Technology*, 209:5830–5836.
- Neşeli, S., 2007. Tornalamada Yaklaşma Açısı ve Talaş Açısına Bağlı Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 146.
- Neşeli, S., Yıldız, S., Türkeş, E. 2011. Optimization of tool geometry parameters for turning operations based on the response surface methodology. *Measurement*, 44:580–587.
- Neşeli, S., Asiltürk, İ., Yıldız, S., Sağlam, H. 2012. Tornalama İşleminde Cevap Yüzey Metodu ile Kesme Kuvvetlerinin Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Modellenmesi. 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Ankara.
- Orhan, S., Er, A.O., Camuşcu, N., Aslan, E. 2007. Tool wear evaluation by vibration analysis during end milling of AISI D3 cold work tool steel with 35 HRC hardness. *NDT&E International*, 40:121–126.
- Pratt, J.R. 1997. *Vibration Control for Chatter Suppression with Application to Boring Bars* Virginia Polytechnic Institute and State University, 12-15.
- Rahman, M., Mansur, M.A., Lau, S.H. 2001. Tool wear study in a lathe made of cementitious material. *Journal of Materials Processing Technology*, 113:317-320.

Risbood, K.A., Dixit, U.S., Sahasrabudhe, A.D. 2003. Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process. *Journal of Materials Processing Technology*, 132:203–214.

Sadek, M.M. 1974. Stability of Orthogonal Cutting Process on a Center Lathe. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 12: 547-560.

Saxena, J.P. 1982. Effect of machining conditions on cutting tool vibrations, *Advances in Machine Tool Design and Manufacturing Technology*. Proceedings of the 10th All India Machine Tool Design and Research Conference, Durgapur, 98-106, India.

Scarr A.J.T., (1991), "Metrology and Precision Engineering", Mc. Graw-Hill Publishing Company Limited. New York.

Scheffer, C., 1999. Monitoring of Tool Wear In Turning Operations Using Vibration Measurements. Submitted In Partial Fulfilment of the Requirements For the Degree Eng In The Faculty of Engineering, University of Pretoria, Pretoria.

Srejith, P.S., Ngoi, B.K.A. 2000. Dry cutting. *Journal of Materials Processing Technology*, 101:287-291.

Suresh, R., Basavarajappa, S., Samuel, G.L. 2012. Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert. *Measurement*, 45: 1872–1884.

Tarn, Y.S., Kao, J.Y., Lee, E.C. 2000. Chatter suppression in turning operations with a tuned vibration absorber. *Journal of Materials Processing Technology*, 55-60.

Taşkesen, A. 2003. Dik Kesme Esnasında Takım Tezgahı Titreşiminin Teorik Olarak Analizi. Doktora Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 143.

Tekaüt, İ. 2008. Takım Tezgâhlarındaki Kesici Takım Titreşiminin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. Yüksek Lisans Tezi Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 103.

Thomas, M., Beauchamp, Y., Juneja, B.L., Pujara, K.K., Sager, R. 1993. Prediction of surface roughness for turning using only controlled cutting parameters. CAD, CAM, Robotics and Autonomous Factories, TATA McGraw-Hill, Delhi, 1:517-526.

Thomas, M., Beauchamp, Y., Youssef, A.Y., Masounave, J., Professor, Mechanical Engineering Department. 1996. Effect Of Tool Vibrations On Surface Roughness During Lathe Dry Turning Process. S0360-8352, 00235-5.

Thomas, M., Beauchamp, Y. 2003. Statistical investigation of modal parameters of cutting tools in dry turning. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43: 1093–1106.

Tobias, S.A. 1965. Machine-Tool Vibration. Michigan University, 151-153, Blackie Glasgow.

Toh, C.K. 2004. Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel. Journal of Sound and Vibration, 278:101–115.

Tugrul, O., Tsu-Kong, H., Erol, Z. 2005. Effect of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel. International Journal of Advanced Manufacturing Technologies, 25:262-269.

Uysal, A., Altan, E. 2013. Experimental investigation of cutting forces in orthogonal cutting using rounded edge worn tool. Journal of Engineering and Natural Sciences. Sigma 31:350-362.

Venkata Rao, K., Murthy, B.S.N., Mohan Rao, N. 2013. Cutting tool condition monitoring by analyzing surface roughness, work piece vibration and volume of metal removed for AISI 1040 steel in boring. Measurement, S0263-2241, 00320-5.

Wang, L.J., Zhao, J. 1987. Influence of Surface Roughness in Turning with Ultrasonic Vibration Tool. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 27:181-190.

Xiao, M., Karube, S., Soutome, T., Sato, K. 2002 Analysis of Chatter Suppression in Vibration Cutting. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42:1677-1685.

Xiao, M., Sato, K., Karube, S., Soutome, T. 2003. The effect of tool nose radius in ultrasonic vibration cutting of hard metal. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43:1375–1382.

Young-Bin, P. 2006. *Machining Processes and Cutting Tool Design*. Department of Industrial and Manufacturing Engineering. FAMU-FSU College of Engineering, Florida, USA, 33-42.

Zhang, S., Li, J.F., Wang, Y.W. 2012. Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions. *Journal of Cleaner Production*, 32:81-87.



## ÖZGEÇMİŞ

### **Kişisel Bilgiler**

**Adı Soyadı** : Abdullah TURAN  
**Doğum yeri ve tarihi:** Doğanşehir 06/06/1988  
**Medeni hali** : Bekar  
**E mail** : [abdullahturanturan@outlook.com](mailto:abdullahturanturan@outlook.com)

### **Eğitim Durumu**

**Lise** : Yunus Emre Lisesi 2001-2004  
**Lisans** : Uludağ Üniversitesi/Makine Mühendisliği Bölümü 2005-2010

### **Çalıştığı Kurum/Kurumlar**

Şırnak Üniversitesi (Arş. Gör.) 2010  
Akdeniz Üniversitesi (Dil Eğitimi) 2010-2011  
Şırnak Üniversitesi (Arş. Gör.) 2011-2013  
Dicle Üniversitesi (Arş. Gör.) 2013-Devam ediyor.

### **Yabancı Dil**

İngilizce