

**FREZELEME UYGULAMALARINDA
İŞLEME PARAMETRELERİNİN SEBEP OLDUĞU
TİTREŞİMLERİN İNCELENMESİ**

Volkan YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ BÖLÜMÜ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2009
ANKARA**

**FREZELEME UYGULAMALARINDA
İŞLEME PARAMETRELERİNİN SEBEP OLDUĞU
TİTREŞİMLERİN İNCELENMESİ**

Volkan YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ BÖLÜMÜ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2009
ANKARA**

Volkan YILMAZ tarafından hazırlanan FREZELEME UYGULAMALARINDA İŞLEME PARAMETRELERİNİN SEBEP OLDUĞU TİTREŞİMLERİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

Tez Danışmanı , Makine Eğitimi Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üni.

Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üni.

Doç. Dr. İhsan KORKUT

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üni.

Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üni.

Yrd. Doç. Dr. Bülent BOSTAN

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üni.

Tarih: 28/09/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Volkan YILMAZ

**FREZELEME UYGULAMALARINDA İŞLEME
PARAMETRELERİNİN SEBEP OLDUĞU TİTREŞİMLERİN
İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Volkan YILMAZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2009

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, frezeleme operasyonlarında, işleme parametrelerinin takım tezgahında oluşan titreşimlere ve elde edilen yüzey kalitesine etkisini araştırarak en uygun işleme parametrelerini belirlemektir. İşleme parametreleri olarak 132, 220, 308 m/min kesme hızı, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 mm/tooth ilerleme, 1, 1.5 mm kesme derinliği ve 1, 2, 4 kesici uç sayısı kullanılmıştır. Bu işleme parametreleri ile 100x50x20 mm ebatlarında AISI 1050 deney malzemesi üzerinden talaş kaldırılmıştır. Toplam 72 adet deney yapılmıştır. Talaş kaldırma işlemleri esnasında titreşimler, kesme kuvvetleri ve daha sonra yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda, meydana gelen kesme kuvvetleri ve titreşim ivme seviyeleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinde meydana gelen değişiklikler incelenerek bir değerlendirme yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen kesme hızı-titreşim ivme seviyesi ve kesme hızı-yüzey pürüzlülük değerleri ile ilerleme miktarı-titreşim ivme seviyesi ve ilerleme miktarı-yüzey pürüzlülük grafikleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar ise titreşim ivme seviyeleri-yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Titreşim ivme seviyelerinin artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde de bir artış görülmüştür. Bu durum titreşimlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki olumsuz

etkisini ortaya koymuştur. Yine bu çalışmada, kesme derinliği ve kesici diş sayısının artması ile tüm deneylerde ki titreşim ivme seviyelerinde istisnasız olarak bir artış görülmüştür. Kesme derinliği ve kesici uç sayısının, iş parçası ile kesici takım arasındaki temas alanını arttırdığından dolayı sistemde oluşan titreşim frekanslarını da arttırdığı tespit edilmiştir. Farklı frezeleme işlem parametreleri değerlendirildiğinde; en düşük titreşim ivme seviyesi için en uygun işleme parametresi 132 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1 mm kesme derinliği ve 1 adet kesici uç sayısı olmuştur. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri için en uygun işleme parametresi ise 308 m/min kesme hızı ve 0.05 mm/tooth ilerleme miktarları ve 1 adet kesici uç sayısı olmuştur.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Titreşim, kesme kuvveti, frezeleme, yüzey przllğ
Sayfa Adedi : 110
Tez Yneticisi : Yrd. Do. Dr. Hakan DİLİPAK

INVESTIGATION OF VIBRATIONS RESULTING FROM THE MACHINING PARAMETERS AT MILLING OPERATIONS

(M.Sc. Thesis)

Volkan YILMAZ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

October 2009

ABSTRACT

Aim of this study is determining most suitable parameter of manipulation via investigation effect of parameters of manipulation to vibrations which occur on machine tool and surface quality which is obtained in operations of milling. 132, 200, 308 m/min cutting speed, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 mm/tooth proceeding, 1,1.5 mm depth of cutting and 1,2,4 cutting edge number were used. Operation was done on these parameters of manipulation and AISI 1050 test equipment which has 100x50x20 dimensions. 72 tests were made in total. Vibrations, cutting powers, and then roughness values of surface were measured during operation of lifting of chipping. As result of these measures, an assessment was made through investigation of alterations which occur on roughness of surface depend on relationship between occurred cutting powers and acceleration levels of vibration. Tendency overlap each other in graphics brings up the relationship between acceleration level of vibration and roughness values of surface when cutting speed-acceleration level of vibration and cutting speed-roughness values of surface, proceeding amount-acceleration level of vibration and proceeding amount-roughness values of surface graphics which obtained as result of tests are compared in aspect of acceleration levels of vibration and roughness values of surface. When acceleration levels of vibration raised, a raise was also observed in roughness values of surface. This situation showed that negative

effect of vibrations on roughness of surface. Again in this study, a raise was seen on acceleration level of vibration unexceptionally in all tests with raise of depth of cutting and cutting tooth number. Since depth of cutting and number of cutting tooth have been raising contact area between work piece and cutting team, it was determined that it also has been raising frequencies of vibration which occurred in system. When different milling operation parameters were evaluated; for minimum acceleration level of vibration, most suitable parameter of manipulation became 132m/min cutting speed, 0.05 mm/tooth proceeding amount, 1 mm depth of cutting and 1 cutting edge. And for minimum roughness value of surface, most suitable parameter of manipulation became 308m/min cutting speed, 0.05 mm/tooth proceeding amount and 1 cutting edge.

Science Code : 708.3.028

Key Words : Vibration, cutting force, surface roughness, milling

Page Number: 110

Adviser : Assistant Prof. Dr. Hakan DİLİPAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK ve bilgilerinden yararlandığım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın deneysel çalışmalarında katkı sağlayan Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT, Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY, Arş. Gör. Gültekin UZUN, , Öğr. Gör. Hacı Bekir ÖZERKAN ve Serhan AÇIKEL ile araştırmanın yazım aşamasında desteklerini esirgemeyen Okt. Ceren YAMAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu tezi 41/2008-04 kodlu proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine de teşekkür ederim.

Başta ailem olmak üzere, desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen Bostancı ve Yıldırım ailelerine de saygı ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xx
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Yapılan Çalışmalar.....	3
2.2. Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi.....	18
3. TİTREŞİM.....	20
3.1. Titreşimin Tanımı.....	20
3.2. Titreşim Çeşitleri.....	24
3.2.1. Periyodik titreşimler.....	25
3.2.2. Periyodik zorlanmış titreşim hareketi.....	28
3.2.3. Rasgele titreşimler.....	34
3.2.4. Şok.....	35
3.3. Titreşimin Ölçülmesi.....	36
3.3.1. Titreşim seviyesi.....	39
3.3.2. Titreşim birimleri.....	40

Sayfa

4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	42
4.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemi	42
4.2. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	43
4.3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Diğer Önemli Faktörler	43
4.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemleri	44
4.5. Milli Standartlar	46
5. MALZEME VE METOT	48
5.1. Deneysel Çalışma	48
5.1.1. Kesici takım ve takım tutucu	48
5.1.2. Deney malzemeleri	48
5.2. Freze Takım Tezgâhı	48
5.3. Ölçme Cihazları	49
5.3.1. Titreşim ölçme cihazı	49
5.3.2. Kuvvet ölçme cihazı	50
5.3.3. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı	52
5.4. Deney Değişkenleri	53
5.5. Deneylerin Yapılışı	54
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	56
6.1. Giriş	56
6.2. Deneysel Veriler	56
6.3. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi	60
6.3.1. Kesme hızının etkisi	60
6.3.2. İlerleme miktarının etkisi	65

	Sayfa
6.3.3. Kesme derinliğinin etkisi	69
6.3.4. Kesici diş sayısının etkisi	81
6.3.5. Titreşimin etkisi.....	84
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
7.1. Sonuçlar	87
7.2. Öneriler	90
KAYNAKLAR.....	92
EKLER	97
EK-1.....	98
ÖZGEÇMİŞ	110

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri	45
Çizelge 4.2. Yüzey kalitesini değerlendirmekte kullanılan milli standartlar	46
Çizelge 4.3. Seçilen imalat yöntemlerinin yüzey pürüzlülüğü aralıkları	47
Çizelge 5.1. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi	48
Çizelge 5.2. Commtest VB 3000 titreşim cihazının teknik özellikleri.....	49
Çizelge 5.3. Titreşim sensörü teknik özellikleri.....	49
Çizelge 5.4. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri.....	51
Çizelge 5.5. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri	52
Çizelge 5.6. Deneylerde kullanılacak işleme parametreleri	53
Çizelge 6.1. İşleme parametrelerine bağlı olarak elde edilen x yönündeki kesme kuvveti bileşeni (N), titreşim ivme seviyesi (RMS) ve yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri	57

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İşleme deney düzeneğinin şematik gösterimi	5
Şekil 2.2. Tasarlanan ayna palet sistemi ve sistemin dinamik modeli	7
Şekil 2.3. a) Uygulanan paletli sistemin aktif kontrol şeması b) Paletli sistem 1) Paletin görünümü ve mengeneye bağlantısı 2) deneyler esnasında çelik işparçasına bağlanmış paletli sistem	8
Şekil 2.4. a) Kesme koşullarında takım titreşim ölçümü için deney düzeneğinin şematik gösterimi, b) Takım tutucunun ve üzerindeki LASER ölçme noktasının resmi.....	9
Şekil 2.5. Farklı dönme hızında işlenmiş yüzeylerin mikroskop altında ki görünümleri b) Modellenen işparçası yüzeyleri.....	11
Şekil 2.6. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	14
Şekil 2.7. a) Bir serbestlik dereceli kesme modeli b) Kuvvet diyagramı.....	16
Şekil 2.8. a) 2 boyutlu freze çakısının dinamik modeli b) Jirokobik hareketin oluşmadığı ve oluştuğu durumlarda kesme derinliğinin takım mili dönme hızına bağlı olarak değişimi	17
Şekil 2.9. Kesici-takım mili çiftinin dönme esnasında salgısal hatalarının tespiti için önerilen ölçme sistemi.....	18
Şekil 3.1. Basit Sarkaç.....	20
Şekil 3.2. Titreşim Sistemi	21
Şekil 3.3. Titreşim hareketinin zaman ve frekans düzleminde gösterilmesi	22
Şekil 3.4. Serbest Titreşim	24
Şekil 3.5. Sinüzoidal titreşim hareketi	25
Şekil 3.6. Yer değiştirme, hız ve ivme dalgaları.....	26
Şekil 3.7. Sönümsüz serbest titreşim sistemi	27
Şekil 3.8. Sönümsüz serbest titreşim hareketi.....	27

Şekil	Sayfa
Şekil 3.9. Sönümlü serbest titreşim sistemi.....	28
Şekil 3.10. Sönümlü Serbest titreşim hareketi	28
Şekil 3.11. Sönümsüz zorlanmış titreşim sistemi.....	29
Şekil 3.12. Sönümsüz zorlanmış titreşim sisteminde iletkenlik eğrisi	30
Şekil 3.13. Sönümlü zorlanmış titreşim sistemi	31
Şekil 3.14. Sönümlleme değeri ve frekanslar oranına bağlı olarak çizilen iletkenlik eğrileri	33
Şekil 3.15. Rasgele titreşim sinyalleri	34
Şekil 3.16. Şok sinyali	35
Şekil 3.17. Titreşim ivme sensörü (Akselometre) iç yapısı	37
Şekil 3.18. Bir genliğin pik seviyesi ile RMS seviyesinin karşılaştırılması	39
Şekil 3.19. Titreşim seviyelerinin tarifi	40
Şekil 3.20. İvme, yer değiştirme ve hız titreşim birimleri.....	41
Şekil 5.1. Dinamometre ve freze tezgahı üzerindeki Fx, Fy ve Fz yönleri	50
Şekil 5.2. Kistler 9257B tipi dinomometro ile zaman bağlı ölçülen kesme kuvvetleri	51
Şekil 5.3. Kistler 9257B tipi dinomometro ile zaman bağlı ölçülen ayrıntılı kesme kuvvetleri	51
Şekil 5.4. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi.	52
Şekil 6.1. 132 m/min kesme hızı, 0.05 mm/rev ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları.....	60
Şekil 6.2. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 1 kesici uç ile kesme kuvvetlerindeki değişim	61
Şekil 6.3. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 2 kesici uç ile kesme kuvvetlerindeki değişim	61

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 4 kesici uç ile kesme kuvvetlerindeki değişim	61
Şekil 6.5. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 1 kesici uç ile titreşim ivme seviyelerindeki değişim.....	63
Şekil 6.6. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 2 kesici uç ile titreşim ivme seviyelerindeki değişim	63
Şekil 6.7. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 4 kesici uç ile titreşim ivme seviyelerindeki değişim.....	63
Şekil 6.8. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 1 kesici uç ile ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	64
Şekil 6.9. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 2 kesici uç ile ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	65
Şekil 6.10. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 4 kesici uç ile ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	65
Şekil 6.11. 132 m/dak kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	66
Şekil 6.12. 220 m/dak kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	67
Şekil 6.13. 308 m/min kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	67
Şekil 6.14. 132 m/dak kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	68
Şekil 6.15. 220 m/dak kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	68
Şekil 6.16. 308 m/min kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	69
Şekil 6.17. 132 m/min kesme hızında ve 1 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	70
Şekil 6.18. 132 m/min kesme hızında ve 2 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim.....	70

Şekil	Sayfa
Şekil 6.19. 132 m/min kesme hızında ve 4 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	70
Şekil 6.20. 220 m/min kesme hızında ve 1 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	71
Şekil 6.21. 220 m/min kesme hızında ve 2 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	71
Şekil 6.22. 220 m/min kesme hızında ve 4 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	72
Şekil 6.23. 308 m/min kesme hızında ve 1 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	72
Şekil 6.24. 308 m/min kesme hızında ve 2 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	72
Şekil 6.25. 308 m/min kesme hızında ve 4 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim	73
Şekil 6.26. 1 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	73
Şekil 6.27. 2 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim.....	74
Şekil 6.28. 4 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	74
Şekil 6.29. 1 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	75
Şekil 6.30. 2 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	75
Şekil 6.31. 4 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	75
Şekil 6.32. 1 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	76
Şekil 6.33. 2 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	76

Şekil	Sayfa
Şekil 6.34. 4 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	76
Şekil 6.35. 1 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	77
Şekil 6.36. 2 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	77
Şekil 6.37. 4 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	78
Şekil 6.38. 1 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	78
Şekil 6.39. 2 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	78
Şekil 6.40. 4 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	79
Şekil 6.41. 1 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	79
Şekil 6.42. 2 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	80
Şekil 6.43. 4 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim	80
Şekil 6.44. 132 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim	81
Şekil 6.45. 220 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim.....	81
Şekil 6.46. 308 m/min kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim.....	82
Şekil 6.47. 132 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	83
Şekil 6.48. 220 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	83

Şekil	Sayfa
Şekil 6.49. 308 m/min kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	83

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.2. Frezeleme deneylerinde çelik iş parçasına 4 tane TVD’ nin bağlandığı ve titreşim hareketlerinin üç eksenli ivmeölçerle tespit edildiği deney düzeneğinin görünümü	6

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
V	Kesme Hızı (m/min)
f	İlerleme (mm/tooth)
F_x	X yönündeki kesme kuvveti bileşeni (N)
F_y	İlerleme kuvveti (N)
F_z	Kesme kuvveti (N)
r	Takım uç yarıçapı (mm)
a	Talaş derinliği (mm)
b	Talaş genişliği (mm)
k_c	Özgül kesme kuvveti (N/mm ²)
τ_k	Kopma mukavemeti (N/mm ²)
Φ	Kayma düzlemi açısı (°)
δ_c	İş-yüzey eğimi (°)
τ_s	Kayma gerilmesi (N/m ²)
L	Örnekleme uzunluğu (mm)
R_a	Ortalama pürüzlülük (μm)
$R_{max} (R_y)$	En büyük pürüzlülük (μm)
α	Boşluk açısı (°)
α_{ne}	Efektif boşluk açısı (°)
α_p	Arka/sırt talaş açısı (°)
β	Kama açısı (°)
γ	Talaş açısı (°)
γ_{ne}	Efektif talaş açısı (°)

Simgeler**Açıklama**

ω	Açısal frekans
ω_n	Tabii açısal frekans
δ	Sönümleme katsayısı
α	Titreşim genliği
μ	Üst üste binme faktörü
T	Periyot
F	Titreşim frekansı
W	Ağırlık
k	Yay sabiti
D	İş parçası çapı
F	Kuvvet
A	İvme
M	Kütle
I	Amper
mV	Milivolt
R	Direnç

Kısaltmalar**Açıklama**

Al_2O_3	Alüminyum oksit
TiC	Titanyum karbür
BUE	Built-up Edge (Talaş yapışması ve sıvanması)
EKG	Elektrokardiogram
TVD	Tuned Viscoelastic Damper (Ayarlamalı viskoelastik sönümleyici)
FFT	Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
SLE	Surface Location Error (Yüzey konumlama hatası)
RMS	Root Mean Squared (Ortalama kara kök)
P	Pik (en üst seviye)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı sayısal denetim)

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji, imalatın arzu edilen şartlarda yapılmasını gerektirmektedir. İmalat sanayinde iş parçalarının talaş kaldırılarak şekillendirilmesinde en çok kullanılan takım tezgâhları torna ve freze tezgâhlarıdır. Takım tezgâhları içerisinde önemli bir yere sahip olan freze tezgâhı, doğrusal bir ilerleme hareketi yapmakta olan iş parçası üzerinden, kendi eksenini etrafında dairesel bir hareket yapan kesici takımın talaş kaldırması mantığıyla çalışmaktadır.

Talaş kaldırma işleminin temel amacı, kesilen parçayı istenilen ölçü ve şekle getirmektir. Metal bir kesici takımın, metal bir iş parçasını kestiği göz önüne alındığında, talaş kaldırma işleminin oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır. Daha sert olan metalin daha yumuşak olanı kesmesi prensibine dayanan talaş kaldırma işleminin, iş parçasının arzu edilen yüzey kalitesi ve ölçü tamlığında olması vb. şartları da yerine getirmesi gerekmektedir. En uygun talaş kaldırma şartlarının sağlanabilmesi, kesme parametrelerinin iyi belirlenmesi ile mümkün olacaktır.

İmalat sanayi, kısa sürede, arzu edilen kalitede ve minimum maliyetle parça imalatını hedeflemektedir. Bu amaç kapsamında, yeni ve modern imalat yöntemleri geliştirilmiştir. Bunun yanında talaş kaldırma işlemlerinin en uygun şartlarda gerçekleştirilmesi içinde çalışmalar devam etmektedir.

İmalatta maliyeti etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerin içerisinde en önemlilerinden bir tanesi takım ömrüdür. Takım ömrünün ise en çok etkilendiği etkenlerden biri ise titreşimdir. Titreşim takım ömrünü olumsuz yönde etkilemesinin yanında yüzey kalitesine de olumsuz etkileri vardır.

Freze tezgahında kesme işlemi yapılırken meydana gelen kesme kuvveti; kesici kenarlar (dişler) arası mesafe, konum açısı, iş parçası geometrisi, iş mili sehimi, talaş derinliği, talaş genişliği, ilerleme miktarı, kesme hızı ve aşınma gibi birçok faktörlere bağlı olarak kesme işlemi boyunca dönme açısına bağlı olarak değişir. Bu da sistemde sürekli titreşimin oluşmasına neden olur. Bu titreşim, tezgahın mekanik

veya tezgah tespitinden gelen titreşimlerden farklıdır. Çünkü bu titreşim direkt olarak tezgah parametreleri ve kesme şartlarına bağlıdır. Tezgahın çalışma şartlarına bağlı olarak kesme kuvveti değerlerinde meydana gelen ani değişiklikler, birim zamanda kaldırılan talaş miktarı, simetrik ve asimetrik kesme şartlarına bağlı olarak titreşim genliğinde de değişime sebep olur. Bunun sonucu olarak bozuk bir işleme kalitesi elde edilir. Bu bakımdan arzu edilen işleme kalitesini maksimum tezgah kapasitesini kullanarak elde edecek optimum kesme şartlarının sağlanması freze tezgahlarında işleme sıkıntısının ve doğan problemlerin esasını teşkil etmektedir. Bu amaçla, iyi bir yüzey kalitesine sahip olmak için; ilerleme hızı, talaş derinliği, kesme hızı, takım çapı, kesici takım geometrisi, iş malzemesi, konum açısı, simetrik veya asimetrik çalışma durumu, takım-tezgah çiftinin dinamik karakteristikleri, baglama sistemi ve takım kesme yüzeylerindeki aşınmanın gelişimi gibi kesici takım ve iş parçası arasındaki titreşim genliğini istenilen kaliteyi elde etmeyi sağlayacak şekilde optimum kesme şartlarını belirlemek gerekir [1].

Bu çalışmanın amacı, işleme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesici uç sayısı, vb.) bağlı olarak oluşan titreşimleri ve bu titreşimlerin sonucunda iş parçası malzemesinde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini deneysel olarak ortaya çıkartmaktır. Elde edilecek olan veriler ayrıntılı bir şekilde ele alınarak, freze takım tezgahlarında işleme parametrelerinin, freze takım tezgahında meydana gelen titreşimlere ne kadar etki ettiğini ve bu etkilerin sonucu olarak yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişiklikleri belirlemek ve bu titreşimlerin en az seviyede olması ve aynı zamanda yüzey kalitelerinin iyileştirilmesi için ideal kesme parametrelerini oluşturmaktır.

Bu amaçla, günümüz imalat sanayisinde çok fazla kullanılan AISI 1050 çelik malzeme Bering marka TPKN 2204 PDR PK6030 TiN kaplı karbür kesici uç ile çeşitli işleme parametreleri (132, 220, 308 m/min kesme hızları, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarları, 1 ve 1.5 mm kesme derinlikleri ve 1, 2 ve 4 adet kesici uç sayıları) kullanılarak frezeleme işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen veriler ile titreşim ivme seviyeleri- yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki ilişki irdelenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Yapılan Çalışmalar

Takım tezgahları ile malzeme üzerinden talaş kaldırma işlemleri esnasında meydana gelen ve kontrol edilemeyen titreşimler, elde edilen ürünlerdeki ölçü tamlığını, yüzey kalitesini, kesici takım ömrünü ve takım tezgahını etkilemektedir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar, talaş kaldırma işlemi esnasında meydana gelen bu tür titreşimlerin son derece karmaşık bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Talaşlı imalat işlemleri sırasında meydana gelen ve kontrol edilemeyen titreşimler, iş parçası yüzey kalitesinin bozulmasına, iş parçası ölçü tamlığının istenilen hassasiyette elde edilememesine, kesici takımın erken aşınmasına ve kırılmasına, takım tezgahı bileşenlerinin zarar görmesine ve yüksek gürültülere sebep olmaktadır. Yapılan çalışmalar talaşlı imalat işlemleri esnasında oluşan titreşimlerin karmaşık bir yapıda olduğunu ortaya koymuştur [1]. Talaşlı imalat işlemleri sırasında meydana gelen titreşimler genel olarak zorlamalı titreşim (forced vibration) ve kendinden tahrikli titreşim (self-excited vibration) olarak ikiye ayrılmaktadır.

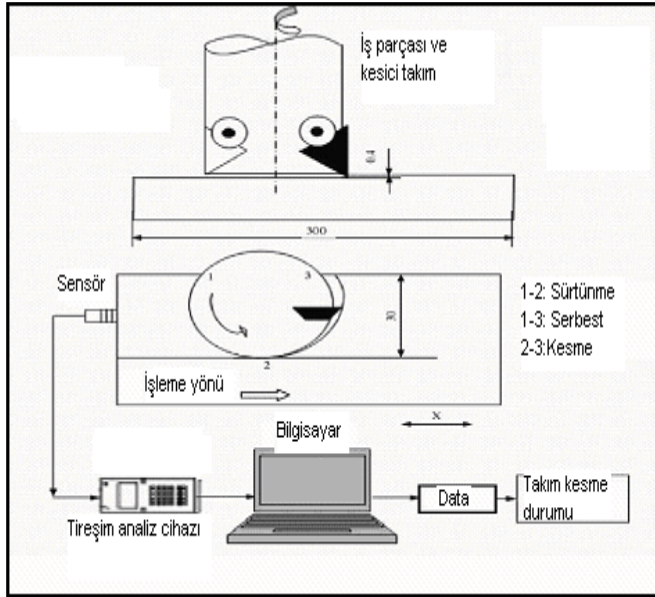
Zorlamalı titreşim, genellikle takım tezgahının tahrik sistemlerinden, bileşenlerinin dengesizliğinden, yanlış ayarlamalardan, motor ve pompalardan kaynaklanan bazı periyodik kuvvetler sonucu meydana gelmektedir. Frezeleme işlemleri esnasında veya üzerinde kama kanalı olan silindirik bir milin tornalanması esnasında, kesici takımın periyodik olarak kesme yapması sonucunda zorlamalı titreşim meydana gelir. İşleme parametrelerini ve kesici takım geometrisini değiştirmek, zorlamalı titreşimi azaltmada önemli metotlardan bir tanesidir. Genel olarak tırlama (chatter) olarak da isimlendirilen kendinden tahrikli titreşim, talaş kaldırma işlemi ile takım tezgahı yapısının etkileşiminden kaynaklanır. Kendinden kaynaklı titreşim çoğunlukla çok yüksek bir genliğe sahip olup, iş parçası yapısındaki düzensizliklerden, oluşan talaşın şeklindeki değişikliklerden (testere dişi görünümünde bir talaş) veya takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme şartlarının değişmesinden meydana gelmektedir. Kendinden tahrikli titreşimler genel olarak sistemin dinamik rijitliğinin artırılması ve sönümleme

ile kontrol altına alınabilir. Takım tezgahları farklı frekanslarda farklı rijitliklere sahip olduğu için kesme parametrelerindeki değişim kendinden tahrikli titreşimi doğrudan etkilemektedir [2].

Yüksek hızlarda frezeleme işlemleri esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri ile bu sırada oluşan titreşimlerin incelendiği bir çalışmada araştırmacılar, normal kesme hızlarında yapılan talaş kaldırma işlemlerinde meydana gelen kuvvetlerin ve işleme parametrelerinin tespiti için, kesme parametrelerini incelemenin yeterli olacağını belirtmişlerdir. Fakat bu durumun yüksek hızlarda talaş kaldırma işlemlerinde yeterli olmadığını bildirmişlerdir. Yüksek hızla talaş kaldırma şartlarında, işlenen parçaların şekil tamlığı ve yüzey kalitesine, kesme işlemleri esnasında meydana gelen ve kontrol edilemeyen titreşimlerin etkisinin büyük olduğunu ve bu şartlarda yapılan talaş kaldırma işlemlerinin gerçek anlamda incelenerek iyileştirme yapılabilmesi için, titreşimlerinde dikkate alınmasının son derece önemli ve gerekli olduğu vurgulanmaktadır. Kesme işlemleri esnasında meydana gelen titreşimlerin en büyük sebeplerinden birinin, kesici ekseninin sapması olduğu belirtilmiştir. İşlemler sonrasında elde edilen deneysel veriler hazırlanan bir program ile ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Buna göre, işlenen yüzeyin pürüzlülük değerleri ile deneysel verileri işleyip benzetim elde eden algoritmanın sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak deneysel veriler ile simülasyon program sonuçlarının yaklaşık olarak aynı olduğu ve kesme işlemi esnasında oluşan titreşimlerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir parametre olduğu görülmüştür [3].

35 HRC serliğinde AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesi esnasında titreşim analizi ile takım aşınmasının değerlendirildiği bir çalışmada, titreşim değerleri sadece işleme yönünde ölçülmüş, diğer iki yönden daha baskın sinyallerin işleme yönünde olduğu ifade edilmiştir. İşleme analizörü üzerine monte edilen bir ivmelendirme sensörü (Şekil 2.1) ile ölçümler alınarak takım aşınması takımçı mikroskobu ile incelenmiş olup gözlemlenen en önemli olgunun takım aşınmasının artmasıyla birlikte titreşim genliğinin de arttığı ifade edilmiştir. Bu durumun özellikle titreşim değişmesinin izlenmesi esnasında apaçık olduğu ve birinci diş geçme esnasında oluşan titreşim frekansının (30.3 MHz) üç katı değerindeki

frekansta (90.9 MHz) yapılan işlemlerde takım aşınması hakkında en iyi bilginin elde edildiği vurgulanmıştır. Sonuçlar yan aşınma değeri $160\mu\text{m}$ ye yaklaştıkça titreşim genliğinde belirgin bir artış olmadığı ve bu değer üzerinde önemli ölçüde titreşim genliklerinde artış meydana geldiğini göstermiştir [4].

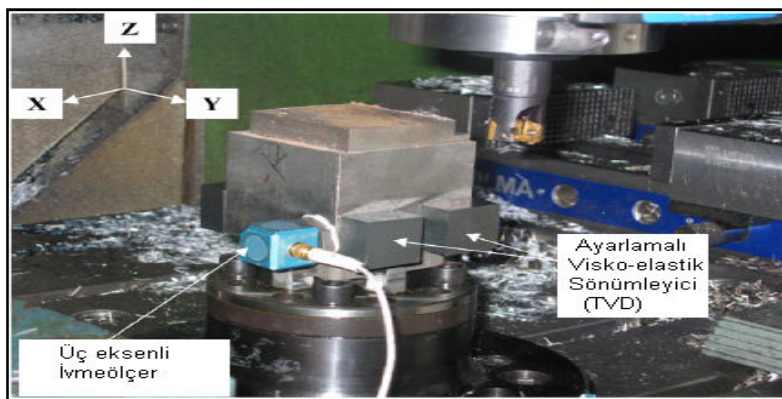


Şekil 2.1. İşleme deney düzeneğinin şematik gösterimi [4]

Talaşlı imalat alanında son yıllarda elde edilen üstün teknolojik gelişmeler, bu alandaki imalatı oldukça iyi bir düzeye çıkarmasına rağmen, hala işleme performansını etkileyen birçok sorun mevcuttur. Takım-iş parçası ara yüzeyinde fiziksel temasın varlığından ve takım tezgahlarının hareketli elemanlarından (motor, dişli kutusu, kızak kayıt sistemleri v.b) kaynaklanan titreşimler kesici uçta etkisini göstererek yüzey kalitesini ve işleme performansını olumsuz etkilediği bir gerçektir. Ayrıca tezgahların üzerine monte edildikleri zeminden gelen dış etkilerin oluşturduğu titreşimler de tezgahın bütünlüğünden dolayı işleme esnasında kesici uçta titreşim olarak kendini hissettirmekte ve kesme performansını olumsuz olarak etkilemektedir. Kesici takım titreşimleri, işlenen parça yüzeyinde kötü yüzey kalitesi ve ölçü hassasiyetine, kesici takımın çabuk aşınmasına ve kırılmasına sebep olduğu ve daha da önemlisi takım tezgahına önemli ölçüde zarar verdiği bilinmektedir [4-8]. Talaşlı imalat yöntemleriyle işlenen malzemelerin yüzey kalitesini artırmak için

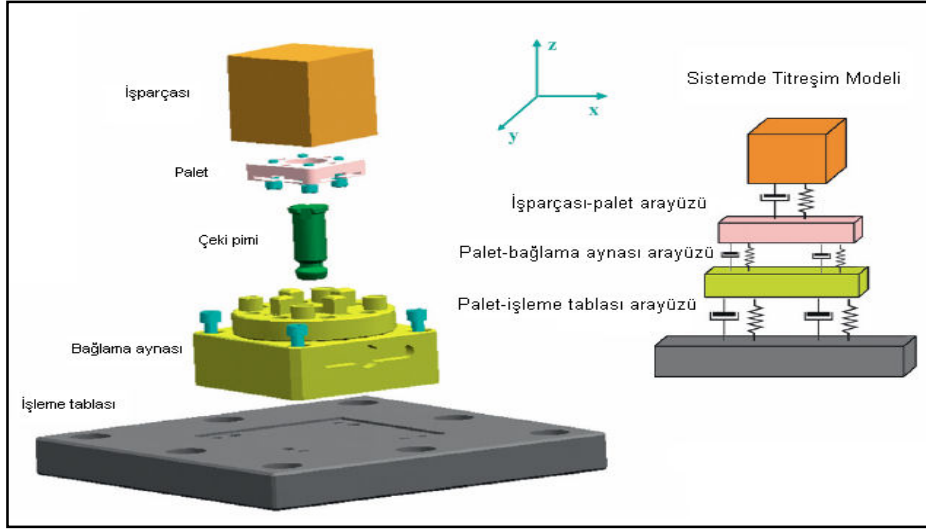
bilimsel düzeyde araştırmalar çok yoğun bir şekilde devam etmektedir. Talaşlı imalat esnasında iş parçasının yüzey kalitesini etkileyen kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, talaş kaldıran takımın geometrisi, kesme derinliği vb.) en önemli parametrelerdir [9-10]. Ayrıca kesici takımda oluşan titreşimler, işlenen yüzeylerin kalitesini ve tezgah verimini olumsuz etkilemektedir [11].

Frezelemede takım titreşimlerinin incelendiği kısıtlı sayıda çalışma vardır. Bu çalışmalardan bir çoğu titreşimlerin azaltılması ve işlenen yüzeylerin kalitesinin iyileştirilmesi üzerinedir. Yapılan çalışmalara bakıldığında: Titreşim kontrolü için ayarlamalı yeni visko-elastik sönümleyicilerin tasarlandığı ve deneylerde kullanıldığı bir araştırmada, paletli takım tutucu sistemlerinin istenmeyen titreşimlerin azaltılmasında etkili olduğu ifade edilmiştir. Bunun yanı sıra işlemenin dinamik karakteristiklerini tanımlamada ve işleme sisteminin elastik zincirlerinden en önemli bileşeninin iş parçası ve takım tutucu sistemi olduğu ve ayarlı visko-elastik sönümleyicilerin (Resim 2.1) (TVD) frezeleme işlemlerinde titreşim kontrolü için çok etkili olduklarını belirtmişlerdir. TVD' lerin geniş frekans aralığında ki titreşimlerin, (en alt değer olarak 7 db'e (desibel) kadar) kontrol edildiğini ve frezeleme esnasında TVD' lerin titreşim genliklerini hedeflenen değer aralığına % 98 yaklaşık doğrulukla azalttığı araştırmacıların elde ettikleri sonuçlardandır [12].



Resim 2.1. Frezeleme deneylerinde elik işparçasına 4 tane TVD' nin bağlandığı ve titreşim hareketlerinin üç eksenli ivmeölçerle tespit edildiği deney düzeneğinin görünümü [12]

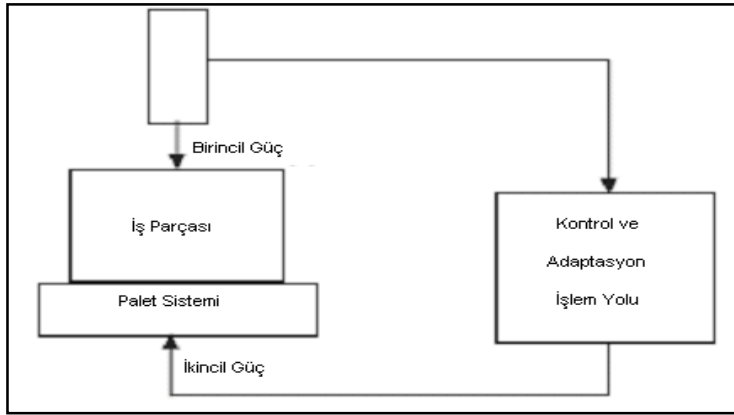
Ayrıca TVD' lerin tasarımında iş parçası-takım tutucu sisteminin doğal frekans değerinin tasarım fonksiyonu olduğu ve takım tutucunun kesilen malzemeye uzaklığı ve iş parçası malzemesinin titreşim oluşumunda etkili olduğu bilinmektedir. Bu tür bir tasarımın ağırlıklı noktasının, iş parçası takım tutucu sistemlerinin deneysel dinamik modeli (Şekil 2.2) ile ayarlı visko-elastik sönümlleme sisteminin matematiksel modelinin kombinasyonunun oluşturulmasıdır.



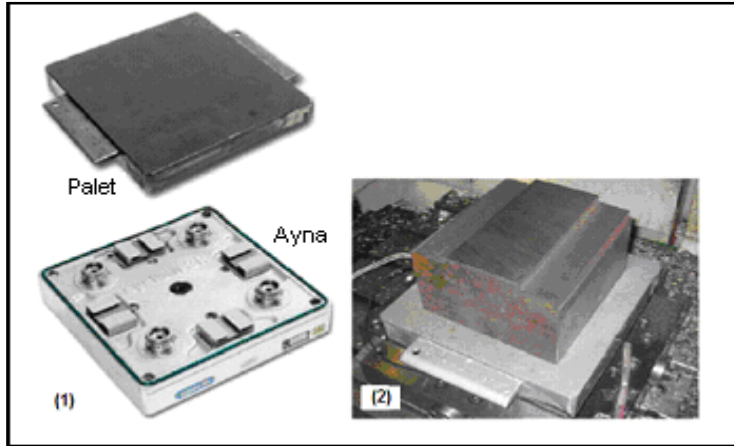
Şekil 2.2. Tasarlanan ayna palet sistemi ve sistemin dinamik modeli [12]

Geleneksel makine sistemlerindeki titreşim kontrolünde, kesici takım başlıklarının geliştirilmesine yönelik titreşim kontrol sistemleri kullanıldığı bu çalışmada; istenmeyen titreşimin kontrolü için takım tutucu sistemi geliştirilmiştir. Paletli takım tutucu sistemlerinin freze tezgahları için, titreşimlerin aktif kontrolünde hem ekonomik hem de kolay olduğu vurgulanmıştır. Uygun filtreleme algoritmasına göre piezo-ivme ölçerler dinamik kuvvetlerin kontrolünde kullanılmıştır. Bu sistem deneysel olarak titreşime bağlı meydana gelen dinamik kuvvetlerin azaltılması çalışmalarında denenmiş ve geniş kapsamlı deneyler pratik öneme sahip parametre terimlerinin tespiti için gerçekleştirilmiştir. Sistem için en uygun performans değerleri, örneğin yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve takım ömrünün uzatılması amaçlanmış ve sonuç olarak bu tip kontrol sistemlerinin (Bkz. Şekil 2.3) hala birçok probleme haiz olduğu belirtilmiştir. Donanım ve yazılım bütünleşmesi arasında bazı

problemlerin mevcut olduğu, dolayısıyla soğutma sıvıları ve yüksek sıcaklıktaki metal talaşlarının yoğunlukta olduğu işlemlerde yeterli düzeyde bu bütünlüğün sağlanamadığı belirtilmiştir [12].



a)



b)

Şekil 2.3. a) Uygulanan paletli sistemin aktif kontrol şeması

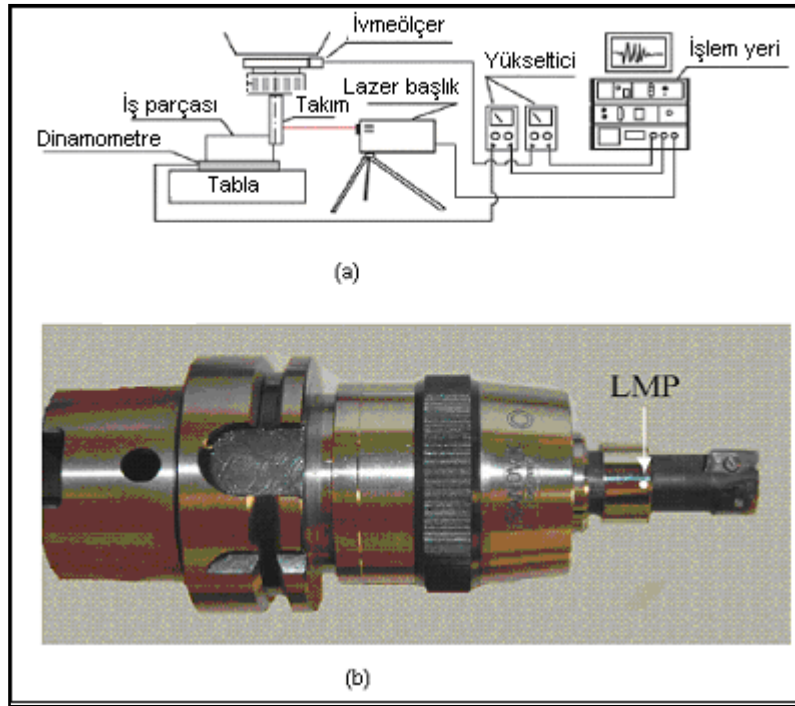
b) Paletli sistem

1. Paletin görünümü ve mengeneyle bağlantısı

2. Deneyler esnasında çelik işparçasına bağlanmış paletli sistem [12]

Lazer vibrometresi kullanılarak kesme işlemi esnasında freze takım titreşimlerinin ölçülmesinin konu alındığı bir başka çalışmada, freze takım titreşimi ölçümü için lazer vibrometre yöntemi sunulmuştur [13]. Dönen yüzeylerdeki lazer vibrometre ölçümleri genellikle doğrusal yönde yapılmamış ve titreşim hız bileşenleri ile

harmonik kesikli gürültü karışımının, yüzey yapısının değişmesine bağlı olarak oluştuğu açıklanmıştır. Araştırmacılar bu oluşumun birçok problemi beraberinde getirdiğini, vurgulanan bu durumların üstesinden gelmek için yüzey kalitesi çok iyi silindirik bir yatak üretmiş ve takımın üzerine monte etmişlerdir. 20 mm dış çapa sahip kesici takım, 16 mm R 390 mili ucuna 2 tutucu ile bağlanarak, yüksek hızlı 5 eksenli dik işleme tezgahında (Liechti Turbomill ST 1200) deneysel çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Kesme kuvvetlerini 9257 A Kistler masa tipi 5 kN ölçüm aralığındaki dinamometre ile ölçerek, AA 7010 iş parçasını işlemişlerdir. Ayrıca masa tipi dinamometre rijit bir biçimde bağlanmış ve işleme esnasında düzgün ölçüm alınmasını sağlamıştır (Bkz. Şekil 2.4).



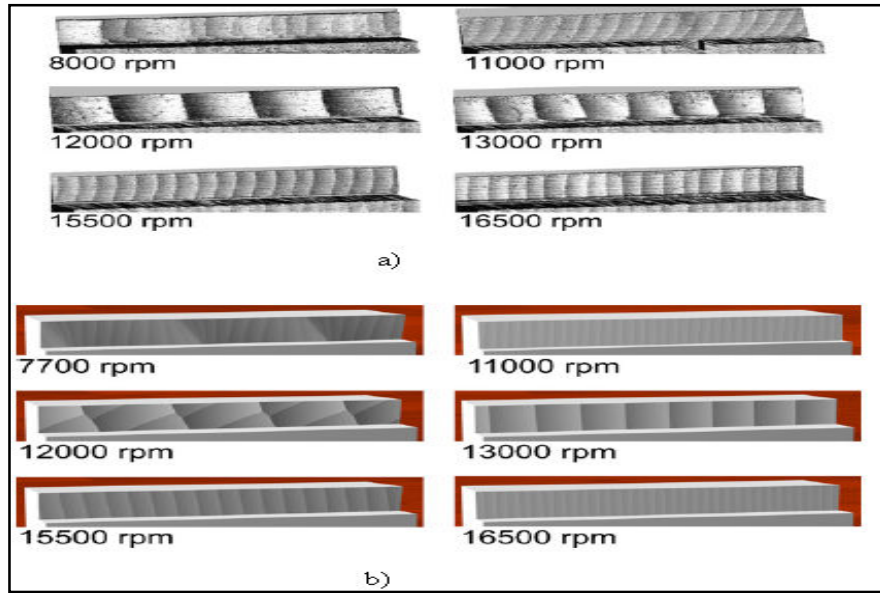
Şekil 2.4. a) Kesme koşullarında takım titreşim ölçümü için deney düzeneğinin şematik gösterimi,
b) Takım tutucunun ve üzerindeki LASER ölçme noktasının resmi [13]

Şekil 2.4' te görüldüğü gibi dinamometreyi dönme yönünde 2 kelepçe ile birlikte (a), işleme tablasına sabitlemişler ve iki Brüel & Kjaer 4507 tipte ivme ölçeri 100 mv/(m/s²) ve 2 Hz ve 5 kHz frekans aralığında kapalı konumda uygun pozisyonlardaki mil başına monte ederek, ivme ölçeri mil titreşimleri ve

karşılaştırma sinyali üretmekte kullanmışlardır [13]. Araştırmacılar ölçüm noktasından 1800 mm uzaklıktaki destek üzerinde düzgün şekilde duran bir destekleme elamanına bağlanmış politek Psv 3000 tarayıcı tip lazer vibrometre (LDV) ile takım titreşimini ölçmüşlerdir. İşleme esnasında titreşim ölçerin hassasiyeti: 125 mm/s/V ile 31,62V maksimum değeri arasında ve uygulama frekansını 102,4 kHz olarak seçerek lazer ışınındaki değişime bağlı olarak titreşim değerlerini kaydetmişlerdir. Deneysel işleme parametreleri olarak, boyuna kesme deneylerinde 19000 rpm sabit olarak uygulanmış eksenel ve radyal kesme derinliği sırasıyla 5 ve 1 mm, ilerleme hızı 6200 m/min seçilerek bütün kesme deneylerini, kuru şartlarda çapraz ve doğrusal ilerleme yönlerinde sırasıyla kartezyen X ve Y koordinatlarında gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak lazer titreşim ölçme sinyali, radyal yönde oluşan takım titreşimlerinin ve dönme eksenini dışındaki sapmayı tespit etmede kullanılabileceğini, kesme deneyleri esnasında 19000 rpm frezeleme hızında, takım yer değiştirme uç değerlerinin kuvvet sinyallerini değer olarak izlediğini belirtmişlerdir. Takım geometrisindeki asimetrinin, lazerli titreşim ölçüm değerlerinin ve kesme kuvveti sinyallerinin genliklerini değiştirdiğini ve böylelikle kesme dişleri ile işlenen yüzey yapısı arasında kesme esnasında oluşabilecek titreşim değerleri yanlış ölçülebileceğini açıklamışlardır. Bu metodun en önemli avantajının, işparçası ile dönen freze çakısı üzerinde temas olmaksızın işleme esnasında değişken takım titreşim ölçümlerinin kolaylıkla yapılarak, frezeleme sistemlerinde başlangıç ve bitiş kesme işlemleri esnasında sistemin dinamik yapısının kolaylıkla modellenilebileceğini ifade etmişlerdir. Aynı zamanda yüksek frekanslı işlemlerde takım titreşimlerinin analizinin basitçe yapılabileceğini ve takım ile freze başlıklarının geliştirilmesinde bu yöntemin çok faydalı olacağını vurgulamışlardır [13].

Gerçekleştirilen bir diğer çalışmada [14], çevresel frezeleme işlemleri sonucunda yüzey pürüzlülüğü tahmini için, kesici takımda meydana gelen ve ölçülen titreşim değerleriyle geometrik bir model tanımlanmıştır. Bu model yatak yüzeyinde yapılabilecek takım konumlama hatasını ve yüzey pürüzlülüğünü minimize ve tahmin etmek için uygulanmıştır. Deneysel ve simülasyon değerleri arasındaki karşılaştırmalar, bu model yaklaşımının etkili olduğunu göstermiştir. Bu

araştırmadaki en önemli bulgu, dönme hızında maksimum düzeyde kararlılık sağlayarak frezeleme işlemlerinde en iyi yüzey kalitesi elde edilebileceğini göstermiştir. Sonuç olarak en fazla işparçası işleme hızını elde etmek için dönme hızının en uygun değerinin belirlenmesi gerektiği ve bunun için de ölçülen kesici uç titreşim değerlerinden yararlanılabileceği vurgulanmıştır ve bu uygulamanın, yüzey kalitesinin önemsenmediği, yüksek genlikte titreşimlerin olduğu kaba işlemler için uygun bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Şekil 2.5). Ayrıca küçük talaş derinliğinde ki bitirme işlemlerinde, en yüksek yüzey konumlama hatasına (SLE-Surface Location Error) sebep olduğu ve optimum düzeyde bitirme işlemi için düşük seviyede dönme hızının seçilmesiyle SLE değerlerinin daha küçük çıktığı ifade edilmiştir. Bu yolla, SLE ve titreşim genliğinin minimize edilebileceği, böylelikle kesme kuvvetlerinin minimum seviyede tutulabileceği belirtilmiştir [14].



Şekil 2.5. a) Farklı dönme hızında işlenmiş yüzeylerin mikroskop altında ki görünümleri b) Modellenen işparçası yüzeyleri [14]

Günümüzde freze ile talaş kaldırma işlemi hala etkin olarak kullanılmakta ve çeşitli işleme hatalarının olduğu bilinmektedir. Bu durumlardan biri de parmak freze ile kanal genişletme, alın yüzey işleme gibi operasyonlarda meydana geldiği görülmektedir [13, 14]. Bu hataların genel sebepleri ise; takımın oluşan aksel kaçıklık (sehim), takım aşınması, takımın işlenen iş parçasından dışa doğru kayması

ve takım ile takım tutucunun titreşimi olarak gösterilebilir. Bu işleme esnasında oluşan hatalar arasında kayda değer alanlardan başta geleni ise takım titreşimi olduğu vurgulanmaktadır [15-16]. 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 frekans değerleri vardır [17,18]. Ayrıca iş parçasından talaş kaldırma işlemi sırasında kesme parametrelerine bağlı olarak mekanik titreşimler olduğu gibi [9, 17, 18], kesici takım tutucusunun geometrik yapısına [17, 19, 20], bağlantı tipine ve takım bağlama uzunluğuna bağlı olarak da titreşim oluşmaktadır [11, 19, 20]. Kontrolsüz olarak oluşan bu titreşimler, iş parçası yüzey kalitesi, kesici takım aşınması ve kesme kuvveti karakteristikleri olarak ölçülen işleme performansına olumsuz etki etmektedir [11-20]. Bu sebeplerden dolayı işleme esnasında kesici uçta oluşan titreşimlerin kontrol edilmesi önemlidir.

Yapılan bir diğer çalışmada araştırmacılar, geniş kullanım alanına sahip ve titreşimi saklama yeteneği yüksek bir düzlem yüzey frezeleme takımının bilgisayar destekli tasarımı üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada düzlem yüzey frezeleme işlemleri esnasında meydana gelen ses ve titreşimleri en az seviyeye indirmek için mevcut kesici diş aralıklarının miktarları değiştirilmiş ve yeni bir kesici takım tasarlanmıştır. Geliştirilen bu yeni kesici takımda bulunan kesici dişler arasındaki mesafe eşit tutulmamış, değişik yerleştirme mesafelerinde yerleştirilerek kesme işlemleri esnasında oluşan titreşimlerin azaltılması amaçlanmıştır. Geliştirilen bu yeni modelde oluşturulan yeni kesici takım için bilgisayar simülasyonu yardımıyla değişik uygulamalar gerçekleştirilmiştir [21].

Başka bir çalışmada araştırmacılar, yüzey frezeleme işlemlerinde kesme işleminin tek bir diş sayısı ile gerçekleştiği talaş kaldırma işlemlerinde, kesme işlemlerinin, kesici uç vuruntusu ile oluşan karesel darbeler sonucu meydana gelişinde oluşan titreşimleri en az seviyeye indirmek için yeni bir kesici tasarlamışlardır. Tasarlanan bu yeni kesici uç ve klasik kesici takımlar ile elde edilen teorik sonuçlar

karşılaştırılmış ve karesel darbeler sonrası oluşan titreşimlerin yeni tasarlanan kesici takım ile azaldığını tespit etmişlerdir [22].

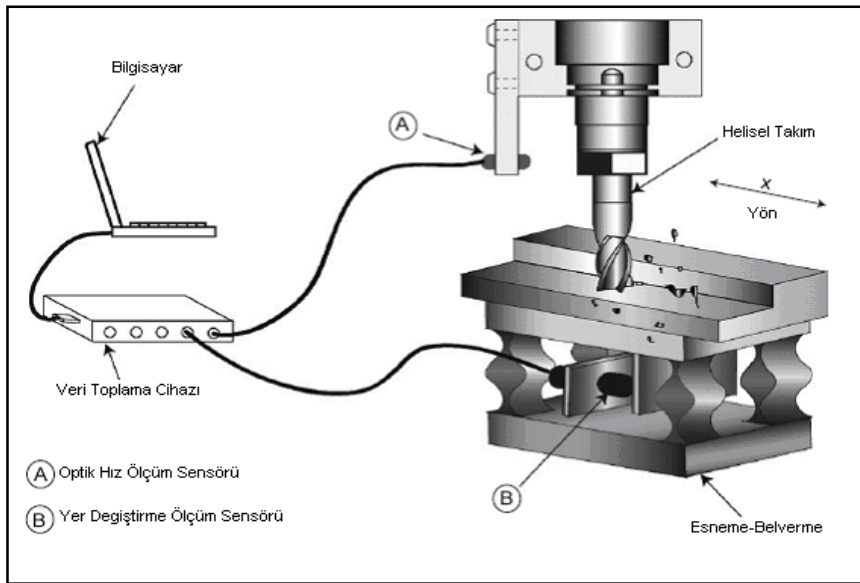
Diğer bir çalışmada araştırmacılar, frezeleme operasyonlarında, düzlem yüzey frezeleme işlemleri için yapay sinir ağlarının uygulanmasını tanıtmış, oluşan kesme kuvvetleri ve titreşim seviyeleri sensörler yardımı ile algılanarak değerlendirilmiştir. Yüzey frezeleme işlemleri boyunca, işleme parametrelerinin değişimlerini kontrol ederek, kesme durumunu ve meydana gelen değişiklikleri izlemişlerdir [23].

Yapılan bir başka çalışmada araştırmacılar, kesintili (kırık-kopuk) talaş kaldırma işleminde aynı ve zıt yönlü frezeleme işleminde ortaya çıkan tırlama titreşimlerini, kesme kuvvetlerinin kesme işlemleri esnasında değiştiğini dikkate alarak incelemişlerdir. Tırlama titreşimi oluşmasının ilk sebebi, iş parçası ve kesici takım arasında talaş kaldırmak için meydana gelen ilk çarpışmadır. Oluşan bu tırlama titreşimleri, kesme kuvvetlerinin işleme boyunca sürekli olarak değişmesine neden olmuş ve kendi kendini besleyen tırlama titreşimlerinin oluşmasına imkan sağladığını yaptıkları deneylerle doğrulamışlardır [24].

Kesici takım üzerinde meydana gelen ve sürekli artan titreşim değerlerini ölçmek için yapılan bir çalışmada araştırmacılar, pize-elektrik işletici kullanmışlar ve kesici takımda meydana gelen, kontrollü ve kontrolsüz titreşim frekanslarını ölçerek karşılaştırmışlardır. Kontrollü titreşim frekans değerlerinin kontrolsüz titreşim frekans değerlerinden %90 daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak bu çalışmada kesici takımda meydana gelen titreşimlerin %90 kadar azaltılabileceğini belirtmişlerdir [25].

Frezeleme operasyonlarında kesme işlemleri esnasında oluşan titreşimlerin kendisini besleyerek tırlamaya ve bu tırlamanın takımı aşınmasına neden olduğunu araştıran bir çalışmada, meydana gelen tırlama ile takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Aşınmış bir takımın yapmış olduğu tırlama analitik bir yöntemle tarif edilmiştir. Geliştirilen bu sistem deneysel çalışmalarla da desteklenmiştir [26].

Bir diğer çalışmada, frezeleme operasyonlarında oluşan gürültülü titreşimin olmadığı, izole edilmiş noktaların / bölgelerin varlığı tartışılmıştır. Araştırmalar neticesinde, bu bölgelerin talaş helis açısına bağlı olarak artış gösterdiği ve çeyrek periyot ve yarım periyot bölgelerinde ayrıldığı gözlenmiştir. Modellenen yapı kesme sırasında üç parça sürekli bölgeden oluşan ve helis açılı takımları açıklayan analitik kuvvet modelidir. Helis açılarının ve bir dişi farklı radyal dalmaların asimptotik düzgünlük eğilimleri incelenmiştir. Buna ilaveten sonlu elemanlar analizi ile uzay modülünde gecikme denklemleri yaklaşımına yeni sonuçlar eklemiştir. Tahminler bir dizi deney ile (Bkz. Şekil 2.6) ile izole bölge olgusunun doğrulandığını göstermiştir [27].



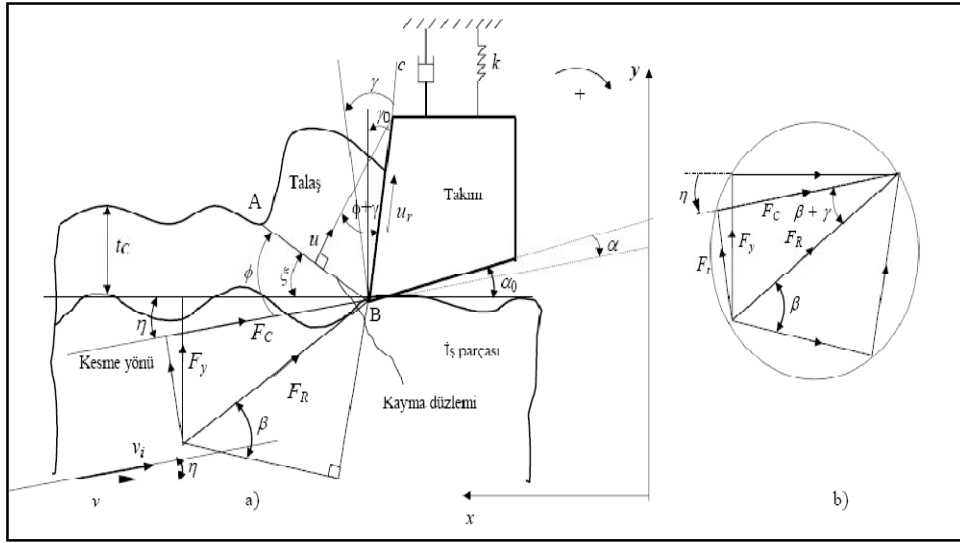
Şekil 2.6. Deney düzeneğinin şematik gösterimi [27]

Yeni ve aşınmış kesicilerin iki kesme koşulu faktörüne (aynı ve zıt yönlü) dayalı hızlı fourier dönüştürücü (FFT) kullanılarak elde edilen, yüzey ve bitirme frezelemede kesme yolundaki titreşim analizini toplamak amacıyla yapılan bir çalışmada, frezeleme işlemi bittiğinde FFT analizi, kesme koşulları göz önüne alınarak minimum titreşime dikey doğrultuda (y ekseninde) ulaşıldığı görülmüştür. Yüzey frezeleme için aynı ve ters yönlü frezeleme arasındaki FFT analizi, bütün aksenel talaş derinliğinde uygulanmış, aşınmış kenar kullanıldığında düşük oranda titreşim olduğu, aynı yönlü uygulamada hiçbir titreşim görülmediği belirtilmiştir.

Yeni bir kesici kullanarak kesme yolu çizgileri, aynı yönlü uygulandığında yüksek genlikte F_y kuvvetlerinde dik frekanslarda oluştuğu, düşük takım ömründe meydana gelen mikro ve makro talaş için pürüzlülük dalga eğiminin arttığı ifade edilmiştir. Öte yandan ters yöndeki kesme işlemlerinde temel pik frekansları düşük genlikte oluştuğu için takım aşınmamış ve sonuçta takım ömrünün artış gösterdiği vurgulanmıştır [28].

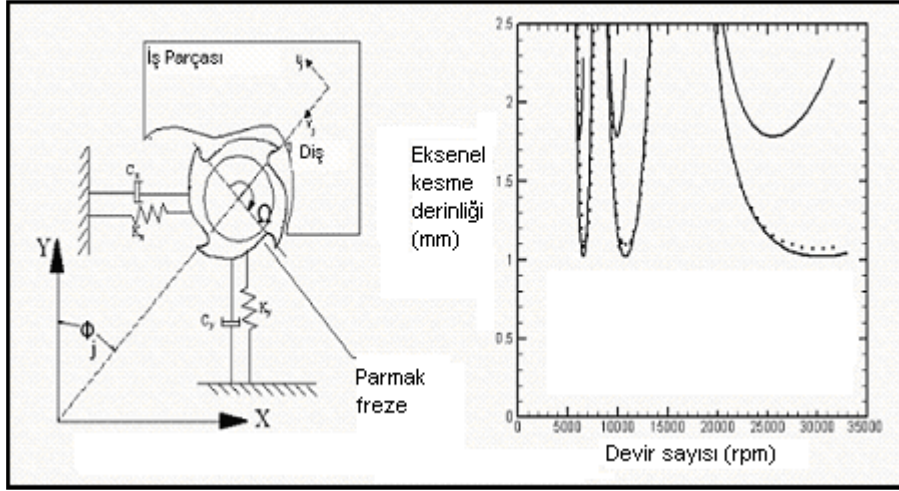
Kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesici takım uç yarıçapı, kesici takım boyu ve iş parçası boyu değiştirilerek yumuşak çeliklerin işlendiği bir çalışmada, kesme işlemi esnasında oluşan titreşimlerin kesici takımın doğal titreşim frekansına, talaş kalınlığına ve oluşan kesme kuvvetlerine bağlı olarak değiştiği ifade edilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ve talaş derinliğinin artmasıyla kesici takım titreşiminin arttığı ve dolayısıyla işlenen yüzeylerin yüzey kalitesinin azaldığı ifade edilmiştir. Ayrıca kesme işlemi esnasında meydana gelen BUE'nin yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediği ve kesici takıma etkileyen dinamik kuvvetleri arttırdığını ifade etmişlerdir. Dolayısıyla talaş yığılmasının yüzey pürüzlülüğüne yaptığı bu etkiyi en aza indirmek için kesme derinliğini artırmak gerektiğini vurgulamışlardır. En iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerine, ilerleme hızı 0.35 mm/tooth, takım uç yarıçapı 1,6 mm olduğunda ve yüksek kesme hızlarında (265 m/min ve üzeri) ulaşılmıştır [29].

İş parçası dönme devirlerinin iş parçası yüzeyinde oluşturduğu dalgalanmaları da içeren, kesme işlemi dinamiğinin tanımlanabilmesi için tek serbestlik dereceli bir modelin geliştirildiği başka bir çalışmada, geliştirilen modelin parametreleri normalleştirilerek, denklemler boyutsuz parametreler cinsinden ifade edilmiştir (Şekil 2.7). Bu sayede kesme parametrelerinin sayısı azaltılmış ve kesme genişliği, iş parçası malzemesinin kesme gerilmesi ve yay sabitinden oluşan yeni bir boyutsuz λ parametresi elde edilmiştir [5].



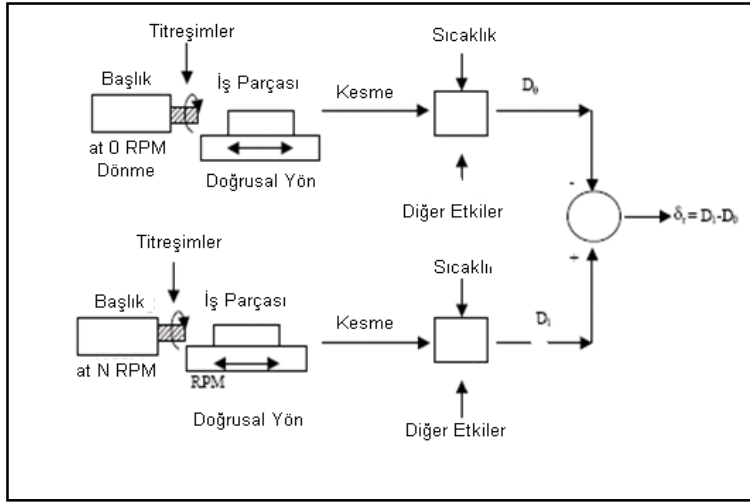
Şekil 2.7. a) Bir serbestlik dereceli kesme modeli b) Kuvvet diyagramı [5]

Bu çalışma, bileşke kuvvetin yön değişimi küçük olsa bile (sadece pozitif), kesme kuvvetinin yönü pozitif ve negatif sınırlar içerisinde değişebildiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, kesme hızı veya talaş açısının azaltılmasıyla, veya kesme genişliği veya malzemenin kesme gerilmesinin artırılmasıyla tırlama titreşiminin arttığını göstermektedir. Simülasyonlardan elde edilen sonuçlar literatürdeki mevcut deneysel veriler ile de uyum içinde olup [30, 31] geliştirilen bu modelin, takım geometrisi ve kesme şartlarının kesici takım titreşimi üzerine olan etkilerini tahmin etmede güvenilir olduğu görülmüştür [32]. Frezelemede, işlemin titreşim frekanslarının tayininde Timeshonko kiriş teorisi kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle iki boyutlu olarak (Bkz. Şekil 2.8-a) takım, takım tutucu ve freze milinin modellendiği bu çalışmada [32], yüksek hızlı kesme işlemlerinde takımın dönmesiyle ortaya çıkan jirokobik hareketin kesme derinliğini %10 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 2.8-b).



Şekil 2.8. a) 2 boyutlu freze çakısının dinamik modeli
 b) Jirokobik hareketin oluşmadığı ve oluştuğu durumlarda kesme derinliğinin takım mili dönme hızına bağlı olarak değişimi [32]

Takımların dönme hızlarına bağlı olarak radyal doğrultuda eksen kaçıklıklarının (salgılarının) takım mili üzerine küresel ışın düşürülerek tespit edildiği bir çalışmada, dönme eksenini etrafında oluşan radyal kaçıklıkların işparçası işleme boyut tamlığını olumsuz etkilediği vurgulanmıştır. Bir dizi sensör kullanılarak değişik yönlerde takım milinin dönmesi süresince yerdeğiştirmeler algılanmış ve sonuç olarak takım-takım bağlama sisteminin yapısında bulunan dengelenmemiş kütlelerin oluşturduğu merkezkaç kuvvetinin eksen kaçıklığını oluşturduğu vurgulanmıştır. Ayrıca bunu önlemenin bir yolu olarak takım milinin tokluğunu artırmak gerektiğini ve bu yönde yapılan deneysel çalışmalarda yüksek oranda takım mili yataklama ön yükünü artırmanın gerekliliğini belirtmişlerdir. Takım mili eksen kaçıklığını tespit etmek için geliştirdikleri sistemin şematik gösterimi Şekil 2.9’da görülmektedir [33].



Şekil 2.9. Kesici-takım mili çiftinin dönme esnasında salgısal hatalarının tespiti için önerilen ölçme sistemi [33]

2.2. Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi

Konuyla ilgili çalışmalar değerlendirildiğinde, talaşlı imalat işlemleri esnasında meydana gelen titreşimlerin sonucu olarak birçok olumsuz duruma rastlanmıştır. Çeşitli kesme hızları ile sistemde elde edilen kesme kuvvetlerinin titreşimlere etkileri ele alınmış ve kesme kuvvetlerindeki artışların titreşimleri arttırdığı görülmüştür [2-4]. Takım tezgahlarının monte edildiği zeminin titreşimleri ve yüzey kalitesini etkilediği belirtilmiş, takım tezgahlarında oluşan titreşimlerin kontrol edilebilmesi, kesme parametreleri [4-8, 10] ve kesici takım ile iş parçası arasındaki pozisyonun durumu ile doğrudan ilişkili olduğu [8, 10, 11] görülmüştür. Ayrıca frezeleme işlemleri esnasında oluşan titreşimleri azaltabilmek için titreşim sönümleyicilerin etkili olduğu belirtilmiştir [12-15]. Araştırmacıların frezeleme işlemleri esnasında meydana gelen titreşimleri azaltmak için geliştirdikleri sistemlerin, oluşan titreşim ivme seviyelerinde önemli miktarlarda azalmaya neden olduğu görülmüştür [15-18]. 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 [18-22]. Ayrıca iş parçasından talaş kaldırma işlemi sırasında kesme parametrelerine bağlı olarak mekanik titreşimler olduğu gibi kesici takım tutucusunun geometrik

yapısına, bağlantı tipine ve takım bağlama uzunluğuna bağlı olarak da titreşim oluşmaktadır [22-28]. Kontrolsüz olarak oluşan bu titreşimler, iş parçası yüzey kalitesi, kesici takım aşınması ve işleme performansına olumsuz etki etmektedir [28-30]. Ayrıca takım tezgahlarındaki diğer etkenlerin (yataklar, miller, başlıklar vb.), etkilerini belirlemek amacı ile geliştirilen çeşitli modellerin simülasyonları yapılarak titreşim değerleri üzerindeki etkileri görülmüştür [30-33].

Takım tezgahı ile talaş kaldırma işlemleri esnasında meydana gelen ve kontrol edilemeyen titreşimlerin, iş parçasının ölçü ve yüzey tamlıklarının bozulmasına, kesici takım ömrünün kısılmasına, takım tezgahı hassasiyetinin zarar görmesine neden olduğu görülmüştür. Ancak işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesici diş sayısı) takım tezgahı üzerine etkileyen titreşim ile yüzey pürüzlülüğü ilişkili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

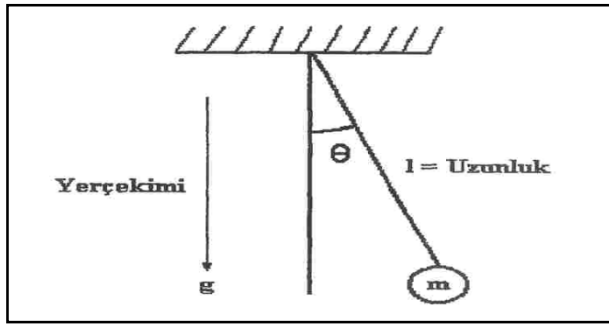
Bu çalışmada ise, freze takım tezgahı ile talaş kaldırma işlemi esnasında, işleme parametrelerinde (kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesici uç sayısı vb.) değişiklik yapılarak, işleme parametreleri ile oluşan takım tezgahı titreşimleri-yüzey pürüzlülük değerleri deneysel olarak incelenmiştir. Değişik işleme parametreleri ile takım tezgahında oluşan titreşim ivme seviye grafikleri (titreşim ivmesi-zaman) ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda işleme parametrelerinin takım tezgahı titreşimine ve yüzey pürüzlülük değerlerine etki edip etmediği değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeler, sonuçlar ve öneriler bölümünde açıklanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen veriler iyi yorumlandığı takdirde, titreşimin elde edilen ürünün kalitesini çok yakından etkilediği görülecek ve çalışmanın ülke ekonomisine katkısı büyük olacaktır.

3. TİTREŞİM

3.1. Titreşimin Tanımı

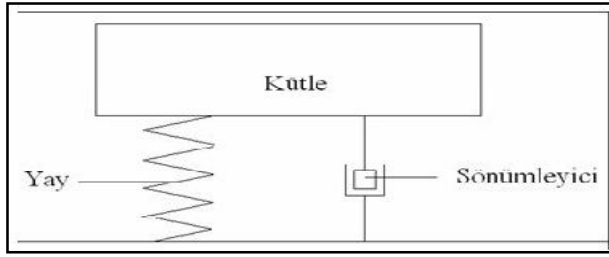
Teknolojik gelişmeler sonucunda yüksek hızla talaş kaldırma işlemlerine uygun kesici takımların üretilmesiyle birlikte talaş kaldırma miktarını ve işleme kalitesini olumsuz yönde etkileyen başlıca etken, kesici takım ile iş parçası arasında oluşan izafi yer değiştirme hareketidir [34].

Başka bir tanıma göre titreşim, bir sistemin referans noktasına veya denge konumuna göre yapmış olduğu tekrarlı harekettir. Titreşimi tarif eden en basit model Şekil 3.1 de görülen basit sarkaç modelidir [35, 36, 37].



Şekil 3.1. Basit Sarkaç [37]

Yine bir başka ifade ile titreşim bir kütlenin referans bir pozisyon etrafında yapmış olduğu salınım hareketidir [38]. Yine titreşim, bir kütlenin belirli bir merkez etrafında ki çevrimsel hareketi olarak da tarif edilebilir. Titreşim, bir kütlenin elastik bir eleman üzerinde salınım hareketi yapmasıyla oluşur. Kütle ve elastik elemandan oluşan bu sistem, titreşim sistemi olarak adlandırılır. Basit bir titreşim sistemi Şekil 3.2’de görülmektedir. Şekil 3.2’de görülen titreşim sisteminde kütle kinetik enerjiyi, yay ise potansiyel enerjiyi depo eder. Titreşim, potansiyel enerji ve kinetik enerji arasında enerji dönüşümü ile oluşur. Salınım hareketi esnasında sistemden enerji alarak, hareketi yavaşlatan ve sonunda durduran elemana ise titreşim sönmüleyici adı verilir [39].



Şekil 3.2. Titreşim Sistemi [39]

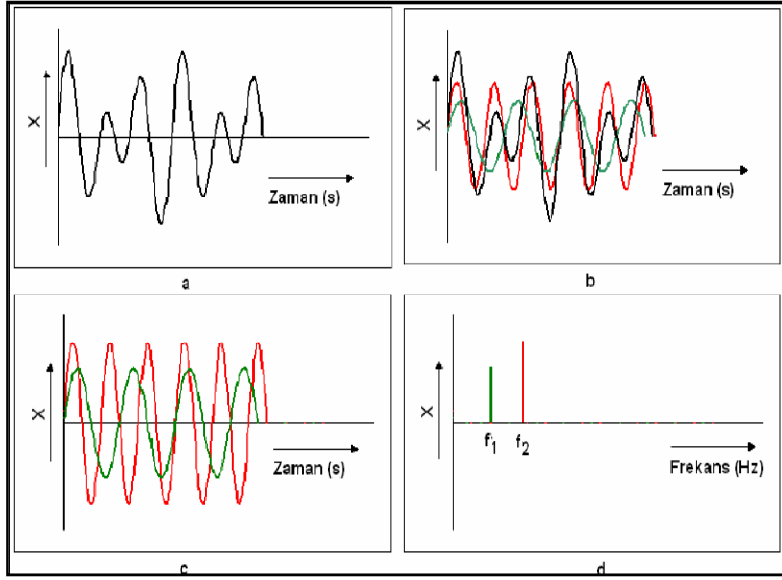
Titreşim hareketi periyodik ve rasgele titreşim hareketi olarak iki sınıfa ayrılabilir. Periyodik titreşim hareketi, belirli bir sürede aynen veya kısmen tekrar etme özelliğine sahip bir harekettir. Rasgele titreşim hareketi ise, zamanla tekrarlanabilme özelliğine sahip değildir. Titreşim hareketinin meydana geldiği doğrultu veya eksen sayısı serbestlik derecesi olarak adlandırılır. Uygulamada bir titreşim hareketi pek çok doğrultu veya ekseninde meydana gelebilir. Bu yüzden titreşim hareketi üç doğrusal eksen (x, y ve z) ve üç açısal doğrultu (rx, ry ve rz)'da ölçülür [40].

Periyodik titreşim hareketlerinde, hareketin tekrarlama süresine periyot ve birim zamanda meydana gelen hareket sayısına ise frekans adı verilir. Matematiksel tanım ile frekans periyodun tersidir ve aşağıdaki gibi hesaplanır [41].

$$f = T^{-1} = \frac{1}{T} \quad (3.1)$$

Periyodun birimi saniye, frekansının birimi Hertz'dir. Titreşim hareketi birçok doğrultu ve ekseninde meydana geldiği için, bir başka deyişle birden fazla bileşenden oluştuğu için, zaman düzleminde bir titreşim hareketini incelemek zordur. Bu yüzden titreşim ölçme ve değerlendirme uygulamalarında frekans spektrumu kullanılır. Frekans spektrumu, bir titreşimin hareketinin frekans ve titreşim niceliğine bağlı bir fonksiyon olarak gösterimidir [42]. Şekil 3.3'de bir titreşim hareketi zaman düzleminde ve frekans düzleminde gösterilmiştir. Şekil 3.3'de periyodik, fakat harmonik olmayan bir titreşim hareketi görülmektedir. Her ne kadar görünüşte harmonik olmasa da bu hareket, aslında frekansları ve genlikleri farklı iki adet harmonik bileşene sahiptir (Şekil 3.3.b ve Şekil 3.3.c). Bu bileşenlerin zaman

düzleminde analiz edilmeleri oldukça zordur. Bu yüzden hareket frekans düzleminde incelenir (Şekil 3.3.d) [39].



Şekil 3.3 Titreşim hareketinin zaman ve frekans düzleminde gösterilmesi [39]

Uygulamada bir titreşim hareketi çok sayıda frekans içerir. Bunların teker teker incelenerek titreşim büyüklüğünün belirlenmesi mümkün değildir. Bu amaçla frekans spektrumu belirli frekans aralıklarına bölünür ve bu aralıklarda titreşim niceliği ölçülür. Frekans aralıkları aritmetik dizin yerine geometrik dizinden yararlanılarak belirlenir. Buna göre birbirini izleyen iki frekans değeri arasındaki oran sabit bir sayıdır. Geometrik dizinin birer terimi olan ardışık frekansların aralarındaki aralık oktav olarak adlandırılır [42]. Oktav, birbirini izleyen frekans değerleri arasındaki aralığın 2 tabanına göre logaritması olup, uygulamada sabit sayı olarak 2_1 , $2_{1/2}$ ve $2_{1/3}$ değerleri kullanılır. Bu değerlerin 2 tabanına göre logaritması alındığında 1, $1/2$, $1/3$ olarak belirlenmiştir.

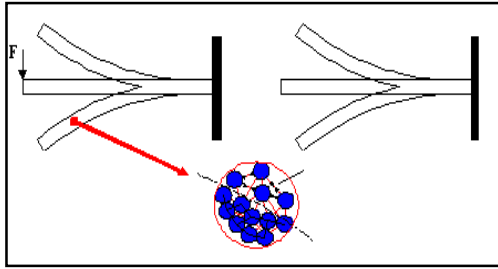
Mekanik sistemlerin salınım ya da titreşim hareketleri fizikte oldukça önemli çalışma sahasını oluşturur. Aslında her sistem bir titreşim yeteneğine sahiptir ve çoğu sistem değişik şekillerde serbestçe titreşmektedir. Küçük sistemlerin doğal titreşimi hızlı, büyük sistemlerin doğal titreşimi ise yavaş olmaktadır. Örneğin bir sivrisineğin kanatları saniyede yüzlerce kez titreşip işitilebilir bir nota üretirken, tüm yer yüzü bir

deprem ile sarsıldıktan sonra bile ortalama saatte bir sarsıntı ile titreşmeye devam etmektedir. Bütün bu olayların sahip olduğu ortak özellik ise meydana gelen bu hareketlerin periyodik olmasıdır. Yer değiştirme ya da hareketin, kendini sürekli bir şekilde tekrarlayan bir oluşumu vardır ve bu oluşum karmaşık veya basit şekilde olabilir. Fiziksel bir kriter olarak titreşim oldukça çok sayıda kendini tekrar eden hareket olarak tanımlanabilir [43].

Takım tezgahlarında imalat kalitesi; iş parçası ve kesici takım arasında çıkan titreşimlerin büyüklüğü ile yakından ilgilidir. Bu titreşimlerin kaynağı ise frezeleme işleminde değişken karakterli kesme kuvvetleridir. Talaş genişliği, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesici takım malzemesi ve geometrisi, kesilen malzemenin türü gibi bir çok kesme şartlarına bağlı olarak değişen kesme kuvveti, tezgah yapısını titreşime zorlar. Tezgah ise sahip olduğu rijitlik, sönüm ve kütle gibi yapısal parametrelere bağlı olarak etkiye karşılık yer değiştirme olarak cevap verecektir. Kesici takımın iş parçasıyla temasta olduğu noktanın yer değiştirme değeri, üretim kalitesini doğrudan etkiler ve tezgahlarda dinamik performans kriteri olarak kabul edilir. Sistem kapalı bir kontrol devresi olarak düşünüldüğünde; sistemin girdisi, kesme hızı, talaş kalınlığı, talaş genişliği, ilerleme miktarı ve kesilen malzemeye bağlı olarak değişen kesme kuvvetidir. Yapılan işlemin değerlendirilmesi için; kesme hızı, talaş derinliği, talaş genişliği, ilerleme miktarı, kesici takımın geometrisi ve malzemesi işlenen malzemenin türü gibi parametrelere karşı işlenen iş parçasının yüzey kalitesi, bu parametrelerin uygun seçilip seçilmediğini gösteren önemli bir sonuç olarak karşımıza çıkacaktır [1].

Titreşim hareketi referans bir konum etrafında veya konum etrafında ortaya çıkan mekanik bir salınım hareketidir. Fizikte harmonik hareket adı altında tarif edilen titreşim, bir kütlenin belli bir merkez etrafında çevrimsel hareketidir ya da bir makine parçasının her hangi bir yöndeki ileri geri hareketi diye de tarif edilmektedir. Titreşim, sistemleri oluşturan malzemelerin yapısından ve kuvvete karşı verdiği tepkiden kaynaklanır. 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 (Bkz. Şekil 3.4). 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 sifıra 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 [44].



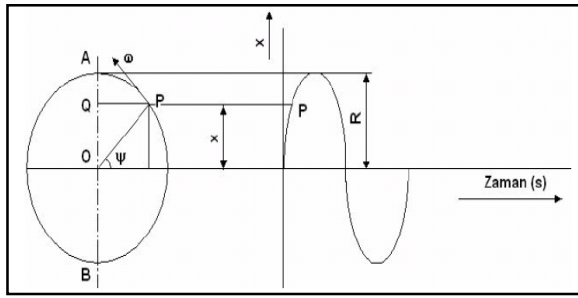
Şekil 3.4. Serbest titreşim [44]

3.2. Titreşim Çeşitleri

Titreşim hareketi Klotter tarafından yönü bir defadan fazla değişen hareket olarak tanımlanmış, periyodik hareket veya periyodik olmayan aperiodyk hareketler olarak iki ana gruba ayrılmıştır [45].

3.2.1. Periyodik titreşimler

Periyodik titreşim hareketi, yukarıdaki bölümde tanımlandığı gibi, zaman ile aynen veya kısmen tekrarlanabilme özelliğine sahip bir harekettir. Bir kütle ve yaydan oluşan bir titreşim sisteminin hareketi, zaman ile sinüzoidal olarak değişen basit harmonik hareket ile karakterize edilebilir. Sinüzoidal titreşim hareketi Şekil 3.5'te görülmektedir [39].



Şekil 3.5. Sinüzoidal titreşim hareketi [39]

Şekil 3.5'te görülen P noktası, yarıçapı R olan dairesel bir yörüngede O noktası etrafında sabit bir açısal frekansı ile dönmektedir. Q noktası AB çapı üzerinde P noktasının iz düşümüdür. Hareket zaman düzleminde incelendiğinde R yarıçapı sinüzoidal titreşim hareketinin tepe genliğidir. Q noktasının O noktasına olan uzaklığı x olup, t anındaki yer değiştirme miktarını verir. Ψ açısı ise, zamanla değişir ve değeri $\Psi = \omega.t$ ile bulunur. Buna göre t anındaki yer değiştirme miktarı;

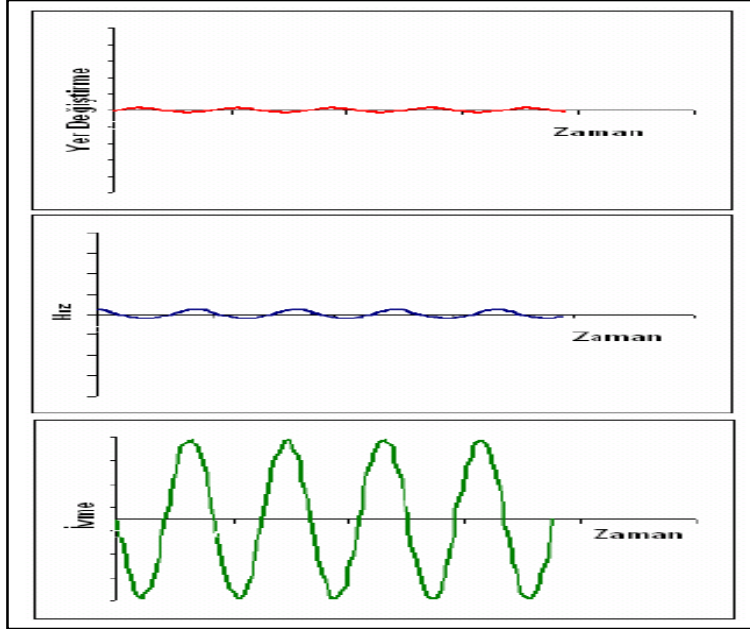
$$X(t) = R \sin \omega t \quad (3.2)$$

ile hesaplanabilir. Sinüzoidal hareketin hız ve ivmesi 3.2 numaralı eşitliğin sırasıyla birinci ve ikinci türevidir [39].

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = \omega R \cos \omega t \quad (3.3)$$

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 R \sin \omega t \quad (3.4)$$

3.2 - 3.4 eşitlikleri yardımı ile elde edilen yer değiştirme, hız ve ivme dalgaları Şekil 3.6'da görülmektedir [39].



Şekil 3.6. Yer değiştirme, hız ve ivme dalgaları [39]

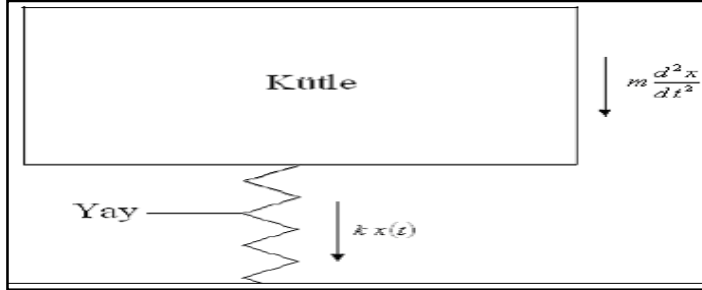
Periyodik serbest titreşim hareketi

Serbest veya doğal titreşimler elastik bir sistem içerisinde yerleştirilmiş kütlenin, sistemin sürekli yenilenen dâhili kuvvetleri tarafından hareket ettirilmesiyle meydana gelir. Kütleye dâhili veya harici sürtünme dirençleri etki ediyorsa, hareket sönümlü olarak adlandırılır [41]. Bu bölümde serbest titreşim hareketlerini sistemde sönümleyici bulunması veya bulunmaması durumlarına göre ele alacağız.

Sönümsüz serbest titreşim hareketi

Sönümsüz serbest titreşim hareketi aslında teorik bir harekettir. Çünkü içinde ister sönümleme elemanı olsun, ister sönümleme elemanı bulunmasın, bütün titreşim sistemleri az da olsa bir sönümleme etkisine sahiptirler. Sönümsüzlük kavramı teorik

hesaplamaların kolaylığı için varsayılan kurumsal bir kavramdır. Sönümsüz bir titreşim sistemi Şekil 3.7’de gösterilmiştir [39].

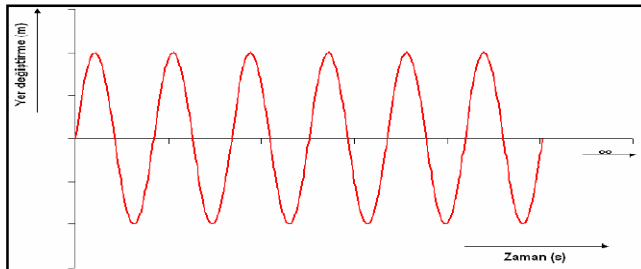


Şekil 3.7. Sönümsüz serbest titreşim sistemi [39]

Şekil 3.7’den görülebileceği gibi sistem, $m \frac{d^2x}{dt^2}$ ve $kx(t)$ dahili kuvvetlerin etkisi altındadır. Bu içsel kuvvetlerin etkisi ile titreşim sistemi ω_n doğal frekansında salınım hareketine başlar. Açısal doğal frekans yay katsayısına ve cismin kütlesine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir [46].

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.5)$$

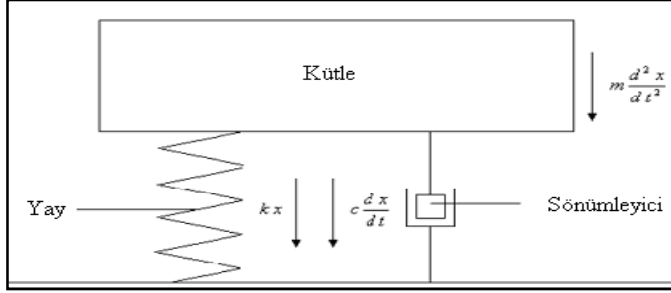
Bu formülde, k yay katsayısını ve m ise cismin kütlesini ifade etmektedir. Şekil 3.8 incelendiğinde, sönümsüz serbest titreşim hareketinin, dışarıdan bir müdahale olmaksızın sonsuza kadar devam eden teorik bir hareket olduğu görülür [39].



Şekil 3.8. Sönümsüz serbest titreşim hareketi [39]

Sönümlü serbest titreşim hareketi

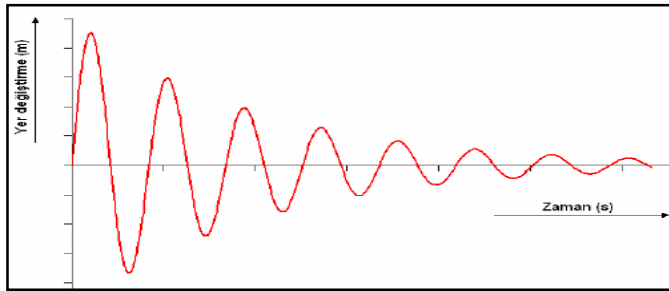
Sönümlü serbest titreşim hareketinde Şekil 3.7’de görülen serbest titreşim sistemine bir sönümleyici ilave edilmiştir. Sönümlü serbest titreşim sistemi Şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9. Sönümlü serbest titreşim sistemi [39]

Şekil 3.9’da görülen sistem, $m \frac{d^2 x}{dt^2}$, $C \frac{dx}{dt}$ ve son olarak $kx(t)$ dahili kuvvetlerinin etkisi altındadır. Bu içsel kuvvetlerin etkisi ile sistem sönümlü salınım hareketine başlar bu hareketin doğal frekansı aşağıdaki formülle hesaplanabilir [47].

$$\omega_{nd} = \omega_n \sqrt{1 - D^2} \quad (3.6)$$



Şekil 3.10. Sönümlü serbest titreşim hareketi [39]

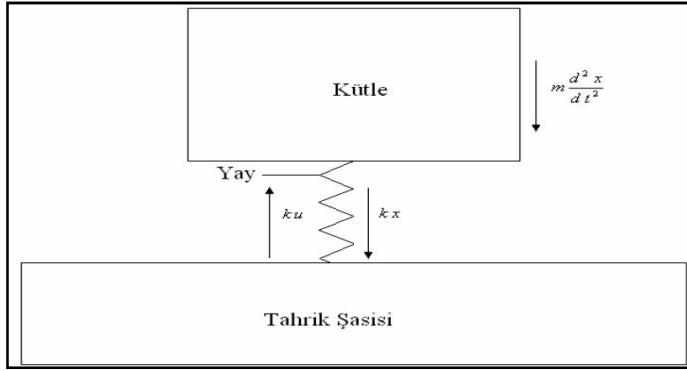
Şekil 3.10’den de görülebileceği gibi, hareketin genliği zaman ile eksponansiyel olarak azalmakta, bir başka deyişle hareket sönümlenmektedir. Bu durum zayıf sönüm olarak adlandırılır [48].

3.2.2 Periyodik zorlanmış titreşim hareketi

Bir titreşim sisteminde, kütle üzerine periyodik bir dağılım gösteren harici bir kütle etki ettirilerek sistem salınım hareketine başlatılırsa, bu hareket zorlanmış titreşim hareketi olarak tanımlanır. Zorlanmış titreşim hareketi de sistemde sönümleme elemanını bulunup bulunmamasına göre, bir başka deyişle sönümsüz ve sönümlü titreşim sistemleri olarak incelenmelidir [41].

Sönümsüz zorlanmış titreşim hareketi

Sönümsüz zorlanmış titreşim sistemi Şekil 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.11. Sönümsüz zorlanmış titreşim sistemi [39]

Şekil 3.11’den de görülebileceği gibi, kütle, tahrik şasinin $u(t)$ yer değiştirme hareketi ile salınımı zorlamaktadır. Bu durumda sistem $m \frac{d^2 x}{dt^2}$ ve $kx(t)$ dahili kuvvetleri ile $ku(t)$ harici kuvvetlerinin etkisi altındadır. Buna göre sistemin diferansiyel denklemi;

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx(t) = ku(t) \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ikinci dereceden taraflı bir diferansiyel denklemdir. 3.7 numaralı denklemin çözümü, tarafsız denklemin genel çözümüne bir özel çözüm ilave edilmesiyle sağlanır. Buna göre şasinin tahrik hareketi harmonik olduğundan, sistemin buna karşı tepkisi de harmonik olur. Özel çözüm 3.7 numaralı denklemde

yerine konulursa, $-mX_o \sin \omega t + kX_o \sin \omega t = kU_o \sin \omega t$ denklemi elde edilir [39]. Bu denklem çarpanlarına ayrıldığında; $X_o \sin \omega t(k - m\omega^2) = kU_o \sin \omega t$

$X_o = \frac{U_o}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$ elde edilir. Buna göre özel çözüm; $x(t)_o = \frac{U_o}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \sin \omega t$ bulunur.

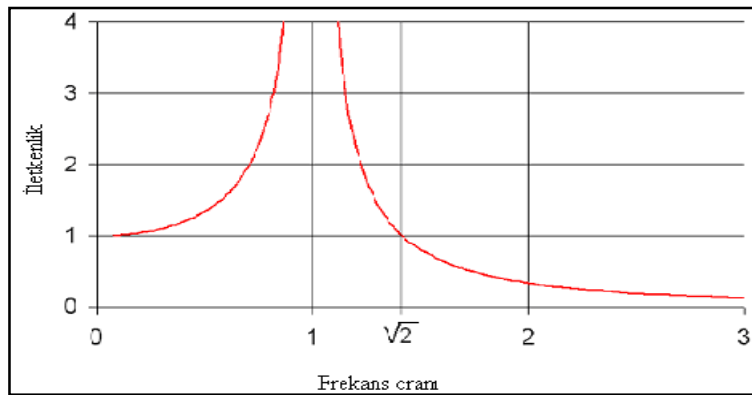
3.17 Numaralı diferansiyel denklemin genel çözümü,

$$x(t) = X_o \sin(\omega_n t + \theta) + \frac{U_o}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \sin \omega t \quad (3.8)$$

şeklindedir. Burada;

$$\frac{X_o}{U_o} = \left| \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \right| \quad (3.9)$$

Eşitliği iletkenlik değerini verir. 3.9 numaralı eşitlikten de anlaşılabileceği gibi iletkenlik, tahrik edilen sistemin titreşim niceliğinin, tahrik eden sistemin titreşim niceliğine oranıdır. İletkenlik değeri tahrik hareketinin frekansı ve sistemin sönümsüz doğal frekansına bağlıdır. Buna göre frekanslar oranı ile çizilen iletkenlik eğrisi Şekil 3.12’de görülmektedir [39].



Şekil 3.12. Sönümsüz zorlanmış titreşim sisteminde iletkenlik eğrisi [39]

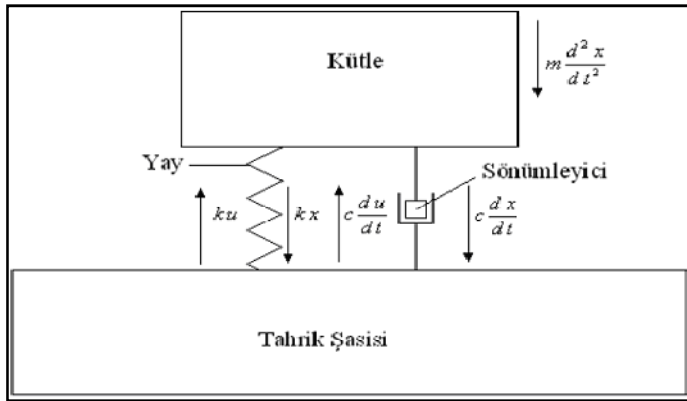
Şekil 3.12’de görülen grafik üç bölgede incelenebilir [39]; $\frac{\omega}{\omega_n} < 1$ bölgesi: bu bölgede iletkenlik değeri %100’ün üzerindedir. Bu bölgede tahrik edilen sistemden ölçülen titreşim niceliği değeri, tahrik eden sistemden ölçülen değerden daha büyüktür. Frekanslar oranı arttıkça, sisteme iletilen titreşim de artar.

$\frac{\omega}{\omega_n} = 1$ noktası: frekanslar 1 olunca, 3.9 numaralı eşitliğin paydası sıfır olacağından, iletkenlik oranı sonsuz büyüklüklere ulaşır. Bu nokta rezonans noktası olup, sistemin rezonans frekansı doğal frekansına eşittir.

$\frac{\omega}{\omega_n} > \sqrt{2}$ Bölgesi: bu bölgede iletkenlik oranı, frekanslar oranı arttıkça azalır. Bu bölgede, titreşim sisteminin ideal çalışma bölgesidir [39].

Sönümlü zorlanmış titreşim hareketi

Sönümlü zorlanmış titreşim sistemi Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.13. Sönümlü zorlanmış titreşim sistemi [39]

Şekil 3.13’de görülen sistem $u(t)$ yer değiştirme hareketiyle tahrik edildiğinde,

$m \frac{d^2 x}{dt^2}$, $c \frac{dx}{dt}$ ve kx dahili kuvvetleri ile $c \frac{du}{dt}$ ve ku harici kuvvetlerin etkisi altındadır.

Bu durumda sistemin diferansiyel eşitliği;

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{du}{dt} + kx = c \frac{du}{dt} + ku \quad (3.10)$$

yazılabilir. Sistem $u(t)$ yer değiştirme hareketi ile zorlandığında, sönüm katsayısı (c) sıfırdan büyük bir değerde ise, sistemin doğal frekansındaki salımlar sönümlenir ve zorlama frekansına uygun bir titreşim hareketi meydana gelir [47].

Zorlama hareketi basit harmonik hareket ile izah edilebilen sinüzoidal periyodik bir harekettir. Buna göre tahrik şasisinin yer değiştirme denklemi; $u(t) = U_0 \sin \omega t$ yazılabilir. Yukarıdaki denklem ile açıklanan zorlama hareketi harmonik olduğundan, titreşime zorlanan sistemin hareketi de harmoniktir. Hareketin denklemi; $x(t) = X_0 \sin \omega t$ olur. Bu değerler 3.9 numaralı denklemde yerlerine yazıldığında;

$$-mX_0\omega^2 \sin \omega t + cX_0\omega \cos \omega t + kX_0 \sin \omega t = cU_0\omega \cos \omega t + kU_0 \sin \omega t$$

$$X_0 \left[(k - m\omega^2) \sin \omega t + c\omega \cos \omega t \right] = U_0 (c\omega \cos \omega t + k \sin \omega t) \text{ elde edilir. Burada}$$

$$k = m_n^2, c = Dc_0 = D2\sqrt{km} = 2D\omega_n m \text{ olmak üzere;}$$

$$X_0 \left[(\omega_n^2 m - m\omega^2) \sin \omega t + 2D\omega_n m \cos \omega t \right] = U_0 (2D\omega_n m \omega \cos \omega t + \omega_n^2 m \sin \omega t)$$

$$X_0 m \left[(\omega_n^2 - \omega^2) \sin \omega t + 2D\omega_n \cos \omega t \right] = U_0 m (2D\omega_n \omega \cos \omega t + \omega_n^2 \sin \omega t)$$

$$X_0 = U_0 \frac{2D\omega_n \omega \cos \omega t + \omega_n^2 \sin \omega t}{(\omega_n^2 - \omega^2) \sin \omega t + 2D\omega_n \cos \omega t}$$

$$X_0 = U_0 \frac{\sqrt{4D^2\omega_n^2\omega^2 + \omega_n^4} \sin(\omega t + \theta)}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + 4D^2\omega_n^2} \sin(\omega t + \theta)}, X_0 = U_0 \left[\frac{\left(2D\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 1}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right) + \left(2D\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2} \right]^{1/2} \text{ elde}$$

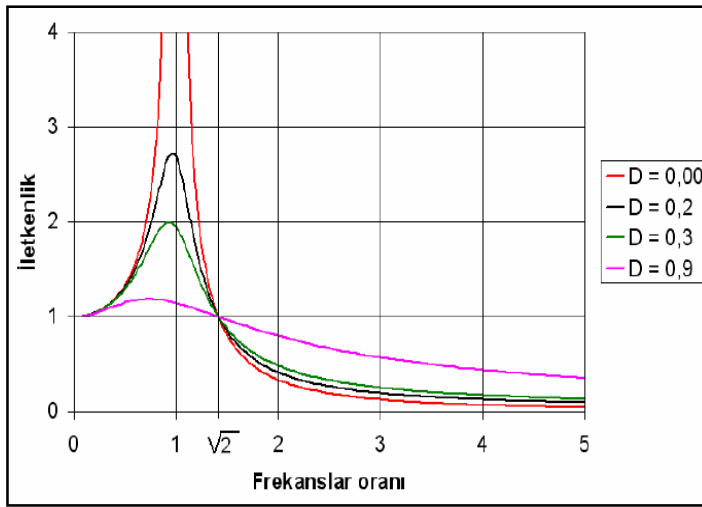
edilir [39]. Buna göre 3.10 numaralı diferansiyel denklemin genel çözümü;

$$x(t) = U_0 \left[\frac{\left(2D\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 1}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right) + \left(2D\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2} \right]^{1/2} \sin \omega t \quad (3.11)$$

olarak elde edilir. Burada iletkenlik oranı;

$$\frac{X_0}{U_0} \left[\frac{\left(2D \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 + 1}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2} \right) + \left(2D \frac{\omega^2}{\omega_n^2} \right)^2} \right]^{1/2} \quad (3.12)$$

formülü ile hesaplanır [47]. 3.12 numaralı eşitlikten yararlanılarak, sönümleme değeri ve frekanslar oranına bağlı olarak çizilen iletkenlik eğrileri Şekil 3.14’de görülmektedir.



Şekil 3.14. Sönümleme değeri ve frekanslar oranına bağlı olarak çizilen iletkenlik eğrileri [39]

$\frac{\omega}{\omega_n} < \sqrt{2}$ bölgesi: Bu bölgede titreşim sisteminde sönümleme elemanı kullanmak faydalıdır. Çünkü Şekil 3.14’den da görülebileceği üzere iletkenlik değerleri %100’den büyüktür. $\frac{\omega}{\omega_n} = 1$ olduğunda, iletkenlik oranı maksimum değere ulaşmaktadır. Bu nokta rezonans noktasıdır [39].

$\frac{\omega}{\omega_n} = \sqrt{2}$ noktası: Bu noktanın özel bir önemi vardır. Şekil 3.14’den da görülebileceği gibi, farklı sönümleme değerlerine sahip sistemlerin eğrileri bu noktada kesişmektedir.

$\frac{\omega}{\omega_n} > \sqrt{2}$ bölgesi: Bu bölge titreşim sisteminin ideal çalışma bölgesidir. Çünkü bu bölgede frekanslar oranı arttıkça, iletkenlik değerlerinde gözle görülebilir bir azalma olmaktadır.

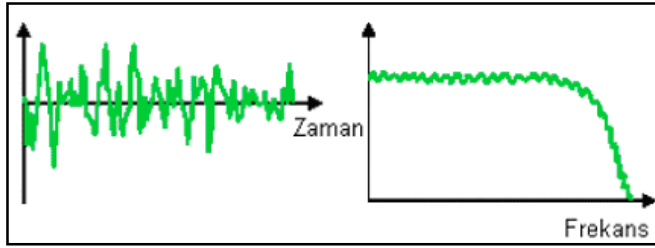
Periyodik titreşimler, teorik hesaplamalarda basit harmonik hareket ile karakterize edilmelerine rağmen, teknolojik uygulamalarda karşılaşılan titreşimlerin çoğu tam harmonik değildir. Şekil 3.3'den de görülebileceği gibi, periyodik hareket, frekansları f_1 ve f_2 olan genlikleri farklı harmonik hareketlerin bileşkesidir. Bu tür periyodik hareketlerin zaman düzleminde analiz edilmeleri zordur. Bu nedenle Fransız fizikçi Fourier tarafından formüle edilen frekans analiz yöntemi kullanılır. Fourier kuramı'na göre, periyodik bir hareket ne kadar karmaşık olursa olsun, frekansları harmonik olarak birbiriyle ilişkili çok sayıda hareketin bileşkesidir ve aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır [47].

$$Y(t) = X_0 + X_1 \sin(\omega t + q_1) + X_{21} \sin(2\omega t + q_2) + \dots + X_n \sin(n\omega t + q_n) \quad (3.13)$$

Bu şekilde meydana gelen periyodik bir hareket, frekans spektrumu ile gösterilir ve analiz edilir.

3.2.3 Rastgele titreşimler

Rasgele titreşimler, mevcut olan tüm frekanslarda genlik ve faz ilişkileri gelişigüzel bir dağılım gösteren, zamana bağlı olarak özellikleri tekrarlanmayan titreşimlerdir. Rasgele sinyaller, önceden tahmin edilemeyen anlık değerler şeklinde meydana gelen sinyaller ile karakterize edilebilir. Rasgele titreşime örnek olarak yağmur damlalarının şemsiye üzerinde oluşturduğu hareket gösterilebilir. Şekil 3.15'de bu hareket frekans ve zaman düzleminde gösterilmiştir [49].



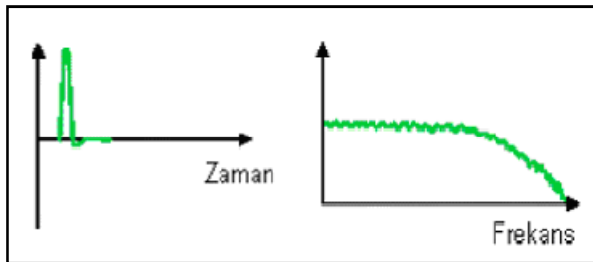
Şekil 3.15. Rasgele titreşim sinyalleri [49]

Şekil 3.15’den görülebileceği üzere, rasgele titreşim sinyali yağmur damlalarının şemsiye üzerine vurmasıyla oluşan çok sayıda anlık hareketin toplamına benzer. Bu anlık değerlerin matematiksel hesaplamalar yapılarak önceden tahmin edilmesi imkansızdır. Bununla beraber, rasgele titreşim hareketi istatistiksel yöntemler kullanılarak tanımlanabilir.

Şekil 3.15’deki frekans spektrumuna bakıldığında periyodik titreşimlerden farklı olduğu görülür. Periyodik titreşim hareketinin frekans spektrumu kesikli bir yapı gösterir iken, rasgele titreşim hareketi, belirli frekanslarda uzun süre yoğunlaşmayan sürekli bir frekans spektrumuna sahiptir [49]. Bu nedenle teknolojik uygulamalarda karşılaşılan titreşimlerin büyük çoğunluğu rasgele karakterli titreşimlerdir.

3.2.4 Şok

Mekanik şok; patlama, çarpışma sistemden kaynaklanmayan ani vuru ve darbe gibi dış etkiler nedeniyle oluşan ani enerji boşalmasıdır [49]. Çeşitli dış etkiler nedeni ile oluşan şok sinyali ve spektrumuna ait bazı örnekler Şekil 3.16’da görülmektedir.



Şekil 3.16. Şok sinyali [49]

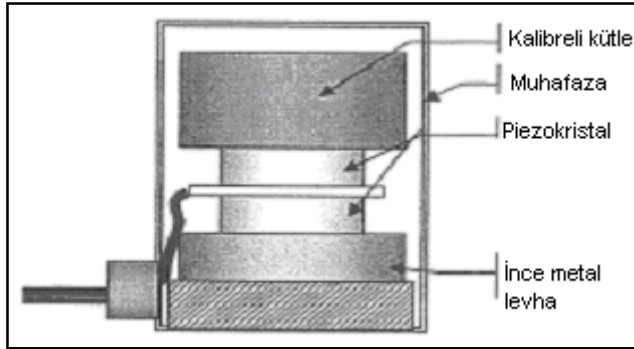
Şekil 3.16'dan da görülebileceği gibi, şok sinyali birçok frekans içerir. Eğer şok sinyali sonsuza kadar devam eden bir hareket olsa idi, rasgele titreşim hareketinin spektrumu gibi kesiksiz, sürekli bir frekans spektrumuna sahip olurdu. Ancak şok titreşimi anlık bir hareket olup, frekans spektrumu belirli bir bant genişliği ile sınırlıdır [49].

3.3. Titreşimin Ölçülmesi

Titreşim hissedilemeye ve tanınmaya başladığından beri imalat sanayisinde titreşimi düşük seviyelere çekebilmek için çeşitli çalışmalar halen yapılmaya devam etmektedir. Daha önceden çalışanların el ile veya sesleri dinleyerek kontrol etmeye çalıştıkları titreşim, günümüzde gelişmiş teknolojik cihazlar ile tespit edilmeye çalışılmaktadır. 21. yüzyıl teknolojisinde titreşim, dinamik sistemlerde oluşabilecek arızayı önceden tespit etmekte ve önleyici bakımda titreşim kontrolleri önemli rol oynamaktadır. İmalat sanayisinde kullanılan takım tezgahlarının titreşiminin sıfıra yakın olması arzu edilir. Çünkü tezgah ve kesicilerde oluşacak titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği bilinmektedir. Titreşim genellikle hareketli parçaların ve bunlarla temasta bulunan sistemlerin içindeki dinamik kuvvetlerin etkisi ile oluşmaktadır [44].

Son zamanlarda elektronik teknolojisinin de gelişmesi ile birlikte titreşimin ölçülebilmesi için birçok titreşim ölçüm araçları da yaygınlaşmış ve teknoloji ile birlikte gelişim göstermiştir. Bir sistemde titreşimin ölçülebilmesindeki en önemli parametre titreşimin frekansı ve ivmesidir. Titreşim ölçüm tekniğinde sensör ve transdüser birbirlerinin yerine çok kullanılan terimlerdir. Titreşim genliği ve açısı olan bir kemiyettir. Bunun için bir vektör olarak düşünülmeli ve uzayda bir kartezyen koordinat sistemine iz düşümleri düşürülerek bileşenlerine ayrılmalıdır. Bu vektörel büyüklükler genlik, yani noktanın yer değiştirmesi, hız ve ivme olarak düşünülmelidir [50].

Bir sistemin titreşimini ölçebilmek için titreşimin spektrum analizine ihtiyaç vardır. Titreşimin spektrumu bir cisme etki eden kuvvetler sonucunda meydana gelen titreşimin (0) sıfır 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 etkilenerek sıkışma ya da gevşeme yapar. Direnç üzerinde akım değişimine neden olan bu durum voltaj değişimi nedeni ile yer değiştirme değerinin ölçülmesini sağlar. Genellikle mil ile yatak arasındaki değişimlerin ölçüldüğü kaymalı yataklarda kullanılır. İkincisi ise hız ölçer 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 ivme ölçer 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 3.17’de 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 $F=M(Kütle) \times A(İvme)$ 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 geçilirse, burada oluşacak voltaj mV(milivolt) seviyesinde olur. Bu milivolt seviyesindeki voltajlar ölçüm cihazları tarafından genlikler olarak cihazın ekranında çizgi şeklinde gözükür [51].

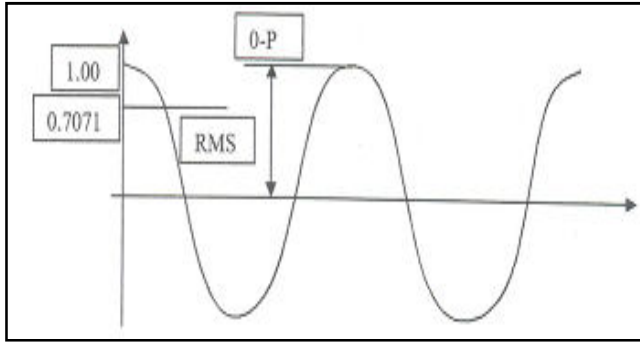


Şekil 3.17. Titreşim ivme sensörü (Akselometre) yapısı [51]

Sensörlerin yapıları itibarı ile ölçüm noktasından üç şekilde ölçüm değeri alınır. Birincisi elle tutulan problar olup bunlar elle kavramaya yarayacak bir sap içersine yerleştirilmiş ve sivri bir uca sabitlenmiş tutacaklı problardır. Bunlar uygulamalarda çok popüler olmalarına karşı hatalı ölçüm değerlendirmeye neden olduğundan ve elle tutulduğundan titreşimi sönümleme ihtimaline karşı verimli bir ölçüm yapamaz. İkincisi ise manyetik problardır. Bu problar elle ölçüm yapılan problemlara göre daha iyi ölçüm yapmalarına rağmen manyetik çekim alanlarından yararlanarak yapışmalarından dolayı ölçüm noktasında ve yüzeye tam oturmasında sorunlar çıkarabilmektedir. Bu da titreşim frekansının tam olarak algılanmasında yeterli değildir. Üçüncüsü vidalı problar olup, ölçüm noktalarının üzerine vidalı montaj edilip en doğru ölçümü alma şeklidir. TSE ve ISO standartları tarafından en doğru prob bağlama yöntemi olarak kabul edilen yöntemdir. Vidalı prob bağlama yöntemi, ölçüm hassasiyeti açısından en çok tavsiye edilen yöntemdir [44].

Titreşim ölçüm cihazları çok kısa bir süre zarfında bugünkü halini almıştır. İlk önceleri ölçülen titreşimlerin incelenmesinde bir teybe ses kaydeder gibi, sinyaller banda kayıt edilirdi. Günümüzde kullanılan cihazlarda hem hafızasında saklama özelliği olup sinyaller bilgisayara aktarılabilmekte ve hem de yazıcıdan grafikleri alınabilmektedir. Titreşim ölçüm cihazları ivme sensörlerinden aldığı milivoltajları genliklere çevirir. Bu cihazlar FFT (Fast Fourier Transform) sistemi ile çalışır. Cihazın içindeki bilgisayar programının kullandığı algoritmanın matematiksel kolaylıklarından yararlanılarak kısa sürede yapıyor olmasıdır. Cihaz, Layn denilen FFT işleminde geliş güzel titreşimlerin kaç adet Fourier bileşenine ayrıldığını

gösterir. Yani cihaz gelişi güzel titreşimleri zaman düzleminde alıp bunu dörtyüz (400) adet sinüs ve dörtyüz (400) adet kosinüs bileşeni olarak ifade edecek ve bunların her bileşendeki genliğin seviyesini bulup bunu bir çizgi olarak ifade edecektir. Bu çizgiler titreşim ölçüm cihazı ekranında gözükür. Bu çizgiler genlik olarak ifade edilir ve bu genliklerin seviyesinden bahsedilirken RMS seviyesinden bahsedilir. ABD’de 0-P (Sıfır noktası ile pik) kullanılmasına karşın ISO kullanan ülkelerde titreşimin hızının veya ivmesinin RMS (root-mean-squared) seviyesi kullanılır. RMS titreşim seviyesi, bir spektrumdaki her pikin karesi alınıp, hepsi toplandıktan sonra ortalamalarının karekökü alındığında elde edilen değeridir. RMS seviye, 0-P seviyenin 0,7071’i kadardır (Bkz. Şekil 3.18) [51].



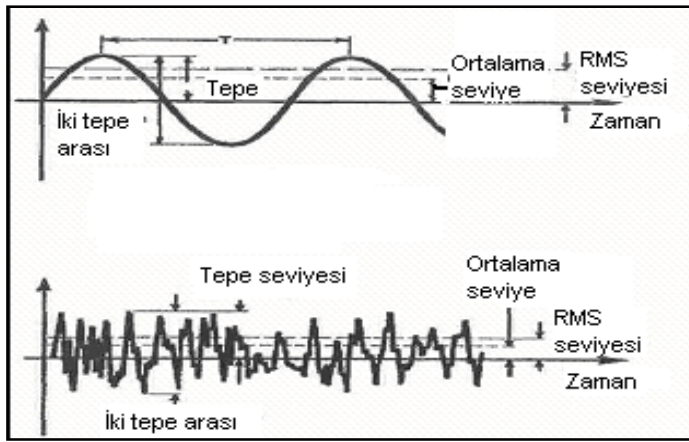
Şekil 3.18. Bir genliğin pik seviyesi ile RMS seviyesinin karşılaştırılması [51]

Titreşim vektörel bir büyüklüktür. Titreşimin gerçek büyüklüğünü doğru olarak belirlemek için kartezyen koordinat sisteminin her üç eksen de mutlaka ölçüm yapmak gerekmektedir. Bu üç eksen de ölçüm aynı anda yapılmalıdır. Zira faz farkından dolayı sağlıklı ölçüm yapılamaz. Bunun için üç eksen de ölçüm yapabilen sensörler geliştirilmiştir [51].

3.3.1. Titreşim seviyesi

Titreşim seviyesinin büyüklüğü, karakteristiğine de bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Şekil 3.19) [52, 53]:

- a. İki tepe arasındaki değer: Maksimum tepe değerini verdiğinden dolayı dönen makine elemanlarında yer değiştirme ölçümlerinde kullanılır.
- b. Tepe değeri: Kısa şokların ölçülmesi için kullanılan metottur.
- c. Ortalama değer: Titreşim sinyallerinin ortalama değerini verir.
- d. RMS değeri: Titreşim büyüklüğünü ölçmek için kullanılan en yaygın metottur. Enerji miktarı ile direkt ilgili olduğundan, titreşimin yıkıcı etkisinin tespiti açısından önemlidir.



Şekil 3.19. Titreşim seviyelerinin tarifi [52]

3.3.2. Titreşim birimleri

Titreşim, sanayide aşağıdaki birimlerden biriyle ölçülmektedir. Günümüz modern titreşim ölçme sistemlerinin çoğu, her üç vibrasyon birimini de ölçebilecek şekilde dizayn edilmişlerdir. Bu birimler;

- I) Yer Değiştirme Ölçümü: Düşük frekanslı titreşimlerin ölçülmesinde iyi sonuçlar verir. Ayrıca dönen parçaların balanssızlık seviyelerinin ölçülmesinde de kullanılır.
- II) Hız Ölçümü: Çok yüksek frekanslar söz konusu değilse, titreşim ölçmede kullanılabilecek bir metottur.
- III) İvme Ölçümü: Geniş frekans aralıklarında titreşim seviyesinin ölçülmesinin yapılabileceği en iyi metottur.

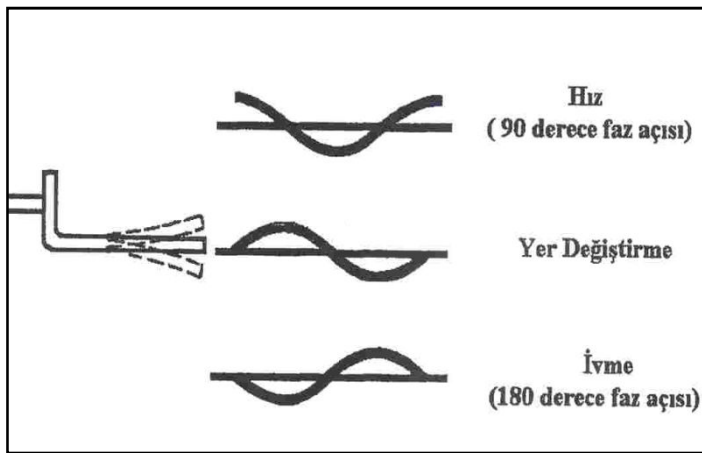
Her üç birim birbirine dönüştürülebilir [1].

$$\dot{I}vme = a \left[m / s^2 \right] \quad (3.14)$$

$$Hız = v = \frac{a}{2 \cdot \pi \cdot f} = \int a \cdot dt \quad (3.15)$$

$$Yer Değiştirme = d = \frac{a}{2 \cdot \pi^2 \cdot f^2} = \int v \cdot dt \quad (3.16)$$

Şekil 3.20'den de görüldüğü gibi, titreşim birimleri arasında faz farkı vardır [52].



Şekil 3.20. İvme, Yer değiştirme ve hız titreşim birimleri [52]

4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

4.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemi

İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli etkenlerdendir [54]. Malzemelerin işlenmesi esnasında kullanılan her bir parametre yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir [55]. Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir. Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı, devir sayısı gibi parametrelere bağlıdır. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu yüzden makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir [56].

Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan imalat metotları ile ve başka etkilerle ortaya çıkan, mutlak tarzda genellikle başka düzensizliklerle sınırlanan oldukça küçük aralıklı yüzey düzensizlikleridir. Kesici takımdan veya üretim sürecindeki diğer problemlerden kaynaklanan yüzey düzensizlikleri pürüzlülük olarak tanımlanır. Pürüzlülük çapraz ilerleme izleri ile diğer düzensizlikleri kapsar. Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna işlem kalitesi denilmektedir. Parçanın geometri, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan yüzey kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Boyut kalitesi, parçanın gerçek boyutları arasında müsaade edilen saplamalardır. Bu sapmalar boyut toleransları ile ifade edilir. Boyut toleransları imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne göre tayin edilirler. Geometri kalitesi, müsaade edilen şekil ve konum sapmalarını içerir. Bunlar ideal silindirik şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksensel sapmalar olmak üzere üç gruba ayrılır [57].

4.2. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

İşleme kalitesine etki eden faktörler dört grupta incelenir [57].

I) Takım tezgahına ait sapmalar; tezgahın kinematik mekanizmasındaki mevcut olan hataların etkisinden, ana mil ile kızak yüzeylerinin paralel olmamasından, tezgahın tüm mekanizmaları ve yataklama sistemlerindeki mevcut olan sapmalar ve boşlukların etkisinden, gövde ve ana milin yeterince rijit olmamasından dolayı oluşur.

II) Tezgah sistemine ait hatalar; ana elemanların imalat hatalarından, tertibatın yeteri kadar rijit olmamasından, ana elemanlarda oluşan hatalardan kaynaklanır.

III) Takım sistemine ait hatalar; takımın konum bakımından hatalı bir şekilde tutturulmasından, kesme kuvvetlerinin etkisi altında şekil değiştirmelerin oluşması ve takımın aşınmasından kaynaklanır.

IV) Ortamın etkisi altında meydana gelen hatalar; sıcaklığın oluşturduğu şekil değiştirmeleri ve diğer tezgahlardan gelen titreşimlerden kaynaklanır [57].

4.3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Diğer Önemli Faktörler

Gerçek yüzey pürüzlülüğüne etki eden önemli faktörler aşağıdaki gibi sıralandırılabilir [58, 59].

I) Kesici takımdaki titreşimler,

II) Kesici takım geometrisi,

III) İşlenen iş parçasındaki titreşim ve salgılar,

IV) İşleme takım hareketlerindeki bozukluklar,

V) Kesme sırasında ilerleme miktarı,

- VI) Kesme sırasında hız miktarı,
- VII) Verilen talaş derinliği,
- VIII) İlerleme mekanizmasındaki düzensizlik,
- IX) Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu,
- X) İş parçalarındaki malzeme yapı bozuklukları,
- XI) Kesici uç üzerine talaşın yapışması,
- XII) Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesme kenarında oluşan izler ve aşınma,
- XIII) İşlenen malzemelerin süreksiz talaş vermesi Düşük kesme hızıyla işlenen yumuşak malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,
- XIV) Talaş akışının sebep olduğu yüzey bozulması,
- XV) İş parçasının talaş kaldırılan yüzeyinden 100 mikrometre derinlikteki fiziksel ve kimyasal özellikler [58, 59].

4.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemleri

Çizelge 4.1’de yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri verilmiştir [58, 59]. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde kullanılan birçok metod vardır fakat ortalama çizgi sistemi (M) ve zarf sistemi (E) bunlardan en fazla kullanılanlarıdır.

Çizelge 4.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri [58]

ÖLÇME YÖNTEMİ	UYGULAMA ŞEKLİ			ÖLÇME HASSASIYETİ			
	Tahribath	Tahribatsı	Temaslı	Temassız	Kaba	Orta	Hassas
Dokunma Yöntemi		*	*		*		
Mekanik Çalışma Yöntemi	*		*		*		
Hidrolik Metot		*	*		*		
Pnomatik Metot		*		*			*
Yüzey Dinamometresi	*		*		*		
Kapasitans Yöntemi		*		*		*	
X Işını Yöntemi		*		*			*
Elektron Mikroskobu Yöntemi		*		*			*
Optik Mikroskobu Yöntemi		*		*	*		
Kesit Alma Yöntemi	*		*		*		
Karşılaştırma Mikroskobu Yöntemi		*		*	*		
Optik Yansıtma Yöntemi		*		*			*
Optik Parazit Aletleri Yöntemi		*	*			*	
Işık Yansıması (interferometre) Yöntemi		*		*			*
Replika (mask) yöntemi		*	*		*		
Standart Örnek Yüzeyler Yöntemi		*		*	*		
Işık Bantlı Mikroskop Yöntemi		*		*			*
Elektro-Fiber Optik Sistem Yöntemi		*		*			*
Interferans Mikroskop Yöntemi		*		*			*
Kisilev Profilometresi Yöntemi		*	*				*
Yaylı Tip Profilometresi Yöntemi		*	*				*
Elektrikle Çalışan Profilometresi Yöntemi		*	*				*
Levin Profilografi Yöntemi		*		*		*	

4.5. Milli Standartlar

Yüzey pürüzlülüğünün tanımlanmasında bazı ülkeler çeşitli milli standartlar getirmişlerdir. Avrupa’da zarf sistemi daha fazla tercih edilirken, Amerika ve İngiltere gibi ülkeler ortalama çizgi sistemini tercih etmişlerdir. Bazı ülkelerin kullanmakta olduğu simgeler çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Ayrıca seçilen imalat yönteminin yüzey pürüzlülüğü aralıkları da çizelge 4.3’de verilmiştir [58, 59].

Çizelge 4.2. Yüzey kalitesini değerlendirmekte kullanılan milli standartlar [58]

<i>Ülke</i>	<i>Kullanılan Sistem</i>	<i>Ölçme Birimi</i>	<i>Tavsiye Edilen Sayısal Değerler</i>
Avusturya	M	μm	Rt (Rmax)
Kanada	M	μin	Ra
Çekoslovakya	M	μm	Ra veya Rt
Danimarka	M	μm	Ra
Fransa	E	μm	Ra
Almanya	E	μm	Rt
İngiltere	M	μin	Ra
İtalya	E	μm	Ra
Japonya	M	μm	Rt
Hollanda	M	μin	Ra
İspanya	M	μm	Ra
İsveç	M	μm	Ra
Amerika	M	μin	Ra
Rusya	M	μm	Ra
Türkiye	M	μm	Ra

Çizelge 4.3. Seçilen imalat yöntemlerinin yüzey pürüzlülüğü aralıkları [58, 59]

Metot	Ortalama Pürüzlülük Ra, mikrometre μm , mikroiç $\mu inç$													
	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	0.012	
	2000	1000	500	250	125	83	32	16	8	4	2	1	0.5	
Alevle Kesme														
Kopartma														
Testere İle Kesme														
Planyalama/Vargelleme														
Delme														
Kimyasal İşleme														
Elektro Erozyon														
Frezeleme														
Broşlama (Tığ Çekme)														
Raybalama														
Elektro Işını İle İşleme														
Lazer														
Elektro Kimyasal İşleme														
Tornalama														
Tamburda Parlatma														
Elektrolitik Taşlama														
Fırça İle Parlatma														
Dövme														
Honlama														
Elektro Polisaj														
Polisaj														
Lebleme														
Süper Bitirme														
Kum Döküm														
Sıcak Haddeme														
Dövme														
Hassas Kalıpta Dökme														
Hacim Kalıplama														
Ettrüzyon														
Soğuk Haddeme/Çekme														
Kalıpta Dökme														

Yukarıda, tipik işlemlerin aralıkları listelenmiştir

Özel durumlarda deha yüksek ve daha düşük değerler elde edilir

■ Genel (Ortalama) Uygulamalar

■ Daha Az Yapılan Uygulamalar

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Deneysel Çalışma

5.1.1. Kesici takım ve takım tutucu

Deneyler ISO 8688-1 ve 8688-2’de belirtilen deney şartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiş ve deneylerde Bering marka TPKN 2204 PDR PK6030 TiN kaplı karbür kesici uç ile Takımsaş marka FKR 2017 0080 takım tutucu kullanılmıştır.

5.1.2. Deney malzemeleri

Gerçekleştirilen deneylerde, deney malzemesi olarak imalat sanayisinde geniş kullanım alanı olan AISI 1050 (DIN 1.1210) karbon çeliği kullanılmıştır. Bu malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.1’de verilmiştir. Ham deney malzemesi 100x50x20 mm boyutlarındadır. Malzemenin düzlem yüzeyi, dış yüzey tabaka sertleşmesi ihtimaline karşılık 0,5 mm talaş derinliğinde freze tezgahında yüzey frezeleme işlemine tabi tutulup ardından taşlama işlemi gerçekleştirilmiş ve dış yüzeydeki olumsuzluklar ortadan kaldırılmış böylece deney numuneleri, deneyler için hazır hale gelmiştir.

Çizelge 5.1. AISI 1050 Deney malzemesinin kimyasal bileşimi

C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
0,430	0,212	0,730	0,0197	0,0390	0,0776
%Mo	%Ni	%Al	%Co	%Cu	%Fe
0,00752	0,0972	0,0110	0,00603	0,297	98,06

5.2. Freze Takım Tezgahı

Deneylerde kullanılan numuneler Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı CNC Atelyesinde bulunan

FANUC kontrol ünitesine sahip “Johnford VMC-550” sanayi tipi CNC freze tezgahında işlenmiştir.

5.3. Ölçme Cihazları

5.3.1. Titreşim ölçme cihazı

Deneylerde Milli Eğitim Bakanlığı Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü Matbaa Bölümünde bulunan Commtest VB 3000 Titreşim analiz cihazı (spektrum Analizörü) kullanılmıştır. Cihazla ölçümlere başlamadan önce deney kodları cihaza kaydedilip (örn: A1U1), kesme işlemi esnasında deney koduna göre titreşim RMS seviyesi ölçüm değeri alınmıştır. Titreşim ölçme cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Commtest VB 3000 titreşim ölçme cihazının teknik özellikleri

Frekans ölçüm aralığı	1-20000 Hz
Seviyeleri karşılaştırma biçimi	ISO2372-ISO10816’e göre otomatik
Faz ölçüm analizleri	Spektrum, zaman düzlemi, demodulation, yörünge ve sınır çizme, çapraz kanal
Test türleri	Vurma testi, Run-up/Coast Down test, zaman senkronize ortalama

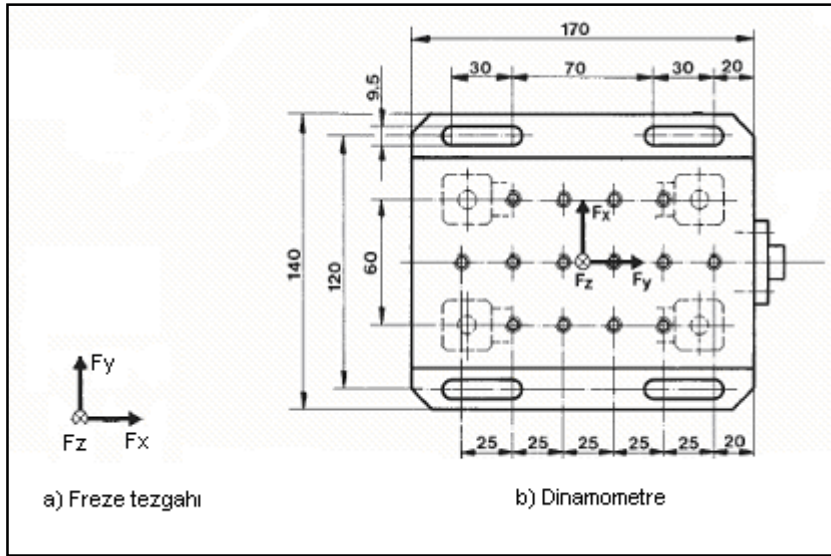
Titreşim sensörü (ivmemetre), dinamometre üzerine tespit edilen iş parçasına kesme yönü doğrultusunda mıknatıslanmış ve her deney için aynı noktadan kesme yönündeki titreşim ivme seviyeleri alınmıştır. Titreşimler tek yönlü olarak ölçülmüştür. Titreşim ivme seviyeleri (RMS) her deneyde ayrı ayrı ölçülmüştür. Titreşim sensörünün teknik özellikleri Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Titreşim sensörü teknik özellikleri

Hassasiyet	100 mV/g
Gövde	Paslanmaz çelik
Frekans ölçüm aralığı	0,5 Hz ile 15 kHz
Dinamik ölçüm aralığı	±50 g
Kullanım sıcaklık aralığı	-50°C ile 121°C
Bağlantı türü	Konektör bağlantılı

5.3.2. Kuvvet ölçme cihazı (dinamometre)

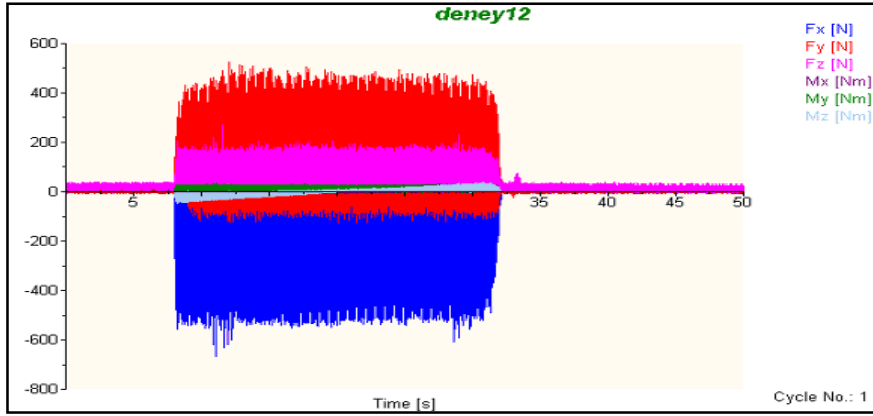
Kuvvet ölçme cihazı olarak, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı CNC Atelyesinde bulunan KİSTLER 9257B tipi dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre ve freze tezgahı üzerindeki kuvvet yönleri Şekil 5.1’de, dinamometrenin teknik özellikleri ise Çizelge 5.4’de verilmiştir. Deneylerde elde edilen kesme kuvveti grafikleri Şekil 5.2’deki gibi elde edilmiştir. Kesme işlemi sonunda kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerleri esas alınarak, ortalama F_x , F_y , F_z kuvvetleri belirlenmiştir. Değerlendirme aşamasında, tüm deneylerde en yüksek kuvvet değeri olan, freze tezgahına göre F_x yönündeki kesme kuvveti bileşeni değerleri esas alınmıştır. Şekil 5.3’de ise örnek deneyin kesme kuvvetlerinin ayrıntılı olarak dağılımı verilmiştir. Dinamometrenin tezgaha bağlantısı ve deney düzeneği şematik olarak Şekil 5.4’de görülmektedir.



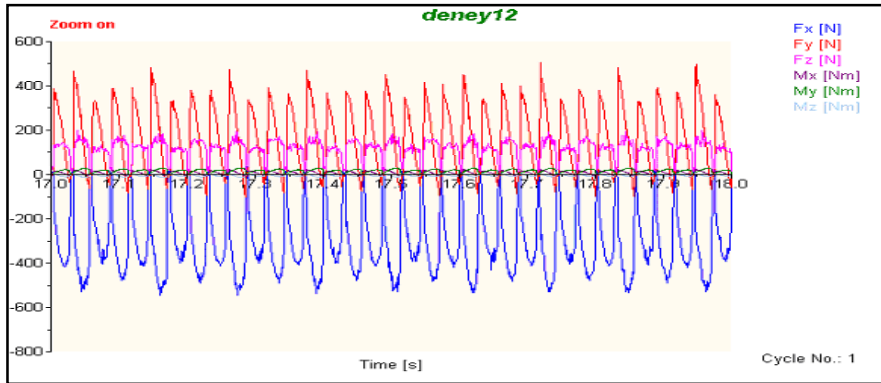
Şekil 5.1. Dinamometre ve freze tezgahı üzerindeki F_x , F_y ve F_z yönleri

Çizelge 5.4. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri

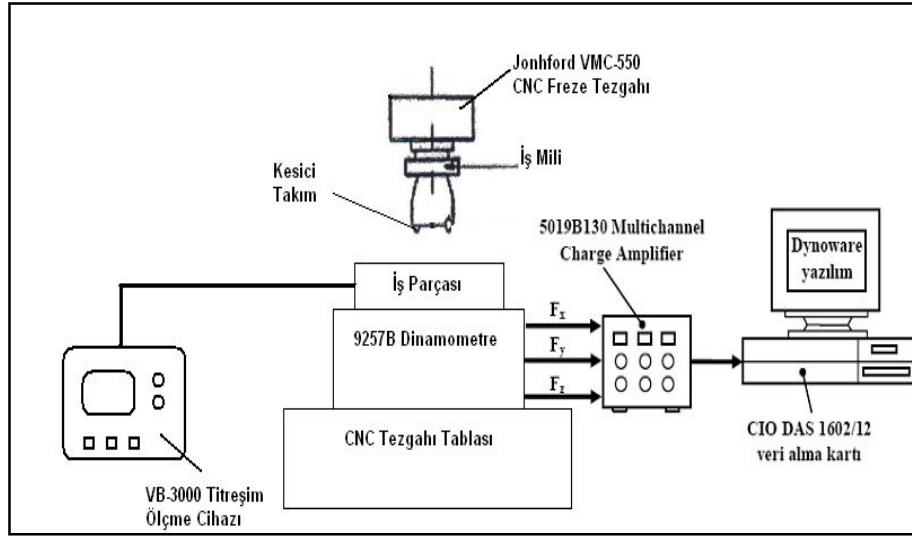
Kuvvet aralığı (kN) (Fx, Fy, Fz)	-5...10
Tepki verme (N)	<0.01
Hassasiyet (pC/N) Fx, Fy	-7.5
Fz	-3.5
Doğrusallık	%1 FSO
Histerezis	%0.5 FSO
Doğal frekans $f_0(x,y,z)$ (kHz)	3.5
Çalışma sıcaklığı (°C)	0...70
Kapasitans (pF)	220
20 °C'daki yalıtım direnci (Ω)	> 1013
Topraklama sınıfı (Ω)	> 108
Koruma sınıfı	IP 67
Ağırlık (kg)	7.3



Şekil 5.2. Kistler 9257B tipi dinomometro ile zaman bağlı ölçülen kesme kuvvetleri



Şekil 5.3. Kistler 9257B tipi dinomometro ile zaman bağlı ölçülen ayrıntılı kesme kuvvetleri



Şekil 5.4. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi

5.3.3. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı

Deneyle gerçekleştirildikten sonra frezeleme işlemlerine tabi tutulan yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri “Mahr” marka Perthometer M1 tipi, masa üstü ve yazılı çıktı alınabilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile yapılmıştır. Her deney malzemesi üzerinden 3 ayrı noktadan ölçüm yapılmış ve bu üç değerin ortalaması alınmıştır. Çizelge 5.5’de Perthometer M1 cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.5. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri

Model	M1
Tarama hızı	0,5 m/sn
Tarama kuvveti	0,75 mN
İğne uç yarı çapı	2 μ m
Ölçüm aralıkları	100-150 μ m
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gaussian
Örnekleme uzunluğu (Cut-off length) (λ)	0,25 – 0,8 – 2,5 (mm)
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 – 5,6 – 17,5 (mm)
Ölçülebilen parametreler	Ra, Rz, Rmax
Dil	Seçilebilir 10 Avrupa, 3 Asya dili
Güç kaynağı	Entegre, NiCd şarj edilebilir pil
Boyutlar	190 x 170 x75 mm
Yaklaşık ağırlık	90 gr

5.4. Deney Değişkenleri

Kesme parametreleri belirlenirken takım üretici firma verileri ve ISO 8688-1 ve 8688-2'deki öneriler dikkate alınarak, iki farklı kesme derinliği, üç farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme hızı ve üç farklı kesici uç sayısı belirlenmiştir. Kesici takım için ISO 8688-1 ve 8688-2'nin önerdiği uygun talaş derinlikleri olarak 1 mm ve 1.5 mm seçilmiştir. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri Çizelge 5.6'da tablo halinde özetlenmiştir.

Çizelge 5.6. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri

	Deney Numarası	Kesme Derinliği, az, mm	İlerleme Miktarı, Fz, mm/tooth	Kesme Hızı, V, M/min	Kesici Uç Sayısı, Adet	
1. Grup	1	1	0.05	132	1	
	2				2	
	3				4	
	4				1	
	5		0.1		2	
	6				4	
	7				1	
	8				2	
	9				4	
	10		0.2		1	
	11				2	
	12				4	
	13		0.05	220	1	
	14				2	
	15				4	
	16				1	
	17		0.1		2	
	18				4	
	19				1	
	20		0.15		2	
	21				4	
	22				1	
	23		0.2		2	
	24				4	
	25		0.05	308	1	
	26				2	
	27				4	
	28				1	
	29		0.1		2	
	30				4	
	31				1	
	32		0.15		2	
	33				4	
	34				1	
	35		0.2		2	
	36				4	

Çizelge 5.6 (Devam) Deneylerde kullanılan işleme parametreleri

	Deney Numarası	Kesme Derinliği, a_z , mm	İlerleme Miktarı, F_z , mm/tooth	Kesme Hızı, V , M/min	Kesici Uç Sayısı, Adet
2. Grup	37	1.5	0.05	132	1
	38				2
	39				4
	40				1
	41		2		
	42		4		
	43		1		
	44		2		
	45		4		
	46		1		
	47		2		
	48		4		
	49		0.05	220	1
	50				2
	51				4
	52				1
	53		2		
	54		4		
	55		1		
	56		2		
	57		4		
	58		1		
	59		2		
	60		4		
	61		0.05	308	1
	62				2
	63				4
	64				1
	65		2		
	66		4		
	67		1		
	68		2		
	69		4		
	70		1		
	71		2		
	72		4		

5.5. Deneylerin Yapılışı

Deney düzeneği Şekil 5.4’de belirtilen deney düzeneğine uygun olarak kurulmuştur. KİSTLER 9257B kuvvet ölçüm cihazı freze tezgahı tablasına bir komperatör yardımı ile paralel ve rijit bir şekilde monte edilmiştir. Daha sonra dinamometre üzerine alyan başlı vida yardımı ile daha önceden deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan AISI

1050 elik iş parçası bağlanılmış ve iş parçasının üzerine ise VB 3000 titreşim lme cihazının mıknatıslanma özelliğine sahip titreşim lme sensörü mıknatıslanmıştır.

CNC freze tezgahında işleme parametrelerinden olan kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği için gereken ayarlamalar yapılmış ve sistem hazır hale getirilmiştir. Deney düzeneği ilk başta yüksüz olarak çalıştırılmış ve sistem ayrıntılı bir şekilde kontrol edilmiştir. Kontrol işlemleri esnasında boş vaziyette çalışan freze takım tezgahının kuvvet ve titreşim ivme seviyeleri kayıt edilmiştir. Daha sonra yukarıda verilen işleme parametrelerine göre iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 100x50x20 mm boyutlarında 72 adet AISI 1050 deney numunesi kullanılmıştır. Her bir işlem sırasında kesme kuvveti, titreşim ivme seviyeleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deneylerde her bir işlem için ayrı kesici takım kullanılarak toplam 72 adet deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Giriş

Frezeleme işlemleri tornalama işlemlerindeki sürekliliğin aksine, kesintili-vuruntulu talaş kaldırma işlemi olduğundan, kesme işlemi esnasında oluşan radyal ve eksenel kuvvetler freze tezgahını titreşime zorlamaktadır. Kesme için gereken kuvvetler ve titreşimler kesme işlemi esnasında iş parçasını yer değiştirmeye zorlamaktadır. Bu durum kesici takımdan istenilen verimin elde edilememesine ve yüzey kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Frezeleme işlemlerinde, işlenen yüzeyin kalitesini artırabilmek, tezgah kapasitesinin tamamını kullanmak ve maliyeti azaltmak için en uygun frezeleme parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Üretim sektöründe önemli bir yeri olan frezeleme işlemleri için bu parametrelerin belirlenmesi, imalatla son derece önemli tasarruf ve iyi bir yüzey kalitesine neden olacaktır.

Bu çalışmada; kesme işlemleri esnasında kesme kuvvetlerini ve titreşimleri etkileyen işleme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kesici uç sayıları deney değişkenleri olarak seçilmiştir. CNC freze takım tezgahında, AISI 1050 çeliği frezeleme işlemleri, 0,05, 0,1, 0,15, 0,2 mm/tooth ilerleme, 132, 220, 308, m/min kesme hızı, 1 ve 1,5 mm kesme derinliği ile 1, 2, 4 adet kesici uç sayıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu işleme parametreleri altında yapılan deneylerde AISI 1050 çelik malzemesi, belirlenen ilerlemeler, kesme hızları, kesme derinlikleri ve kesici uç sayıları ile simetrik frezeleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Her bir deneyde, kesme işlemleri esnasında iş parçasına gelen kuvvetler (x, y ve z eksenlerindeki), titreşim değerleri ve yüzey pürüzlülük değerleri grafiksel ve sayısal olarak belirlenmiştir.

6.2. DeneySEL Veriler

Gerçekleştirilen deneylerde elde edilen kesme kuvvetleri (N), titreşim ivme

seviyeleri (RMS) ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) Çizelge 6.1.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deneylerde elde edilen x yönündeki kesme kuvveti bileşeni (N), titreşim ivme seviyesi (RMS) ve ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

	Deney Kodu	Kesme Derinliği, az, mm	İlerleme Miktarı, Fz, mm/tooth	Kesme Hızı, V, M/min	Kesici Uç Sayısı, adet	X Yöündeki Kesme Kuvveti Bileşeni Fx (N)	Titreşim İvmesi RMS (m/s/s)	Ort. Yüzey Pürüzlüğü. Ra (µm)
1. Grup	A1U1	1	0.05	132	1	180	0.108	0.772
	A1U2				2	202	0.122	0.685
	A1U4				4	327	0.195	0.776
	A2U1		0.1		1	263	0.14	0.673
	A2U2				2	412	0.195	0.784
	A2U4				4	361	0.366	1.014
	A3U1		0.15		1	405	0.206	0.83
	A3U2				2	500	0.287	0.952
	A3U4				4	371	0.495	0.856
	A4U1		0.2		1	478	0.429	1.168
	A4U2				2	698	0.478	1.239
	A4U4				4	534	0.664	1.518
	B1U1		220	0.05	1	214	0.147	0.668
	B1U2				2	383	0.172	0.759
	B1U4				4	524	0.367	0.719
	B2U1			0.1	1	305	0.272	0.483
	B2U2				2	439	0.318	0.871
	B2U4				4	563	0.558	1.007
	B3U1			0.15	1	383	0.326	0.372
	B3U2				2	498	0.398	0.303
	B3U4				4	742	0.835	1.264
	B4U1			0.2	1	476	0.448	0.56
	B4U2				2	556	0.512	0.69
	B4U4				4	600	0.848	1.592
	C1U1	308	0.05	1	163	0.184	0.373	
	C1U2			2	212	0.218	0.657	
	C1U4			4	246	0.365	0.395	
	C2U1		0.1	1	288	0.317	0.565	
	C2U2			2	363	0.353	0.753	
	C2U4			4	327	0.427	0.875	
	C3U1		0.15	1	341	0.318	0.453	
	C3U2			2	532	0.507	0.685	
	C3U4			4	505	0.712	0.974	
	C4U1		0.2	1	458	0.629	0.621	
	C4U2			2	480	0.744	0.736	
	C4U4			4	505	0.824	1.287	

Çizelge 6.1 (Devam) Deneylerde elde edilen x yönündeki kesme kuvveti bileşeni (N), titreşim ivme seviyesi (RMS) ve yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

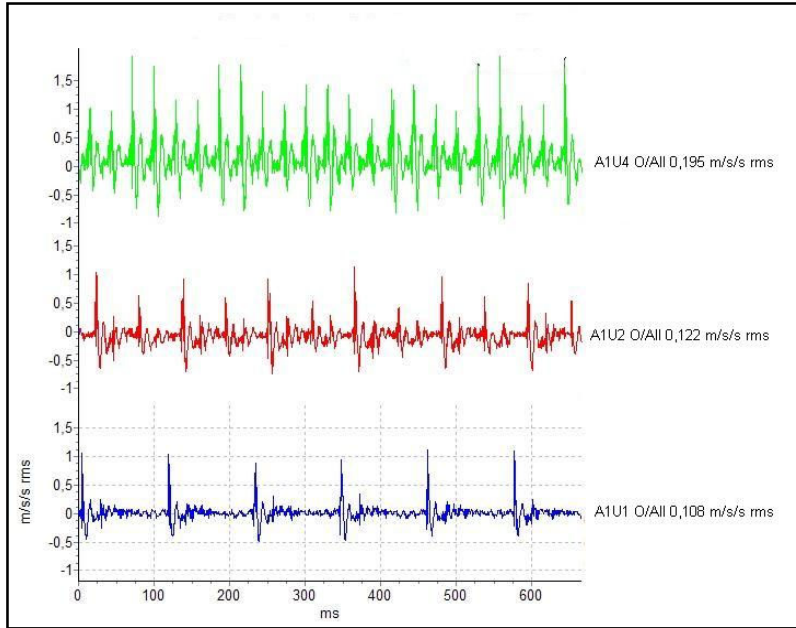
	Deney Kodu	Kesme Derinliği, az, mm	İlerleme Miktarı, Fz, mm/tooth	Kesme Hızı, V, M/min	Kesici Uç Sayısı, Adet	X Yönündeki Kesme Kuvveti Bileşeni Fx (N)	Titreşim İvmesi RMS (m/s/s)	Ort. Yüzey Pürüzlüğü, Ra (µm)
2. Grup	D1U1	1.5	0.05	132	1	246	0.124	0.749
	D1U2				2	385	0.194	0.920
	D1U4				4	607	0.375	0.439
	D2U1		0.1		1	375	0.185	0.493
	D2U2				2	527	0.31	0.567
	D2U4				4	937	0.582	0.84
	D3U1		0.15		1	505	0.252	0.336
	D3U2				2	915	0.611	0.552
	D3U4				4	725	0.784	0.960
	D4U1		0.2		1	747	0.359	0.705
	D4U2				2	844	0.628	0.821
	D4U4				4	815	1.159	1.652
	E1U1		220	0.05	1	244	0.248	0.669
	E1U2				2	273	0.287	0.547
	E1U4				4	500	0.521	0.962
	E2U1			0.1	1	422	0.351	0.672
	E2U2				2	500	0.426	0.887
	E2U4				4	637	0.752	0.806
	E3U1			0.15	1	495	0.385	0.544
	E3U2				2	551	0.69	0.552
	E3U4				4	754	0.98	1.156
	E4U1			0.2	1	886	0.767	0.527
	E4U2				2	815	0.778	1.077
	E4U4				4	646	1.31	0.894
	F1U1		308	0.05	1	263	0.279	0.264
	F1U2				2	275	0.338	0.393
	F1U4				4	502	0.537	0.621
	F2U1			0.1	1	383	0.414	0.298
	F2U2				2	449	0.523	0.447
	F2U4				4	605	0.868	0.760
	F3U1			0.15	1	458	0.554	0.327
	F3U2				2	705	0.82	0.535
	F3U4				4	874	1.432	1.284
	F4U1			0.2	1	690	0.667	0.638
	F4U2				2	732	0.86	1.385
	F4U4				4	947	1.548	1.608

Gerçekleştirilen deneylerde, işleme parametrelerine bağlı olarak CNC freze tezgahı ile talaş kaldırma işlemleri esnasında oluşan titreşim ivme seviyeleri (RMS) ve frekans (Ms) değerlerinden bir tanesi Şekil 6.1'deki grafikte ve diğer deneylere ait

grafikler ise Ek-1’de gösterilmiştir. Sırasıyla A, B, C, D, E, F gibi harflerle gruplara ayrılan deney kodları Çizelge 6.1’de verilmiştir. B1U1 kodlu deneyi örnek verecek olursak; bu deney, Çizelge 6.1’den de görüleceği üzere 220 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1 mm kesme derinliği ve 1 adet kesici uç sayısı işleme parametreleri altında yapılan deneydir. Şekil 6.1’deki grafikten yola çıkarak freze takım tezgahlarında işleme parametrelerinin, tezgahda oluşan titreşim üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Talaş kaldırma işlemleri esnasında meydana gelen titreşim değerleri kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve özellikle de kesici uç sayısına bağlı olarak önemli miktarlarda değişime uğramıştır. İşleme parametrelerindeki değerler yükseldikçe titreşim frekansları daha karmaşık hale gelmiştir. Uç sayısı arttıkça karmaşık hale gelen titreşim grafiklerine dikkatli bakıldığında periyodlar arası mesafeler kesicide bulunan uç sayısını göstermektedir. Uç sayısı arttıkça titreşim frekansları daha karmaşık hale gelmiştir. Bu durum deneylerin tamamında görülmektedir ve deneylerin doğruluğunu ispatlar niteliktedir.

Şekil 6.1’deki RMS değerlerine bakılarak, bu değerlerin oluşmasında kullanılan kesme hızları, ilerleme miktarları, kesme derinlikleri ve kesici uç sayıları grafiklere aktarılmış ve titreşim ivme seviyeleri (RMS) ile yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki ilişkiler işleme parametrelerine bakılarak yorumlanmaya çalışılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada oluşan kesme kuvvetlerinin de grafikleri çıkartılmış ve işleme parametreleri ile kesme kuvvetleri arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır.

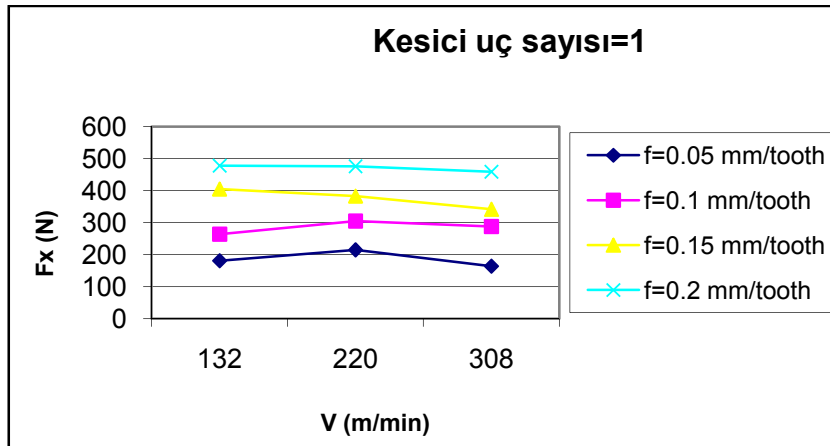


Şekil 6.1. 132 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

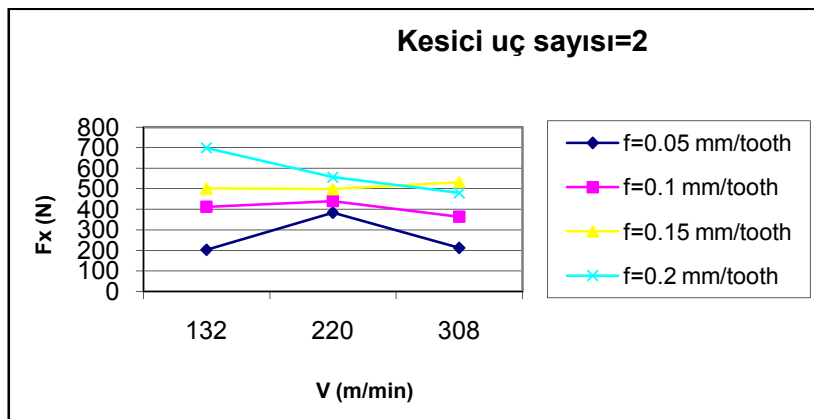
6.3. DeneySEL Sonuçların Değerlendirilmesi

6.3.1. Kesme hızının etkisi

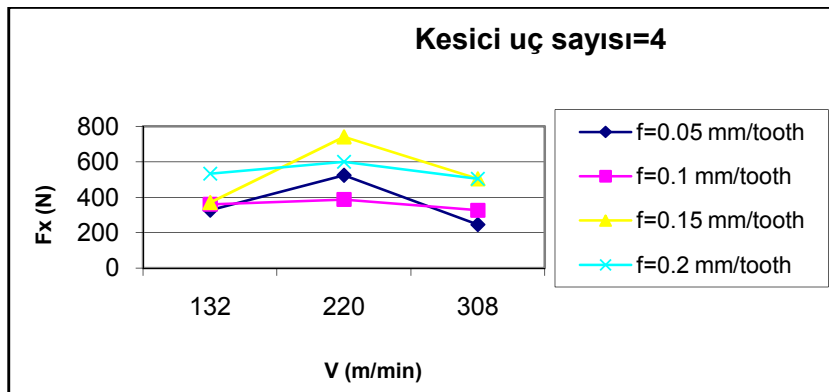
Frezeleme işlemleri esnasında kesme kuvvetleri, titreşim ivme seviyeleri ve yüzey pürüzlülüklerinde meydana gelen değişiklikler Çizelge 6.1’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim Şekil 6.2-Şekil 6.4’da görülmektedir.



Şekil 6.2. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 1 kesici uç ile kesme kuvvetlerindeki değişim



Şekil 6.3. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 2 kesici uç ile kesme kuvvetlerindeki değişim



Şekil 6.4. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 4 kesici uç ile kesme kuvvetlerindeki değişim

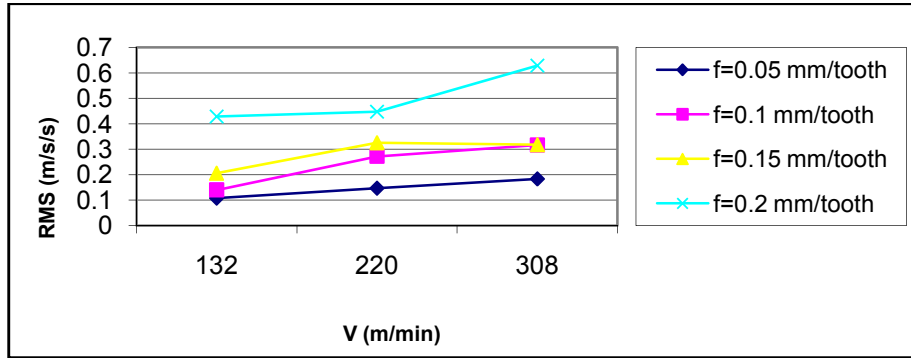
Kesme hızlarının artması ile kesme kuvvetlerini azaldığı bilinmektedir [11, 20, 22]. Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4 incelendiğinde 1, 2, 4, kesici uç ile yapılan deneylerde kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetlerinin 220 m/min kesme hızında yükseldiği ve artan kesme hızı ile kuvvetlerin düşüşe geçtiği görülmektedir. Yapılan işlemler esnasında kesme kuvvetlerinin işleme parametreleri ile freze çakısının kendi eksenini etrafında dönmesinden doğan radyal, aksenal ve teğetsel kuvvetlerden dolayı değiştiği gözlenmiştir. Bu durum kesme bölgesinde iş parçası ile kesici uç arasında oluşan ısı enerjisi ile açıklanabilir [59]. Kesme hızlarının artması ile kesme bölgesinde oluşan ısı artmış ve böylece malzeme daha kolay işlenebilir hale gelmiştir.

Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4 birlikte değerlendirildiğinde 1 mm kesme derinliği için en yüksek kesme kuvvetinin 220 m/min kesme hızında 0.15 mm/tooth ilerleme miktarında ve 4 kesici uç ile yapılan deneyde, en düşük kesme kuvvetinin ise 308 m/min kesme hızında, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarında ve 1 kesici uç ile yapılan deneyde olduğu görülmektedir.

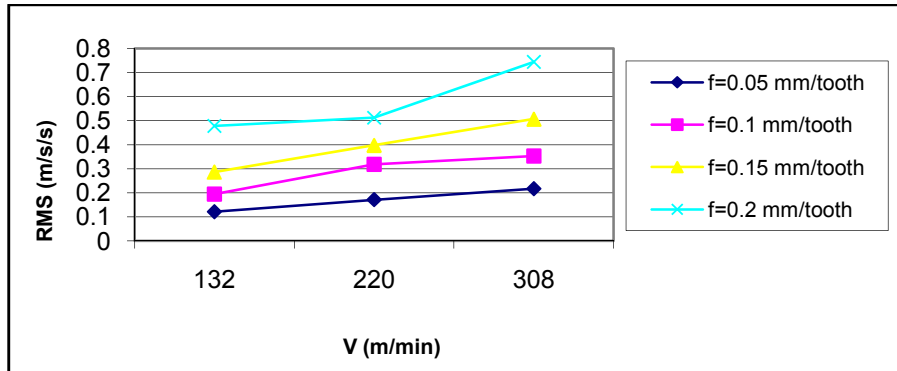
İlerleme miktarları açısından kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde, ilerleme miktarlarının kesme kuvvetlerini, titreşim ivme seviyelerini ve yüzey pürüzlülüklerini etkilediği bilinmektedir [24, 25, 31-34, 60]. İlerlemedeki miktarlar arttıkça kesme kuvvetlerinde de bir artış görülmektedir. Bu artış ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak oluşan “talaş kesit alanı”nın kesme kuvvetini etkileyen en önemli faktör oluşu ile açıklanabilir [29, 61, 62]. İlerlemedeki artış ile talaş kesitinde artma olmuş ve beraberinde kesme kuvvetlerinde bir artış meydana getirmiştir.

Kesme hızlarının artması ile kesici takımın kendi eksenini etrafında dönmesinden kaynaklanan radyal, aksenal ve teğetsel kuvvetler sistemdeki titreşim ivme seviyelerini artırmıştır. Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 incelendiğinde kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak sistemdeki titreşim ivme seviyelerinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir.

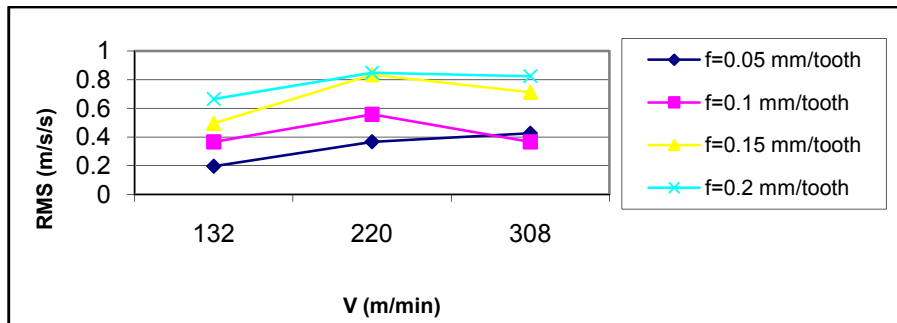
Frezeleme işlemi kesintili talaş kaldırma işlemi olduğundan dolayı, sistem sürekli olarak titreşime zorlanmaktadır ve kesme hızlarındaki artış titreşim ivme seviyelerini artırmıştır.



Şekil 6.5. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 1 kesici uç ile titreşim ivme seviyelerindeki değişim



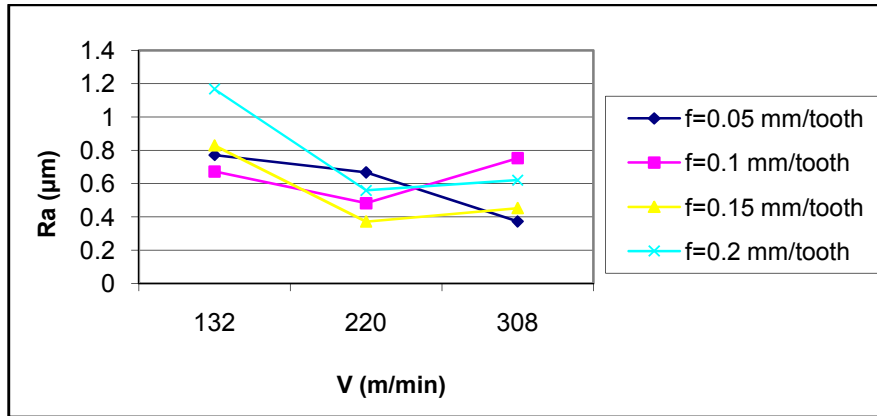
Şekil 6.6. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 2 kesici uç ile titreşim ivme seviyelerindeki değişim



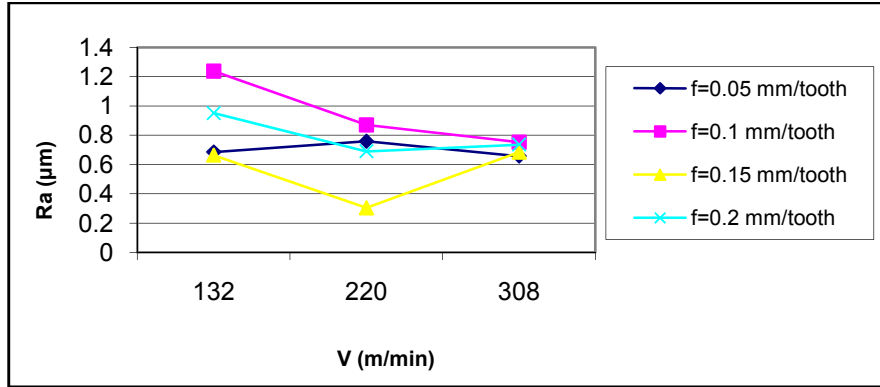
Şekil 6.7. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 4 kesici uç ile titreşim ivme seviyelerindeki değişim

Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 incelendiğinde 1 mm talaş derinliği için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak en düşük titreşim ivme seviyesi Şekil 6.5’de 132 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 kesici uç sayısı ile elde edilmiştir. En yüksek RMS değeri ise 220 m/min kesme hızında 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı ve 4 kesici uç sayısı ile elde edilmiştir. Sonuç olarak kesme hızındaki artış miktarları titreşim ivme seviyelerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumun sebebi ise artan kesme hızları ile kesici takım ile iş parçası arasında birim zamanda meydana gelen sürtünmenin artması ve boşta geçen zamanın azalması olarak yorumlanmıştır.

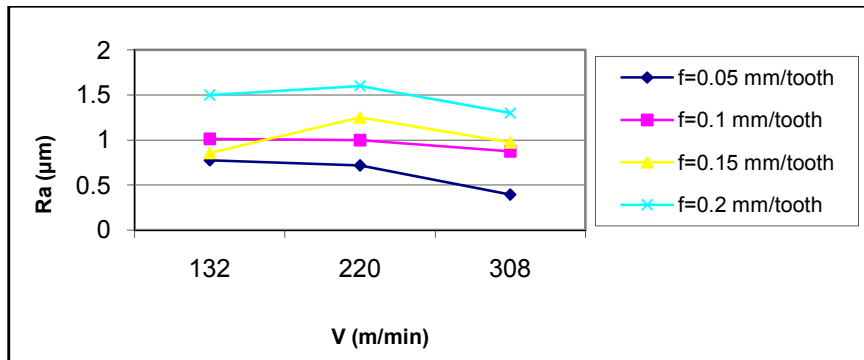
Kesme hızlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelendiğinde ise olumlu bir durum söz konusudur. Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10’da kesme hızı ile ilerleme miktarlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir. Bu durumun sebebi ise artan kesme hızı ile birim zamanda kaldırılması gereken talaş miktarının azalması olarak yorumlanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ise literatüre paralellik arz etmektedir [21, 23-25, 28-29]. Bazı deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinin ani yükseliş ya da ani düşüşe geçmesinin sebebi ise titreşim konusu içerisinde son derece önemli bir durum olan rezonans halinin varlığı ile açıklanmıştır.



Şekil 6.8. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 1 kesici uç ile ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim



Şekil 6.9. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 2 kesici uç ile ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim



Şekil 6.10. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 4 kesici uç ile ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Şekil 6.10'da görüldüğü gibi 1 mm kesme derinliği için en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 220 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı ve 4 kesici uç ile yapılan deney esnasında meydana gelmiştir. Bu durumun aksine en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri ise Şekil 6.9'da 220 m/min kesme hızı, 0.15 mm/tooth ilerleme miktarı ve 2 kesici uç ile yapılan deneyde elde edilmiştir.

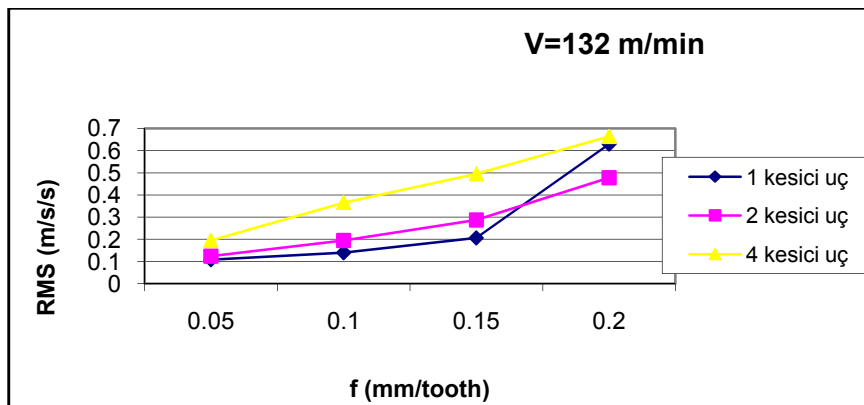
6.3.2. İlerleme miktarının etkisi

Freze tezgahı ile talaş kaldırma işlemleri esnasında kesici takım ilerleme miktarının kesme kuvvetleri, titreşim ivme seviyeleri ve yüzey pürüzlülük değerlerini etkilediği bilinmektedir [32, 34, 60, 62, 63]. İlerleme miktarlarının artması ile titreşim ivme seviyeleri ve yüzey pürüzlülük değerlerindeki artış Şekil 6.11 - Şekil 6.16' de görülmektedir.

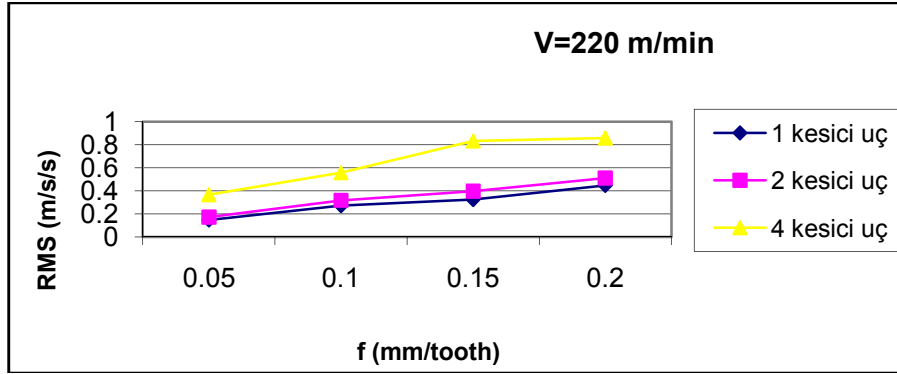
Yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi olan işleme parametrelerinden birisi de ilerleme miktarlarıdır. İlerlemenin, hem yüzey pürüzlülüğü hem de titreşim ivme seviyeleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için, bu çalışmada 132, 220, 308 m/min kesme hızı, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1, 2, 4 kesici uç sayıları ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar Şekil 6.16 - Şekil 6.21'deki grafiklerle yorumlanmaya çalışılmıştır.

Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13 birlikte değerlendirildiğinde ilerleme miktarlarının artması ile titreşim ivme seviyelerinde bir artış olduğu görülmektedir. Her üç kesme hızında da ilerleme miktarlarının artması titreşim ivme seviyelerini artırmıştır. Bu artış ilerleme miktarlarının artması ile takım tezgahının daha fazla güce ihtiyaç duyması ve dolayısı ile kesme frekanslarını olumsuz yönde etkilemesi ile açıklanabilir. Düşük ilerleme miktarlarında meydana gelen RMS değerleri son derece düşük olmuş, fakat artan ilerleme miktarlarına paralel olarak RMS değerlerinde kayda değer bir artış görülmüştür.

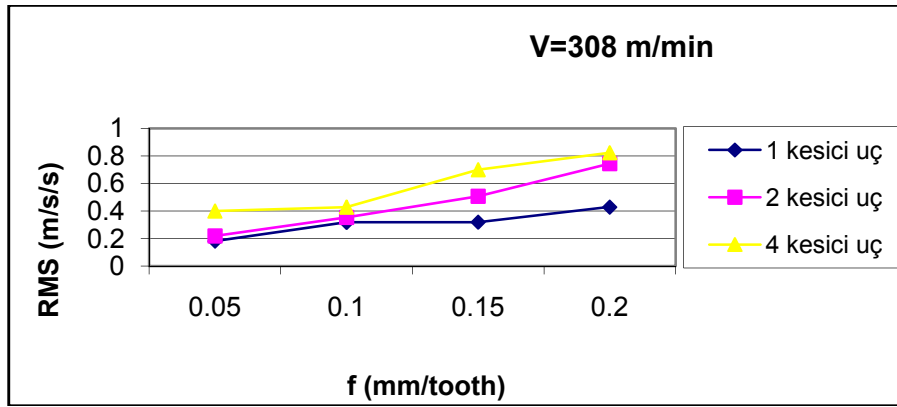
Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'deki ilerleme miktarları ve kesici uç sayılarının RMS değerlerine etkilerinde, her üç şekilde de ilerleme miktarları arttıkça RMS seviyelerinde bir artış eğiliminin olması deneylerin geçerliliğini de ortaya koymaktadır.



Şekil 6.11. 132 m/dak kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



Şekil 6.12. 220 m/dak kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

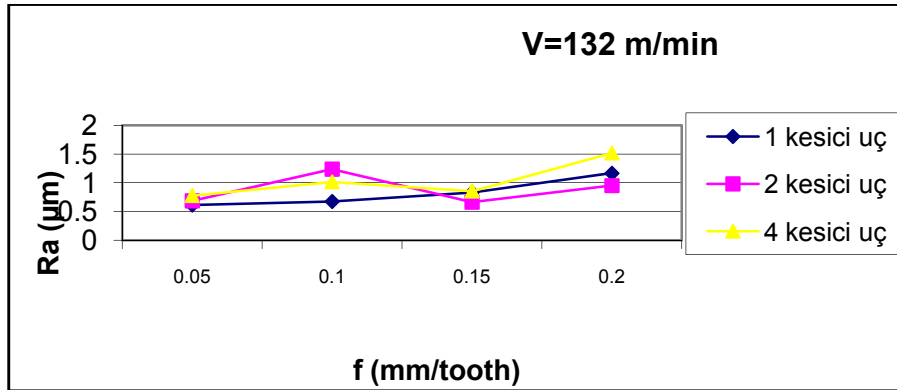


Şekil 6.13. 308 m/min kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

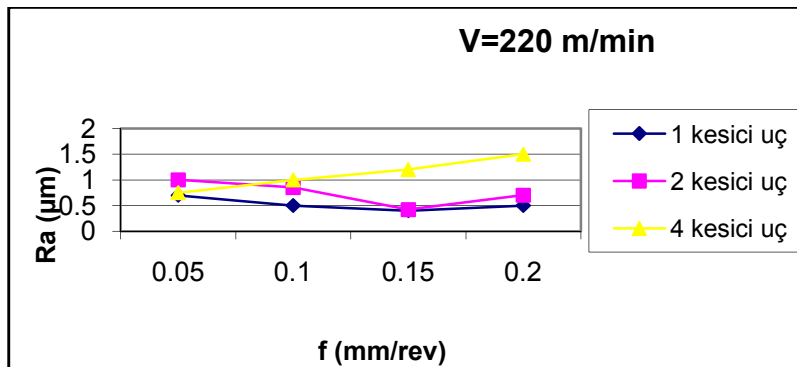
İlerleme miktarları açısından 1 mm kesme derinliğindeki titreşim ivme seviyeleri değerlendirilecek olursa; en düşük titreşim ivme değeri Şekil 6.11’de 132 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 kesici uç sayısı ile elde edilmiştir. En yüksek RMS değeri ise Şekil 6.12’de 220 m/min kesme hızında 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı ve 4 kesici uç sayısı ile elde edilmiştir. Dolayısı ile ilerleme miktarlarındaki artış titreşim ivme seviyelerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Frezeleme işlemleri esnasında yüksek kesme hızları ve düşük ilerleme miktarları ile kesici takıma birim zamanda düşen talaş miktarının azalacağı ve bu azalmanında yüzey kalitelerinde bir iyileşmeye neden olacağı Bouzid tarafından yapılan araştırmada açıklanmış ve bu durumun aksine yüksek ilerleme miktarlarının da yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkileyeceği belirtilmiştir [63].

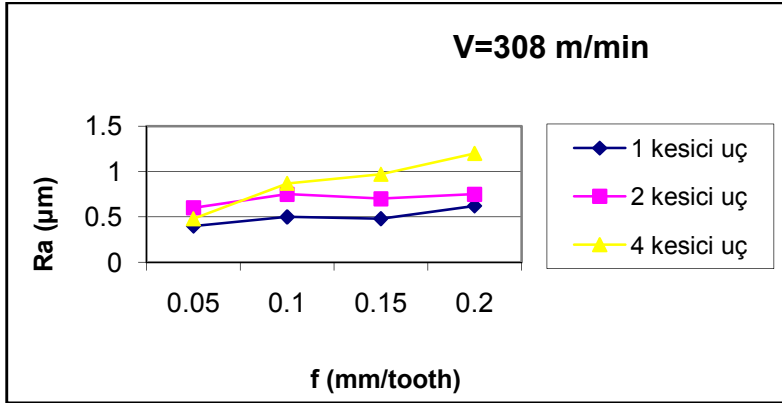
Şekil 6.14, Şekil 6.15 ve Şekil 6.16 değerlendirilecek olursa Bouzid'in bu açıklamalarına paralel olarak sonuçlar elde etmek mümkündür. Şekil 6.14, Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'de görüleceği üzere ilerleme miktarlarının artması ile yüzey pürüzlülük değerleri de bir artış eğilimine girmiştir. Yalnızca 220 m/min kesme hızında 1 ve 2 kesici uçla yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerleri 0.15 mm/tooth ilerlemede düşme eğilimine girmiş, fakat artan ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülük değeri tekrar artışa geçmiştir. Burada sistemin doğal frekansı ile titreşim frekansının bir çakışma halinde olduğu yani sistemin rezonansa geldiği düşünülmektedir. Grafik haline getirilip yorumlanmaya çalışılan her üç kesme hızında da genel olarak ilerleme miktarlarındaki artış yüzey pürüzlülük değerlerini artırmıştır. Şekil 6.14'da 0.1 mm/tooth ilerleme miktarında 2 kesici uç ile yapılan deneyde ani bir yükselme gerçekleşmiştir. Bu durum yine sistemde bir rezonansın oluşması ile açıklanmıştır..



Şekil 6.14. 132 m/dak kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim



Şekil 6.15. 220 m/dak kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim



Şekil 6.16. 308 m/min kesme hızında ilerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

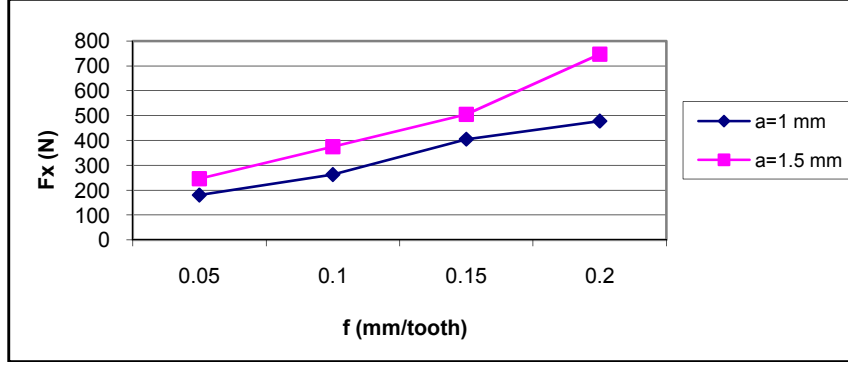
Şekil 6.16’da görüldüğü gibi yüksek kesme hızları ve düşük ilerleme miktarları ile düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edildiği gözlemlenmiştir. Yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarlarında birim zamanda her bir kesici uca düşen ilerleme miktarının düşük seviyede olmasından dolayı yüzey kaliteleri de artmıştır. Diş başı ilerleme miktarının düşük olduğu durumların aksine, kesici uç sayısı arttıkça ilerleme miktarları artmış ve bu artışa paralel olarak titreşim ivme seviyeleri ile yüzey pürüzlülük değerleride artmıştır.

İlerleme miktarları açısından 1 mm kesme derinliğindeki yüzey pürüzlülük değerleri değerlendirilecek olursa; en düşük yüzey pürüzlülük değeri 308 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme ve 1 kesici uçta elde edilmiştir. Yine bu çalışmada 1mm kesme derinliğinde en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 132 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme ve 4 kesici uç ile elde edilmiştir.

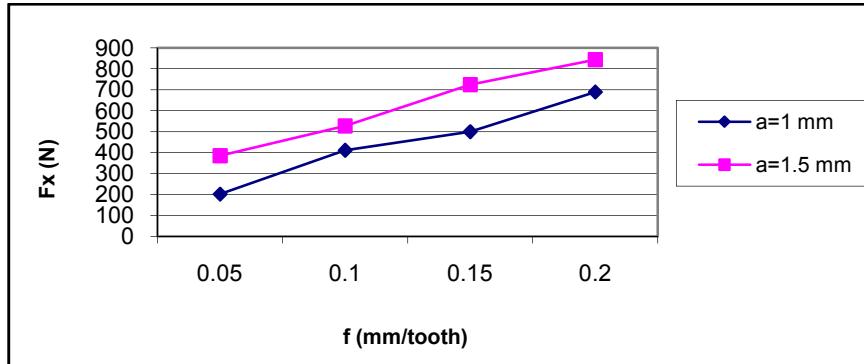
6.3.3. Kesme derinliğinin etkisi

Literatür araştırmaları esnasında, kesme derinliklerinin sistemde oluşan kesme kuvvetlerini, titreşim ivme seviyelerini ve yüzey pürüzlülük değerlerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür [29, 60, 63]. Literatür araştırması esnasında karşılaşılan bu duruma paralel olarak Şekil 6.17 - Şekil 6.25’de görüleceği üzere yapılan

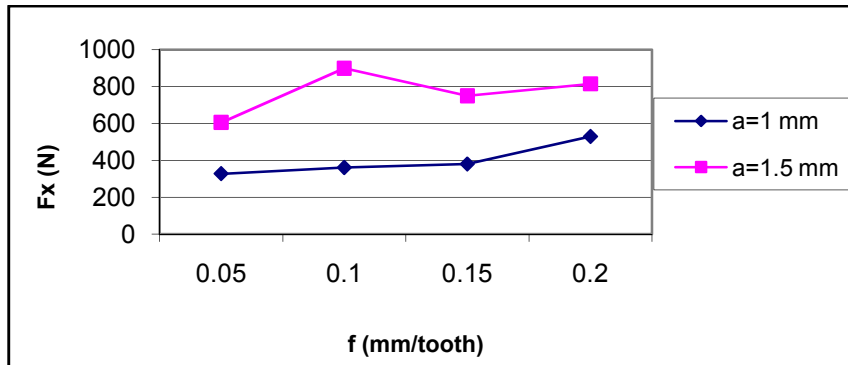
deneyler ile kesme derinliğinin sistemde oluşan kesme kuvvetlerini arttırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.17.132 m/min kesme hızında ve 1 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim



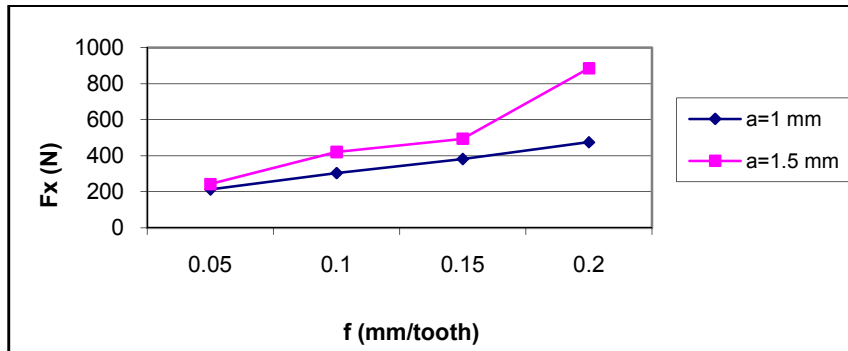
Şekil 6.18.132 m/min kesme hızında ve 2 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim



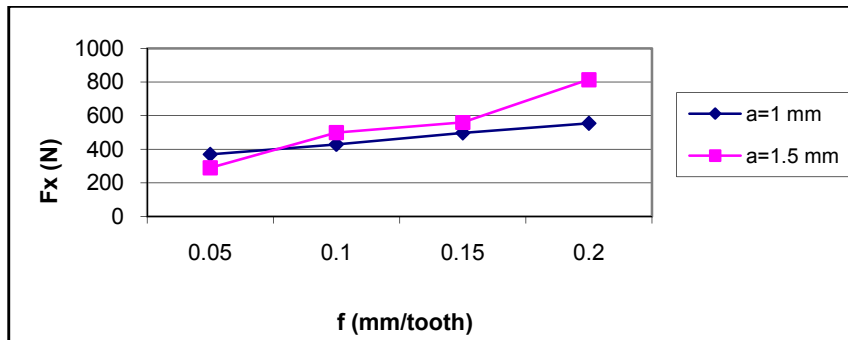
Şekil 6.19.132 m/min kesme hızında ve 4 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

Şekil 6.17, Şekil 6.18. ve Şekil 6.19. incelendiğinde 132 m/min kesme hızı ve 1, 2 ve 4 kesici uç ile yapılan deneylerde kesme derinliğinin artması ile kesme kuvvetlerinin artmasına paralel olarak kesici uç sayısı ve ilerleme miktarı arttıkça da sistemdeki kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir.

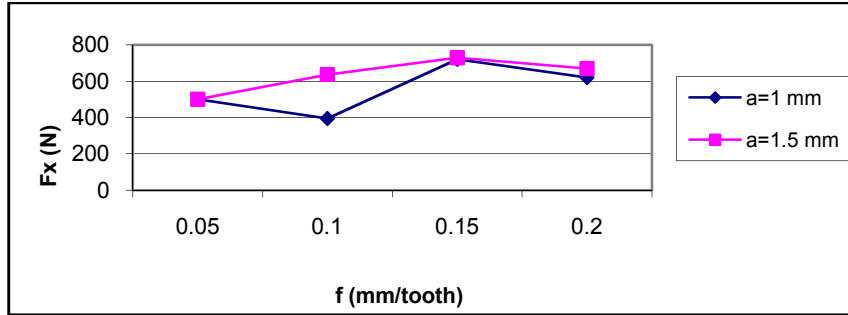
Kesme derinliğinin artması birim zamanda kaldırılan talaş miktarının artmasına neden olmaktadır. Birim zamanda kaldırılan talaş miktarının artması ise sistemin ihtiyaç duyduğu kuvvet gereksinimlerinin artmasına neden olmaktadır. Şekil 6.20, Şekil 6.21 ve Şekil 6.22 değerlendirildiğinde, 220 m/min kesme hızında yapılan deneylerde 1.5 mm kesme derinliği ile yapılan deneylerin tümündeki kuvvet gereksinimleri 1 mm kesme derinliği ile yapılan deneylerdeki kuvvet gereksinimlerinden fazladır. Bu durum yine birim zamanda kaldırılan talaş miktarının artması ile açıklanabilir.



Şekil 6.20. 220 m/min kesme hızında ve 1 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

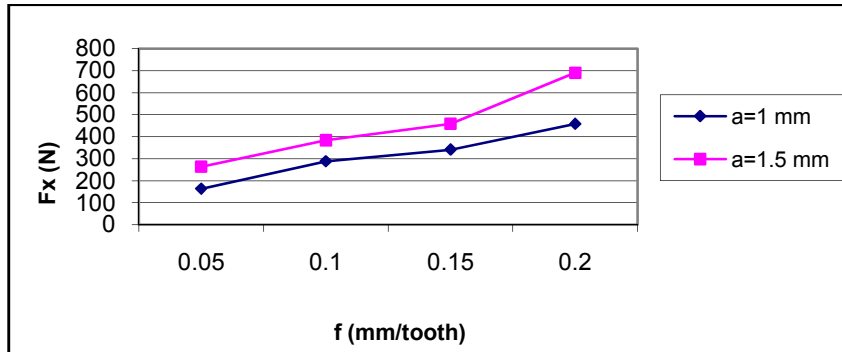


Şekil 6.21. 220 m/min kesme hızında ve 2 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

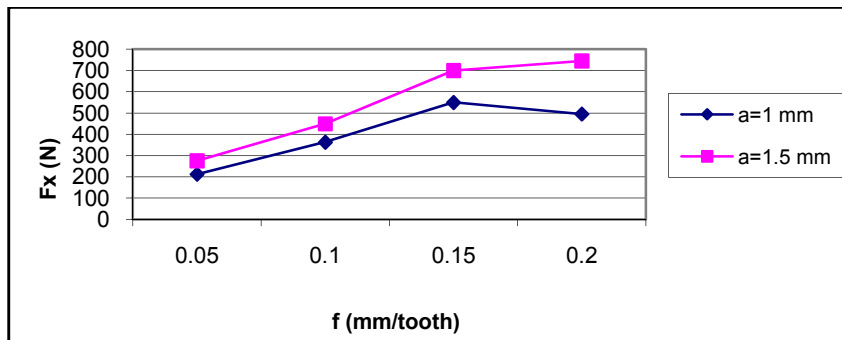


Şekil 6.22. 220 m/min kesme hızında ve 4 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

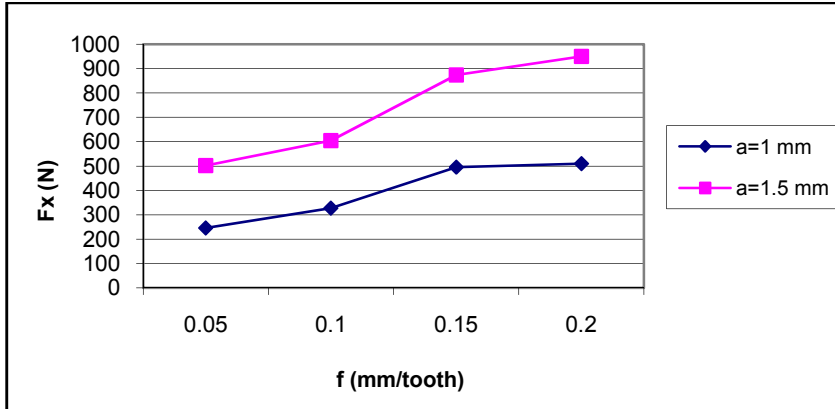
Yine Şekil 6.23, Şekil 6.24 ve Şekil 6.25'daki 308 m/min kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında kesme derinliklerinin kesme kuvvetlerine etkileri incelendiğinde, kesme derinliklerinin artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı ispatlanmıştır.



Şekil 6.23. 308 m/min kesme hızında ve 1 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim



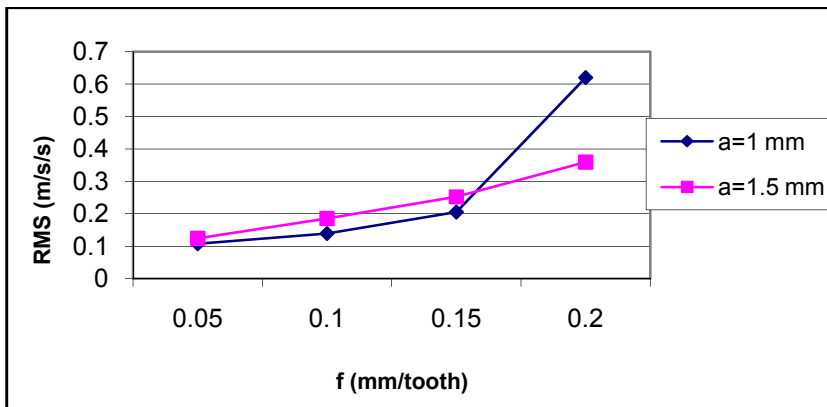
Şekil 6.24. 308 m/min kesme hızında ve 2 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim



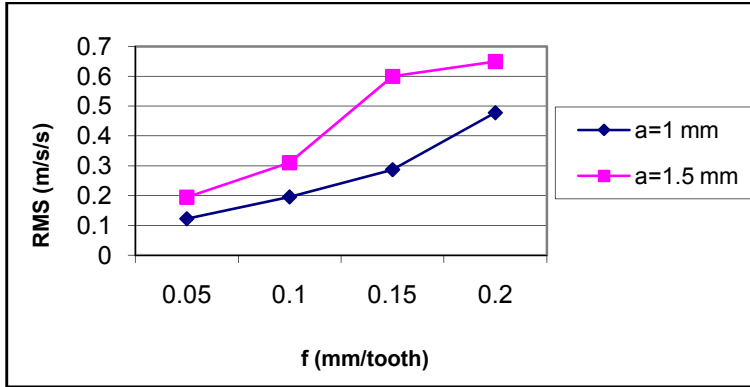
Şekil 6.25. 308 m/min kesme hızında ve 4 kesici uç ile ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim

Kesme derinlikleri açısından Şekil 6.17 - Şekil 6.25 incelendiğinde sistemdeki en fazla kesme kuvvetlerinin Şekil 6.25’de 308 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı, 4 kesici uç ve 1.5 mm kesme derinliğinde, en düşük kesme kuvvetlerinin ise Şekil 6.23’de 308 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1 kesici uç ve 1 mm talaş derinliğinde elde edildiği görülmektedir.

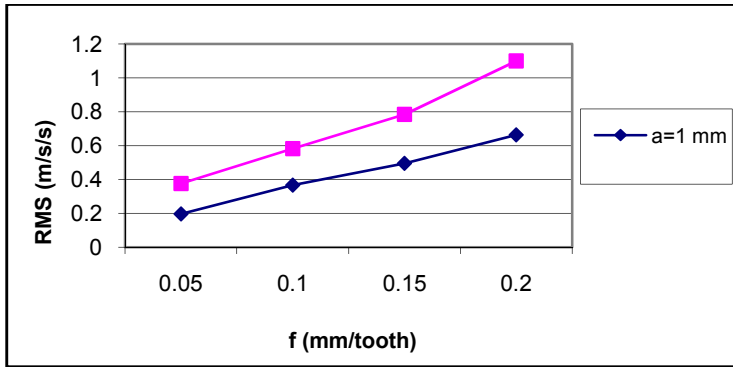
Yine kesme derinliğinin artması, birim zamanda kesici diş başına düşen talaş miktarını artırarak kesici takım ile iş parçası malzemesi arasındaki temas alanının genişlemesine ve bu durumun sonucu olarak da Şekil 6.26 - Şekil 6.34’de görüldüğü gibi sistemdeki titreşim ivme seviyelerinin yükselmesine neden olmuştur.



Şekil 6.26. 1 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

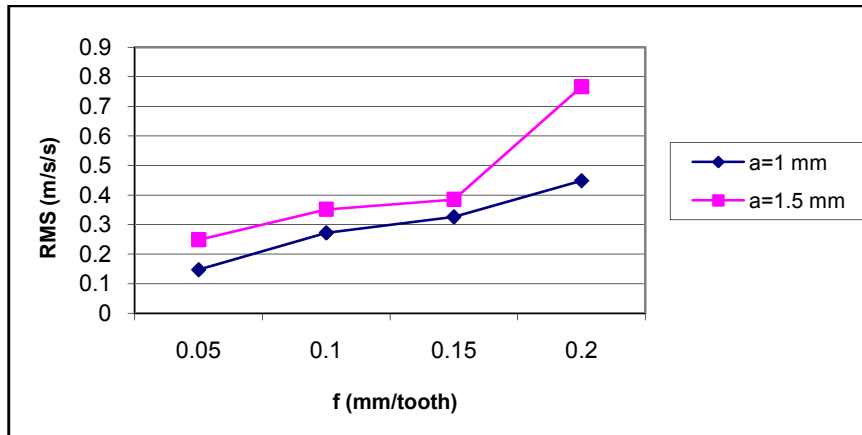


Şekil 6.27. 2 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

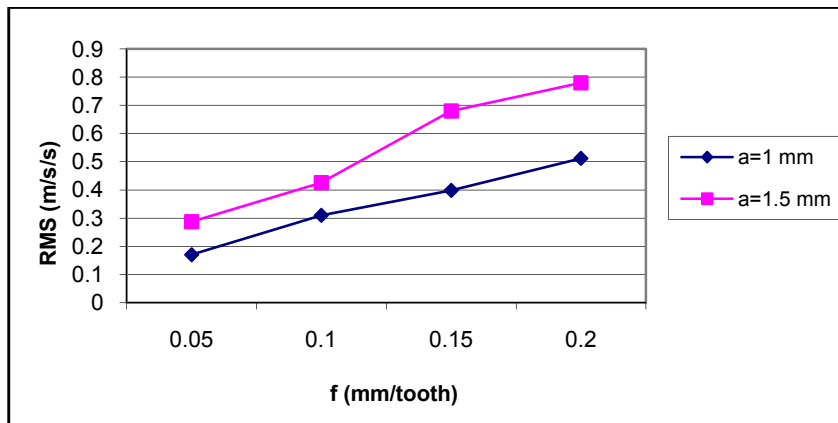


Şekil 6.28. 4 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

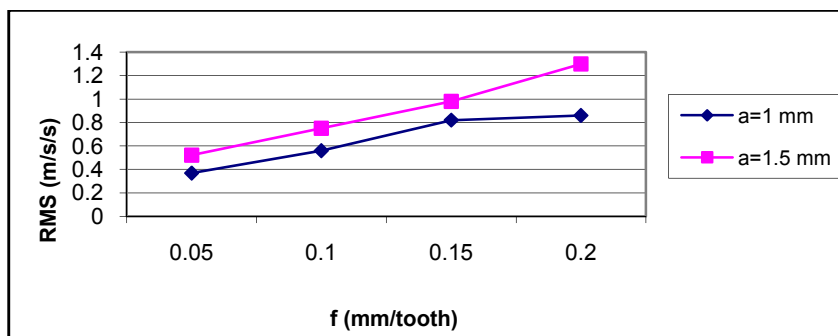
Şekil 6.26, Şekil 6.27 ve Şekil 6.28 birlikte değerlendirildiğinde 132 m/min kesme hızında yapılan deneylerde ilerleme miktarlarına bağlı olarak kesme derinliklerinin sistemdeki titreşim ivme seviyelerini artırdığı görülmektedir. Kesme derinliklerinin 1, 2 ve 4 kesici uç sayısı ile yapılan deneylerin tümünde titreşim ivme seviyelerini olumsuz etkilemesinin sebebi ise, kesici takım-iş parçası arasındaki temas alanının daha fazla olması ve talaş kesit alanının artması ile sistemin daha fazla güce ihtiyaç duyması ile açıklanabilir.



Şekil 6.29. 1 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

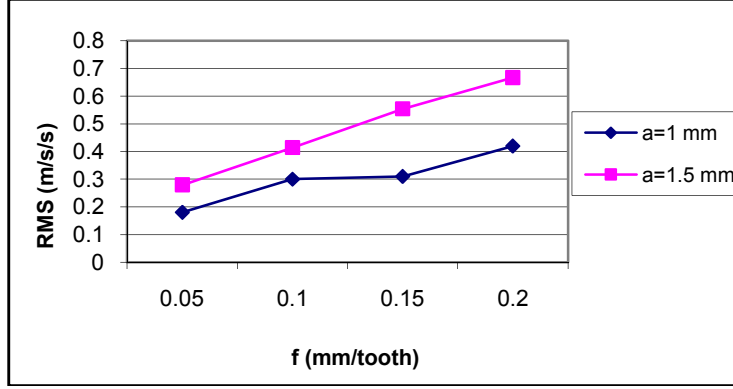


Şekil 6.30. 2 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

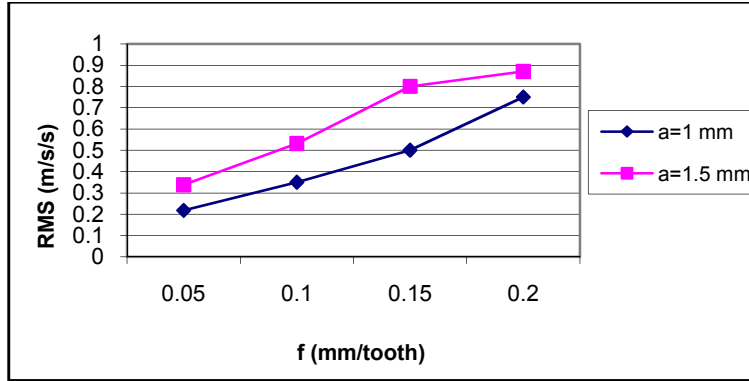


Şekil 6.31. 4 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

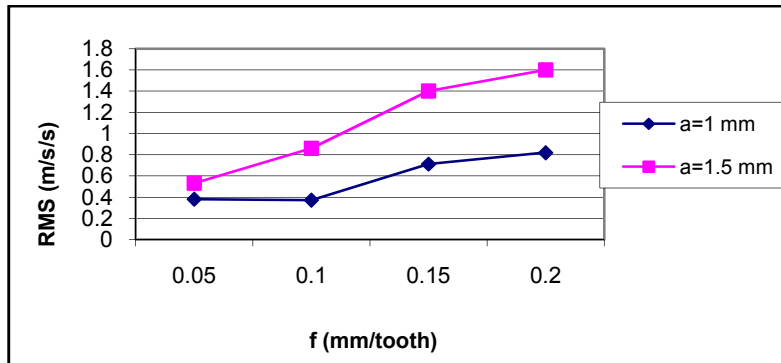
Yine Şekil 6.29, Şekil 6.30 ve Şekil 6.31 değerlendirildiğinde, Şekil 6.26, Şekil 6.27 ve Şekil 6.28'deki duruma paralel sonuçlar elde edilecektir.



Şekil 6.32. 1 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



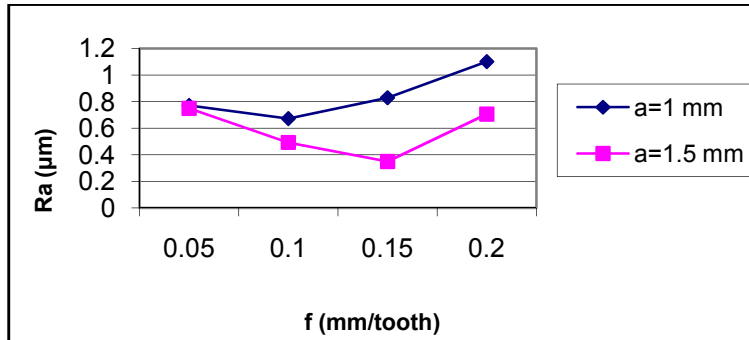
Şekil 6.33. 2 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



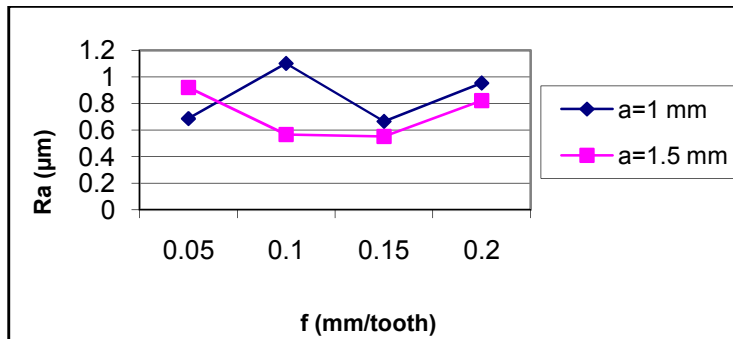
Şekil 6.34. 4 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

Kesme derinliğine bağlı olarak sistemde meydana gelen titreşim ivme seviyeleri tartışılacak olursa; bu çalışmada yapılan deneylerde kesme derinliğine bağlı olarak en yüksek titreşim ivme seviyesi Şekil 6.34.'de 308 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı, 4 kesici uç sayısı ve 1.5 mm kesme derinliği ile yapılan deneyde, yine kesme derinliğine bağlı olarak en düşük RMS değerinin ise Şekil 6.26'da 132 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1 kesici uç ve 1 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir.

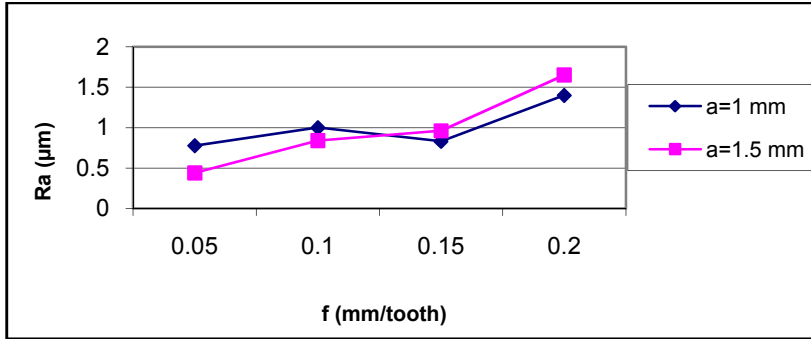
Kesme derinliğinin yüzey kalitesini etkilediği bilinmektedir [60, 63]. Talaş derinliğinin artması ile kesici ucun birim zamanda kaldıracacağı talaş miktarının artmasından dolayı yüzey pürüzlülük değerlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 6.35 - Şekil 6.43'de verilmiştir.



Şekil 6.35. 1 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

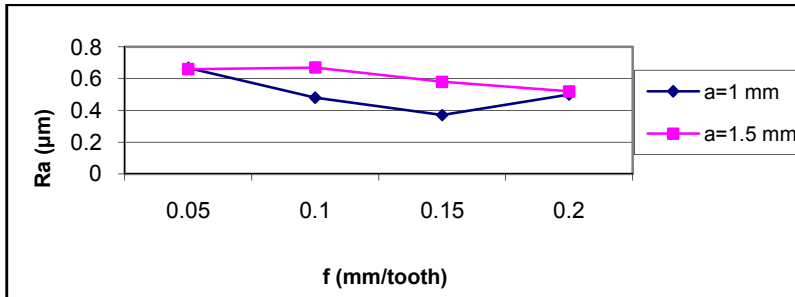


Şekil 6.36. 2 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

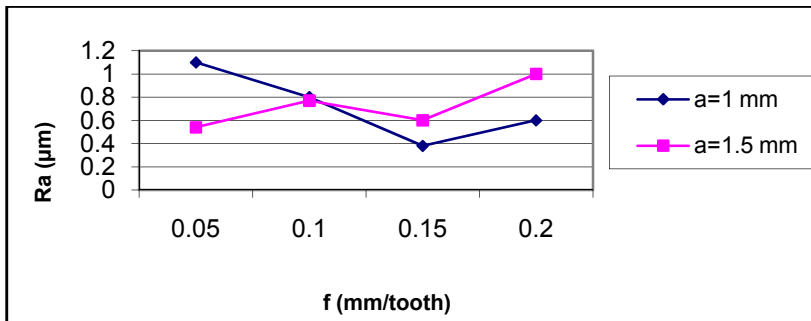


Şekil 6.37. 4 kesici uç ve 132 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

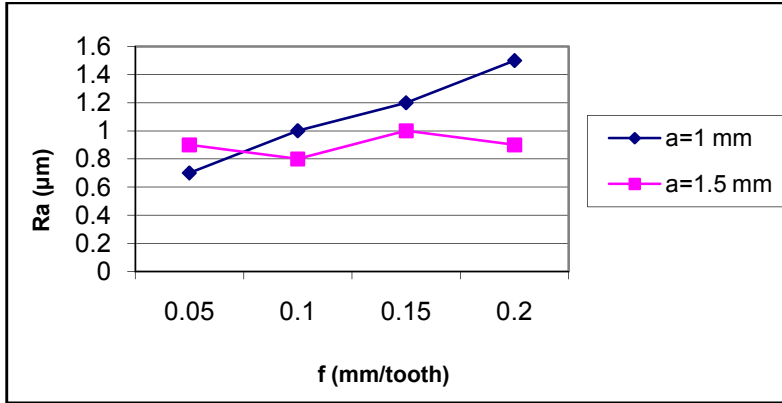
Şekil 6.35, Şekil 6.36 ve Şekil 6.37’de görüldüğü gibi kesme derinlikleri yüzey kalitesini önemli miktarlarda etkilemektedir. Şekil 6.35’de kesme derinliği arttıkça sistemin yüzey pürüzlülük değeri azalmış fakat 0.15 mm/tooth ilerleme miktarından sonra yüzey pürüzlülük değeri tekrar yükselişe geçmiştir. Burada sistemin rezonansa uğradığı ve titreşim frekanslarının arttığı düşünülmektedir.



Şekil 6.38. 1 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

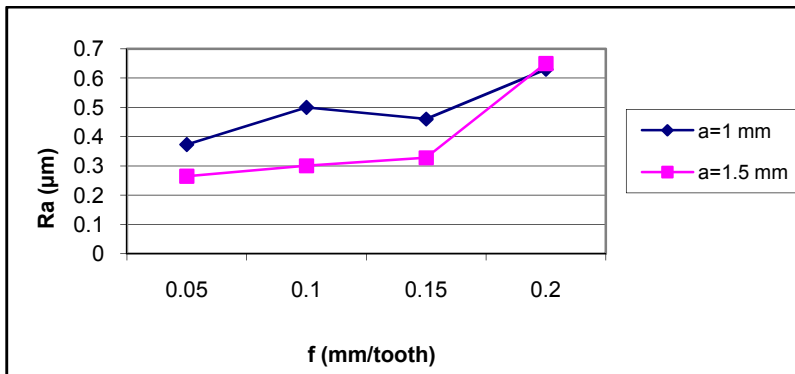


Şekil 6.39. 2 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

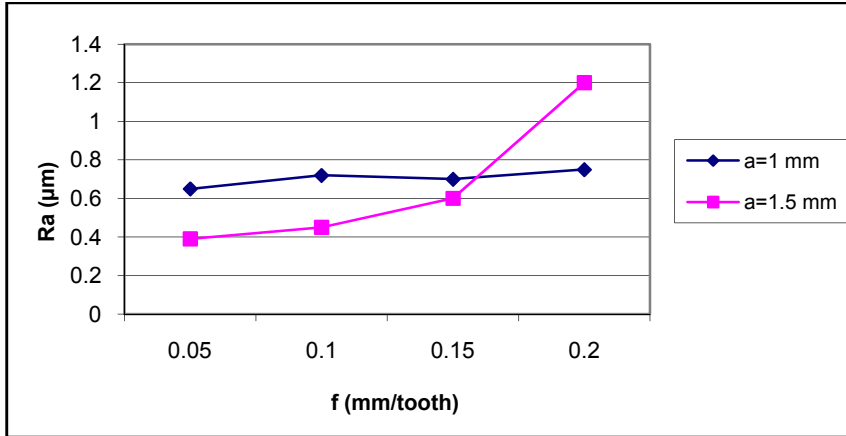


Şekil 6.40. 4 kesici uç ve 220 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

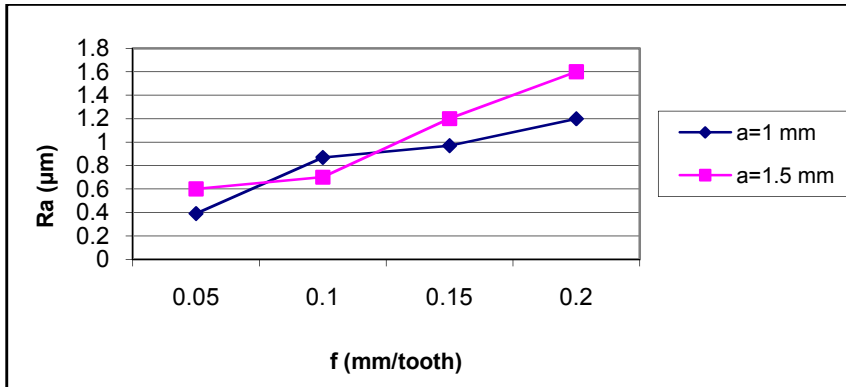
Yine Şekil 6.38, Şekil 6.39 ve Şekil 6.40 birlikte değerlendirildiğinde Şekil 6.35, Şekil 6.36 ve Şekil 6.37'deki duruma paralel sonuçlar elde edilmektedir. Kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesin olarak iyi ya da kötü bir etkisi olduğunu söylemek güç olsada, bu çalışmada yapılan deneyler çerçevesinde kesme derinliğinin 1 mm'den 1.5 mm'ye yükseltilmesi ile yüzey pürüzlülük değerlerinde bir azalma yani yüzey kalitesinde bir artış görülmüştür. Bu durum ideal kesme parametrelerinin elde edilmesi ile ya da kesici ucun ideal kesme derinliğine ulaşılması ile açıklanabilir ayrıca titreşim konusunda son derece önemli bir etken olan rezonans halinin, burada da önemli miktarda etkili olduğu, rezonans hali ile birlikte düşük kesme derinliklerinde, sistemin doğal frekansının yüksek olmasından dolayı bu durumun yüzey kalitelerini olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 6.41. 1 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim



Şekil 6.42. 2 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

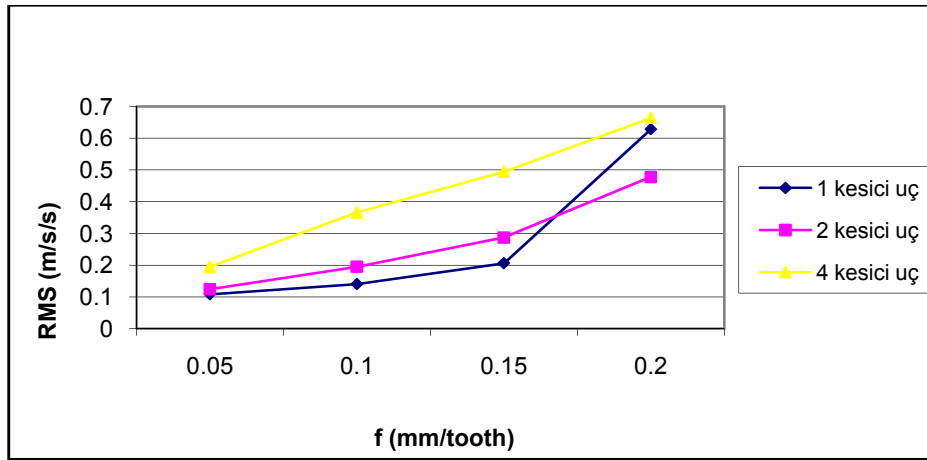


Şekil 6.43. 4 kesici uç ve 308 m/min kesme hızında ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim

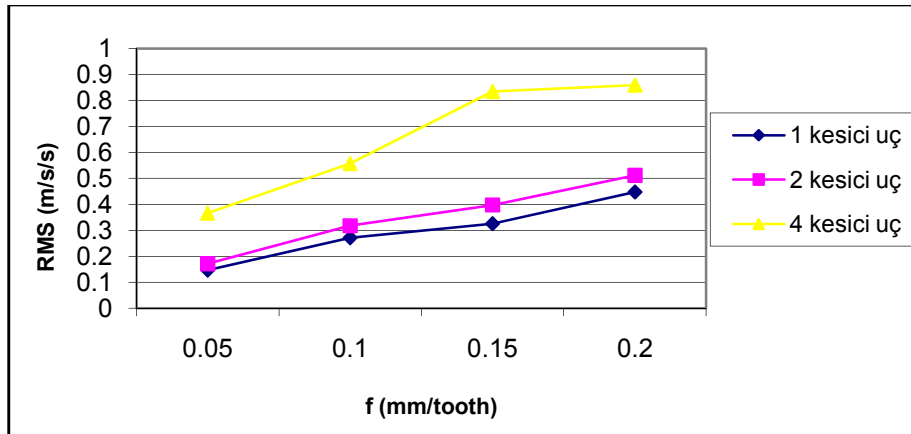
Kesme derinlikleri baz alınarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri değerlendirilecek olursa, Şekil 6.35 - Şekil 6.43'den de görüleceği üzere kesme derinliklerinin artması bir çok deneyde yüzey pürüzlülük değerlerini azaltmış yani yüzey kalitesini artırmıştır. Bu çalışmada, kesme derinliklerine bağlı olarak en düşük yüzey pürüzlülük değeri Şekil 6.41'da görüldüğü gibi 308 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1 kesici uç sayısı ve 1.5 mm kesme derinliği ile yapılan deneyde 0.264 μm olarak elde edilmiştir. Yine bu çalışmada en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise Şekil 6.37'da 132 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı, 4 kesici uç sayısı ve 1.5 mm kesme derinliğinde 1.652 μm olarak elde edilmiştir.

6.3.4. Kesici diş sayısının etkisi

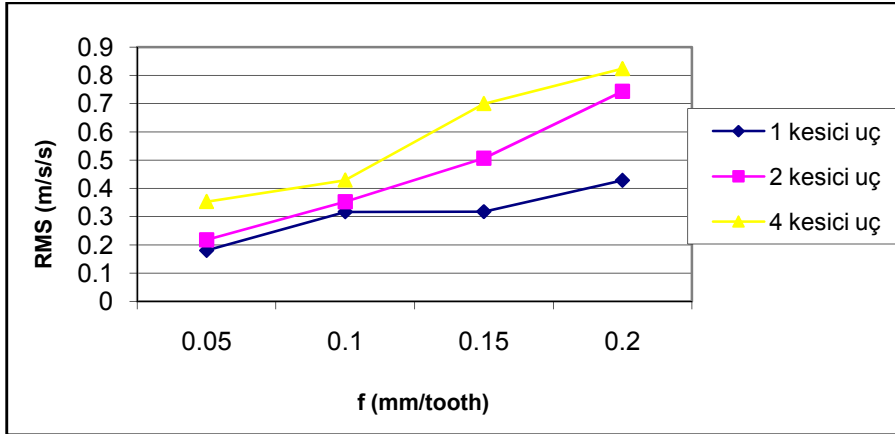
Frezeleme işlemlerinde kesici diş sayısının kesme kuvvetlerine, titreşim ivme seviyelerine ve yüzey pürüzlülük değerlerine etkilerini tespit etmek amacı ile 1, 2 ve 4 kesici diş ile yapılan deneylerde, kesici diş sayısının titreşim ivme seviyeleri ve yüzey pürüzlülük değerlerine etkileri Şekil 6.44 - Şekil 6.49.'de verilmiştir.



Şekil 6.44. 132 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



Şekil 6.45. 220 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

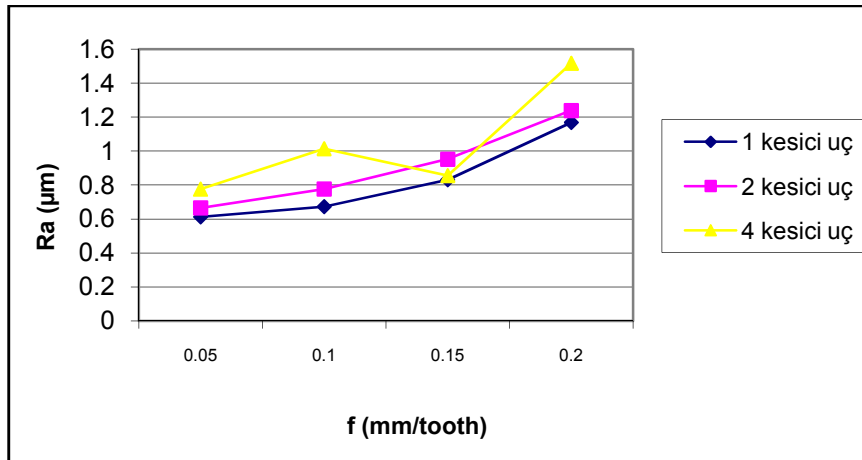


Şekil 6.46. 308 m/min kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

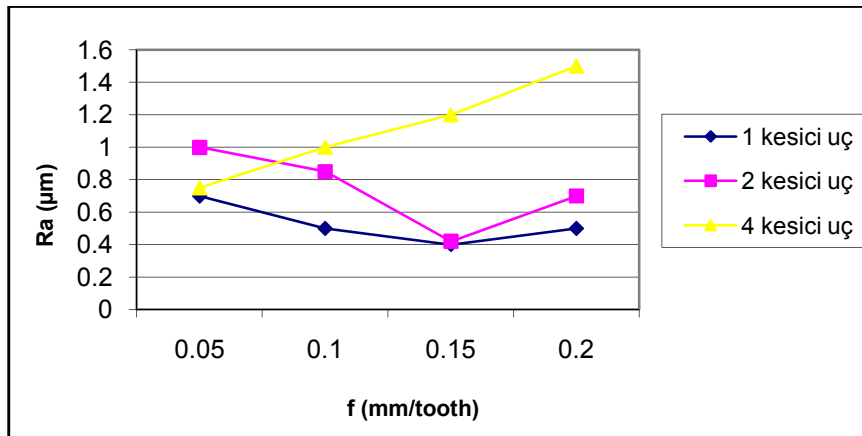
Şekil 6.44, Şekil 6.45 ve Şekil 6.46 kesici uç sayısına göre incelendiğinde kesici uç sayısının artması veya azalması durumunda titreşim ivme seviyelerinde değişiklik olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, 132, 220, 308 m/min kesme hızı, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 mm/tooth ilerleme, 1, 1.5 mm kesme derinliği ve 1, 2, 4 kesici diş sayısı ile yapılan deneylerde, kesici diş sayısının artması ile titreşim ivme seviyelerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu artıştaki sebebinin ise, kesici diş sayısının artması ile kesici takım ve iş parçası malzemesi arasında oluşan kesme frekanslarının artmasıyla sistemdeki titreşim frekanslarının da artması olduğu düşünülmektedir.

Kesici diş sayısına bağlı olarak Şekil 6.45 - Şekil 6.46'e göre bu çalışmada en düşük titreşim ivmesi değerinin Şekil 6.44.'da görülen 1 kesici uç sayısı ile elde edildiği ve yine bu yorumlara paralel olarak kesici uç sayısına göre en yüksek RMS değerinin Şekil 6.45'de 4 kesici uç sayısı ile elde edildiği anlaşılmaktadır.

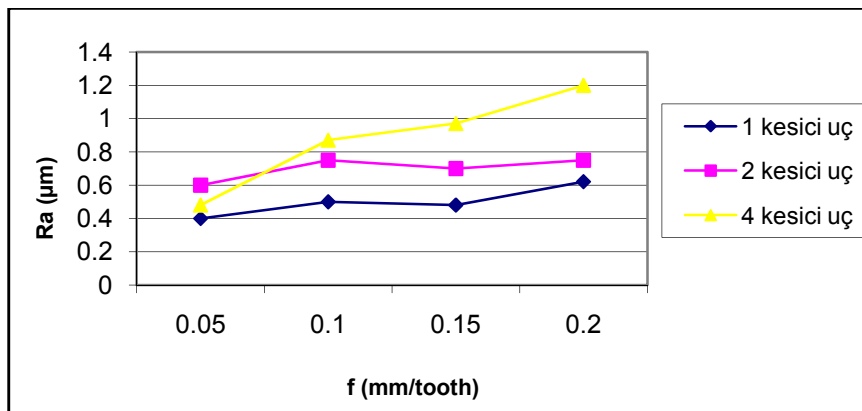
Kesici uç sayısına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 6.47 - Şekil 6.49'de verilmiştir. Şekil 6.47'de 4 kesici uç ve Şekil 6.48'deki 1 ve 2 kesici uç ile yapılan deneylerde 0.1 mm/tooth ve 0.15 mm/tooth ilerleme miktarlarında, yüzey pürüzlülük değerlerinde meydana gelen ani düşüşün sebebi ise yine rezonans noktalarının varlığı olarak yorumlanmıştır.



Şekil 6.47. 132 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim



Şekil 6.48. 220 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim



Şekil 6.49. 308 m/min kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Şekil 6.47 - Şekil 6.49 değerlendirildiğinde, kesici uç sayısının artması ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde de bir artış görülmektedir. Bu artışın nedeni ise kesici uç sayısı arttıkça, kesici uç ve iş parçası arasında oluşan titreşim frekanslarının artması olarak yorumlanabilir.

Kesici uç sayısına bakılarak yüzey pürüzlülüğü ile ilgili bir değerlendirme yapılacak olursa, bu çalışmada en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 6.47, Şekil 6.48 ve Şekil 6.49'de görüleceği üzere 1 kesici uç sayısı ile yapılan deneylerde, yine bu yorumlara paralel olarak en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri ise Şekil 6.47, Şekil 6.48 ve Şekil 6.49'de de açıkça görüldüğü gibi 4 kesici uç sayısı ile yapılan deneylerde elde edilmiştir.

6.3.5. Titreşimin etkisi

Takım tezgahları ile talaş kaldırma işlemleri esnasında meydana gelen titreşimlerin, elde edilen ürünün yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir [1, 24, 29, 34, 60, 62, 63]. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler sonucu, frezeleme esnasında oluşan titreşimlerin deney malzemesinin yüzey kalitesini doğrudan etkilediği görülmüştür. Artan titreşim frekans değerleri deney malzemesinin yüzey pürüzlülük değerinin yükselmesine yani yüzey kalitesinin azalmasına neden olmuştur.

Kesme hızı ve ilerleme miktarları bakımından Şekil 6.7 ile Şekil 6.10 titreşim ivmesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi açısından değerlendirilecek olursa, 132 m/min kesme hızından 220 m/min kesme hızına geçildiğinde titreşim ivme seviyesindeki artışa paralel olarak yüzey pürüzlülüğü değerinde de bir artış görülmektedir. Kesme hızlarının artmasıyla takım tezgahının kendi eksenini etrafında dönmesinden kaynaklanan kuvvetler ile birlikte titreşim ivme seviyesi de artmıştır. Artan titreşim ivme seviyeleri ise yüzey kalitesinin bozulmasına neden olmuştur. Daha sonra 308 m/min kesme hızında ise kesici takım ideal kesme hızı ve doğal frekans ile kesme frekansına bağlı olarak azaldığı düşünülen titreşim ivme seviyeleri ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinin de azaldığı görülmektedir.

İlerleme miktarları ve kesici uç sayıları açısından titreşim ivme seviyesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi değerlendirildiğinde ise, Şekil 6.13 ile Şekil 6.16'de açıkça görüldüğü gibi istisnasız bir biçimde titreşim ivme seviyelerinin artması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmıştır. İlerleme miktarlarının artması ile titreşim ivme seviyelerinin de artacağı bilinmektedir [36, 38, 53, 56, 63]. İlerleme miktarlarının artması ile tüm deneylerde istisnasız olarak artan titreşim ivme seviyelerine paralel olarak yüzey pürüzlülüğü değerleri de istisnasız olarak artmıştır. Sistemde meydana gelen titreşim frekanslarının karmaşık hale gelmesiyle, yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmaya başlamaktadır. Dolayısıyla kesme işleminden kaynaklanan titreşimler ile doğal frekans arasındaki farkın yükselmesi deney malzemesi ve kesici takım arasında işleme esnasında dengesiz dalmaların oluşmasına neden olmuştur.

Kesme derinliği açısından titreşim ivme seviyesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi değerlendirilecek olursa, Şekil 6.28, Şekil 6.33 ve Şekil 6.34 ile Şekil 6.37, Şekil 6.42 ve Şekil 6.43 karşılaştırıldığında kesme derinliğinin artmasına bağlı istisnasız bir şekilde artan titreşim ivme seviyelerine karşın yüzey pürüzlülük değerlerinde istikrarsız bir durum söz konusu olmuştur. Kesme derinliklerinin titreşim ivme seviyelerini ve yüzey pürüzlülük değerlerini etkilediği bilinmektedir [29, 60, 62, 63] ve yapılan deneyler sonucu kesme derinliklerinin artması titreşim ivme seviyeleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahaip olduğu görülmüştür. Titreşim ivme seviyelerindeki artış ile yüzey pürüzlülük değerleri çoğu deneyde artmış fakat bazı deneylerde ise yüzey pürüzlülüğü değerleri iyileşmiştir ve bu durum titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki olumsuz etkisini yeniden göstermiştir. Bazı deneylerde, yüzey pürüzlülük değerlerinin ani artış ve azalışı ise, takım tezgahının doğal frekansı ile kesme frekansının çakışması yani sistemin rezonansa gelmesi olarak yorumlanmıştır. Kesme derinliğinin düşük olduğu bazı durumlarda, yüzey pürüzlülük değerlerinin artması ise sistemin tezgah titreşimlerinin yüksek olması ile açıklanmıştır. Deneyler esnasında meydana gelen, genel eğilim haricindeki sonuçların, yine tezgah titreşimlerinin yüksek olması ile oluştuğu düşünülmektedir.

Kesici diş sayıları açısından titreşim ivme seviyesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi değerlendirilir ise, Şekil 6.44 ve Şekil 6.46 ile Şekil 6.47 ve Şekil 6.49'deki grafikler

çok açık bir biçimde, kesici diş sayısının artması ile titreşim ivme seviyelerinde bir artış olduğunu ve bu artışa paralel olarak da yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yükseldiğini göstermektedir. Kesici uç sayısının artması ile deney malzemesi ve kesici takım arasındaki temas artmaktadır ve bu artış sistemdeki kesme frekansı ile birlikte titreşim frekansını da arttırmaktadır. Titreşim frekansının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmıştır. Kesici diş sayısına bağlı olarak bu çalışmada yapılan deneyler ile elde edilen titreşim ivme seviyeleri ve yüzey pürüzlülük değerleri sonuçları Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1’de verilmiştir. Çizelge 6.1 ve özellikle Şekil 6.1’den de açıkça görüleceği üzere kesici diş sayılarının artması ile hem titreşim ivme seviyeleri hem de yüzey pürüzlülük değerleri artmaktadır. Şekil 6.1 incelendiğinde kesici uç sayısının artması ile titreşim (dalgaform) grafikleri karmaşık hale gelmektedir yani sistemde meydana gelen vurunların açık bir şekilde arttığı görülmektedir. Karmaşık hale gelen titreşim ivme seviye grafikleri ile kesme frekans değerlerinin de arttığı anlaşılmaktadır ve bu artan kesme frekanslarının doğal bir sonucu olarak yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır.

Frezeleme işlemi bir veya daha fazla ve tercihen çok sayılı kesici takım yardımı ile vurunlu talaş kaldırma işlemi olduğundan, frezeleme işlemlerinde oluşan titreşimlerin elde edilen ürüne etkileri son derece önemlidir. Bu çalışmada ve özellikle kesici uç sayısının test edildiği durumlarda, kesici uç sayısı deney malzemesinin yüzey kalitesi üzerinde son derece önemli bir parametre olmuştur ve bu durumun sebebi ise kesme işlemi esnasında meydana gelen titreşim frekanslarının artması olarak yorumlanmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Freze takım tezgahlarında talaş kaldırma işlemleri esnasında meydana gelen titreşimlerin iş parçasının yüzey kalitesine etkilerini değerlendirmeyi amaçlayan bu çalışmada, üç farklı kesme hızı (132 m/min, 220 m/min ve 308 m/min), dört farklı ilerleme miktarı (0.05 mm/tooth, 0.1 mm/tooth, 0.15 mm/tooth ve 0.2 mm/tooth), iki farklı kesme derinliği (1 mm ve 1.5 mm), üç farklı kesici uç sayısı (1, 2 ve 4 adet) kullanılarak AISI 1050 çelik malzeme Fanuc kontrol ünitesine sahip Johnford VMC 550 CNC freze tezgahında alın frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Frezeleme işlemleri kuru kesme ve TPKN 2204 PDR PK6030 kaplanmış kesici uç ile yapılmıştır. Talaş kaldırma işlemleri esnasında Kistler 9257 B model piezo krista esaslı dinamometre ile kesme kuvvetleri ve Commtest VB 3000 model titreşim ölçüm cihazı ile titreşim ivme seviyeleri ölçülerek kayıt edilmiştir. Bu işlemten sonra işlenen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri ölçülerek elde edilmiş veriler kullanılarak, işleme parametreleri ile titreşim ivme seviyeleri (RMS) ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) arasındaki ilişki grafikler yardımı ile yorumlanmaya çalışılmıştır. Yine aynı şekilde işleme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri grafikler yardımı ile yorumlanmıştır. Bu açıklamalar sonucu bu çalışmada elde edilen önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- 308 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı, 1.5 mm kesme derinliği ve 4 adet kesici uç sayısı parametreleri ile yapılan deneyde elde edilen kesme kuvveti en yüksek değere ulaşmıştır. Kesme kuvvetinin en düşük olduğu deney ise 308 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1 mm kesme derinliği ve 1 kesici uç ile yapılarak elde edilmiştir. Bu durumda ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetleri açısından değerlendirildiğinde ilerleme miktarlarında ki artış ile kesme kuvvetlerinde de önemli miktarda bir artış meydana gelmiştir.

- Kesme hızları açısından bir değerlendirme yapıldığında kesme hızının arttığı durumlarda kesme kuvvetlerinde bir azalma meydana gelmiştir. Bu çalışmada 132 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1 mm kesme derinliği ve 1 kesici uç ile yapılan deney ile 308 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1 mm kesme derinliği ve 1 kesici uç ile yapılan deneyler kıyaslandığında kesme hızlarındaki artışın kesme kuvvetlerinde bir düşüşe neden olduğu görülmüştür.
- Meydana gelen titreşim ivme seviyesinde (RMS) en düşük değer 132 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1 mm kesme derinliği ve 1 kesici uç ile yapılan deneyde elde edilmiştir. Yapılan deneylerde en yüksek titreşim seviyesi 308 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı, 1.5 mm kesme derinliği ve 4 adet kesici uç sayısı ile yapılan deneyde elde edilmiştir.
- İlerleme miktarları açısından oluşan titreşim ivme seviyeleri dikkate alındığında ilerleme miktarlarındaki artışlar titreşim ivme seviyelerini olumsuz yönde etkilemiştir.
- Kesme hızlarındaki artış ile titreşim ivme seviyelerindeki artış bu çalışmada yapılan, 132 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1 mm kesme derinliği ve 1 kesici uç sayısı ile yapılan ve 308 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1 mm kesme derinliği ve 1 kesici uç ile yapılan deneyler ile 132 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1.5 mm kesme derinliği ve 1 kesici uç ile ve 308 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı, 1.5 mm kesme derinliği ve 1 kesici uç sayısı ile yapılan deneyler karşılaştırıldığında görülmüştür.
- Kesme derinlikleri açısından kesme derinliğinin artması ile titreşim ivme seviyelerinde sürekli bir artış görülmüştür. Çizelge 6.1 tekrar incelenecek

olursa kesme derinliğinin artması ile titreşim ivme seviyeleri (RMS) tüm deneylerde istisnasız olarak artmıştır.

- Yine bu çalışmada kesici uç sayısına göre yapılan değerlendirmelerde kesici uç sayısının titreşim ivme seviyelerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. 4 kesici uç ile yapılan deneylerin tümünde 1 kesici uçla yapılan deneylere göre titreşim ivme seviyelerinde bir artış olmuştur. Bu durum ise kesici uç sayısının artmasıyla kesici takım ve iş parçası arasındaki titreşim frekansının artması ile açıklanmıştır.
- Bu çalışmada yapılan yüzey pürüzlülük değerlendirmelerinde en düşük yüzey pürüzlülük değerlerine 308 m/min kesme hızı ve 0.05 mm/tooth ilerleme miktarlarında ulaşılmıştır. Bu çalışmada ki en yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine ise 0.2 mm/tooth'lik yüksek ilerleme miktarlarında ulaşılmıştır. İlerleme miktarlarındaki artış yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli miktarlarda artışa yani yüzey kalitesinde azalmaya neden olmuştur.
- Kesme hızlarının artması ve düşük ilerleme miktarları ile yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme meydana gelmiştir. Bu durum birim zamanda kesici diş başına düşen talaş miktarının düşük seviyede olması ile açıklanmıştır.
- Deneylerde elde edilen önemli verilerden bir diğeri de kesme hızları-titreşim ivme grafikleri, kesme hızları-yüzey pürüzlülük grafikleri, ilerleme miktarları-titreşim ivme grafikleri, ilerleme miktarları-yüzey pürüzlülük grafikleri dikkate alındığında titreşim ivme seviyeleri ve yüzey pürüzlülük değerleri arasında bir paralellik görülmüştür.
- Artan titreşim ivme seviyeleri, yüzey pürüzlülük değerlerinin de artmasına neden olmuştur. Bu durumun açıklaması ise titreşim frekansları ile kesme frekanslarının doğru orantılı olarak artması ya da azalması olarak yapılmıştır.

Dolayısı ile, titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

- Kesici uç sayısının artması ile yüzey pürüzlülük değerleri de artmış yani yüzey kalitesi azalmıştır. Bu çalışmada kesici diş sayısı – yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi ortaya çıkartmak için 1, 2 ve 4 adet kesici uç sayıları kullanılmış ve 2 kesici uç sayısı ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri 1 kesici uç sayısı ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine göre önemli miktarda artış göstermiştir. Bu duruma paralel olarak 4 kesici uç sayısı ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri de 2 kesici uç ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden çok yüksek çıkmıştır. Bu durum kesici uç sayısının artması ile kesici takım ve iş parçası arasında oluşan titreşim frekansına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin artması olarak açıklanmıştır.

7.2. Öneriler

Freze takım tezgahlarında talaş kaldırma işlemleri esnasında işleme parametrelerinin titreşim-yüzey kalitesine etkilerini açıklamayı hedefleyen bu çalışma aşağıda öngörülen öneriler doğrultusunda geliştirilebilir:

- Bu çalışmadaki işleme parametreleri kullanılarak çeşitli sertlikteki başka malzemelerin işlenmesi esnasında meydana gelen kesme kuvveti değerleri, titreşim ivme seviyeleri ve yüzey pürüzlülük değerleri araştırılabilir.
- Değişik kesici uçlar kullanılarak frezeleme operasyonlarında kesici uç tiplerinin titreşim frekanslarına etkileri araştırılabilir.
- Değişik frezeleme yöntemleri ile freze takım tezgahında meydana gelen titreşimler ve freze takım tezgahının dinamik davranışları bir veri tabanında toplanarak uygun yüzey kalitesi için gereken parametreler araştırılabilir.

- Bu çalışmadaki sisteme bir sönümleyici eklenerek titreşimlerin azaltılması ve uygun yüzey kalitesi hedeflenebilir.
- Değişik iş parçası bağlama yöntemleri denenerek iş parçası bağlama biçimlerinin takım tezgahı titreşimlerine etkileri araştırılabilir.
- Titreşim kavramının kesme esnasındaki ayrıntılı analizleri incelenerek titreşim-yüzey kalitesi modelleri oluşturulabilir.
- Frezeleme operasyonlarında titreşimin en büyük problem olduğu delik frezeleme işlemlerinde titreşim-yüzey kalitesi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Ay, M., “CNC freze tezgahında frezeleme esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin ve titreşimlerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 1-3, 30-33, 48-50 (2003).
2. Kalpakjian, S., “Manufacturing Processes for Engineering Materials Second Edition”, **Addision**, Wesley, 42-75 (1991).
3. Lee K, Y., Kang M, C., Jeong Y, H., Lee D, W., Kim J. S., “Simulation of surface roughness and profile in high speed end milling”, **J. Material Processing Technology**, 113: 410-415 (2001).
4. Sadettin, O., Ali Osman, E., Necip, C., Ersan, A., “Tool wear evaluation by vibration analysis during end milling of AISI D3 cold work tool steel with 35 HRC hardness”, **NDT&E International**, 121-126 (2006).
5. Taşkesen, A., Ercan, Y., “Dik kesme işlemi sırasında takım tezgahı titreşimlerinin ve kararlılığının bir serbestlik dereceli kesme modeli ile nonlinear analizi ve tırlamanın tahmini”, **11. Makina Teorisi Sempozyumu**, Ankara, 503-515 (2003).
6. Wiercigroch, M., “Chaotic Vibration of a Simple Model of the Machine Tool-Cutting Process System”, **ASME Journal of Engineering for Industry**, 119: 468-475 (1997).
7. Yellowley, I., “A Simple Predictive Model of Orthogonal Metal Cutting”, **International Journal of Machine Tools Manufacturing**, 27:357-365 (1987).
8. Konodo, E., Ota, H., Kawai, T., “A New Method To Detect Regenerative Chatter Using Spectral Analysis, Part 1: Basic Study On Criteria For Detection of Chatter”, **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, 119:461-466 (1997).
9. Lin, S. C., Hu, M. R., “Low vibration control system in turning”, **Int. J. Mach. Tools Manufact.**, 32:629 (1992).
10. Choudhury, S. K., Sharath, M.S., “On line control of machine tool vibration during turning”, **J. Mater. Proc. Technol.** 47:251 (1995).
11. Saxena, J. P., “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, India)**, 98:106 (1982).

12. Rashid, A., Nicolescu, M. C., "Design and implementation of tuned viscoelastic dampers for vibration control in milling", *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 48:1036-1053 (2008).
13. Tatar, K., Gren, P., "Measurement of milling tool vibrations during cutting during laser vibrometry", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48:380-387 (2008).
14. Surmann, T., Biermann, D., "The effect of tool vibrations on the flank surface created by peripheral milling", *CIRP annals-Manufacturing Technology*, 57:375-378, (2008).
15. Kline, W. A., Devor, R. E., Shreef, I. A., "The prediction of surface acoutacy in end milling", *ASME Journal of Engineering for Industry*, 104:272-278 (1982).
16. Zheng, L., Liang, S. Y., "Identitication of cutter axis tilt in end milling", *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 119: 178-185 (1997).
17. Tobias. S. A., "Machine-tool vibration", *Blackie Glasgow*, 9: 217-238 (1965).
18. Devillez, A., Dudzinski, D., "Tool vibration detection with eddy current sensors in machining process and computation of stability lobes using fuzzy classifiers", *Mechanical Systems and Signal processing*, 21:441-456 (2005).
19. Thomas, M., Beauchamp, Y., Youssef J. Masounave Y. A., "Effect of tool vibrations on surface roughness during lathe dry turning process", *Computers and Industrial Engineering*, 31:637-644 (1996).
20. Beauchamp, Y., Thomas, M., Youssef, J. Masounave, A.Y., "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 (1995).
21. Doolan, P., Burney, F. A., Wu, S. M., "Computer Design of A multipurpose Minimum Vibration Face Milling Cutter", *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, 16:187-192 (1976).
22. Doolan, P., Phadke, M. S., Wu, S. M., "Computer design of a minimum vibration face milling cutter using an improved cutting force model", *Journal of Engineer for Industry*, 16:807-810 (1976).
23. Ko, T. J., Cho, D. W., "Cutting state monitoring in milling by a neural network", *Int. J. Mach. Tools Manufac.*, 34 (5): 659-676 (1994).

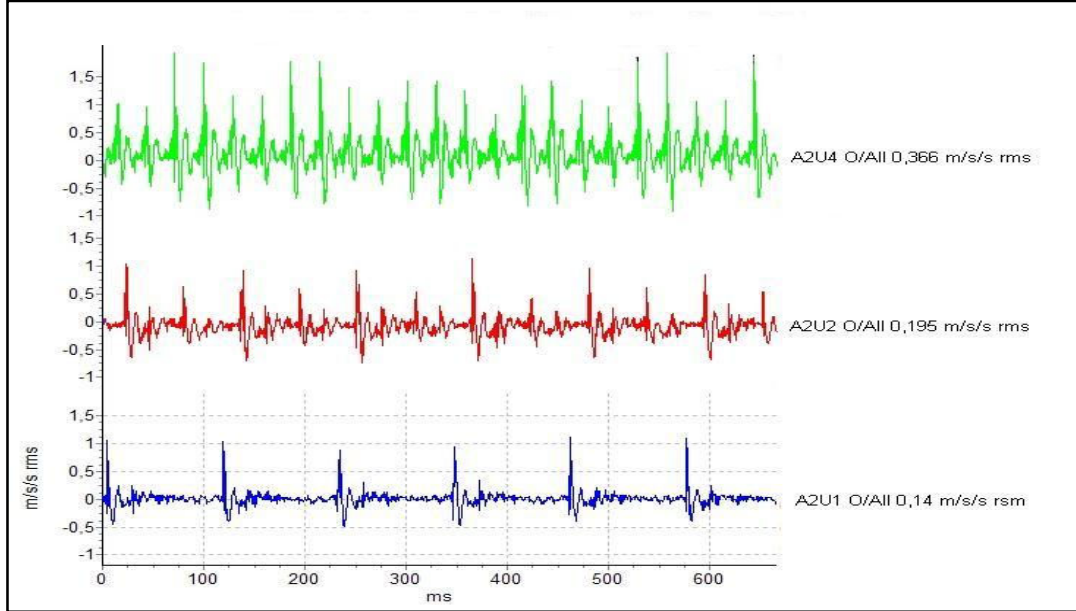
24. Hashimoto, M., Marui, E., Kato, S., “Experimental research on cutting force variation during primary chatter vibration occurring in plain milling operation”, *Int. Mach. Tools Manufact*, 36 (2): 183-201 (1996).
25. Lang, J. L., Tarn, Y. S., “A study of the active vibration control of a cutting tool”, *Journal Materials Processing Tech*, 95: 78-82 (1999).
26. Özcan, E., “CNC tezgahlarda kullanılan kesici takımlarda takım aşınmasının kesme performansına dinamik etkileri”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 8-25 (2001).
27. Patel, B. R., Mann, B. P., Young, K. A., “Uncharted islands of chatter instability in milling”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48: 124-134 (2008).
28. Toh, C. K., “Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel”, *Journal of Sound and Vibration*, 278:101-115 (2004).
29. A. H. El-Sinawi, K. Reza, “Improving surface roughness in turning using optimal control of tool's radial position”, *Journal of Materials Processing Technology*, 167(1): 54-61 (2005).
30. Hayajneh, M. T., Astakhov, V., Osman, M. O. M., “An analytical evaluation of the cutting forces in orthogonal cutting using a dynamic model of the shear zone with parallel boundaries”, *Journal of Material Processing Technology*, 82: 61-77 (1998).
31. Hamdan, M. N., “An approach to study the effects the tool geometry on the primary chatter vibration in orthogonal cutting”, *Journal of Sound and Vibration*, 128: 451-469 (1989).
32. Movahhedy, M. R., Mosaddegh, P., “Prediction of chatter in high speed milling including gyroscopic effects”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 996–1001 (2006).
33. Nakkiew, W., Lin, C., Tu, J., “A new method to quantify radial error of a motorized end-milling cutter/spindle system at very high speed rotations”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 877–889 (2006).
34. Jayaram, S., Kapoor, S. G., DeVor, R. E., “Estimation of specific cutting pressures for mechanistic cutting force models”, *Journal Machine Tools and Manufacture*, 41: 265-281 (2001).
35. Anonymous., “GTCP 85 series gas turbine engines-training notes”, Allied Signal Aerospace Inc., *Phoenix*, Arizona, USA, 83-134 (1995).

36. Anonymous., “Diagnostics of bearing and gears”, *Brüel and Kjaer*, Denmark, 46-92 (1994).
37. Kaya, F., “Titreşim mühendisliği”, *Seç Yayın Dağıtım*, İstanbul, 58-104 (1991)
38. Anonymous., “Measuring vibration”, *Brüel and Kjaer*, Denmark, 23-47 (1982).
39. Çay, İ. C., “Tarım traktörleri sürücü koltukları titreşim sönümleme elemanları üzerine bir araştırma”, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-28 (2006)
40. Anonymous., “ISO 2631-1 mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration”, *International Organization For Standardization*, Geneve-Switzerland, 31 (1997).
41. Hannah, J., Stephens, R. C., “Examples in mechanical vibrations”, *Edvard Arnold (Publishers) Ltd.*, London, 152 (1956).
42. Sabancı, A., “Tarım traktörlerinin ergonomik nitelikleri üzerinde bir araştırma”, *Türkiye Ziraat Kurumu Tarım Makineleri Araştırma Enstitüsü*, Ankara, 1:196 (1981).
43. French, A. P., “Titreşim ve dalgalar”, *Aktif Yayınevi*, İstanbul, 1-5 (2003).
44. Tekaüt, İ., “Takım tezgahlarındaki kesici takım titreşiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-19 (2008).
45. Erol, M., “Makinelerde titreşim ve etkileri”, Bitirme Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 1-3 (2002).
46. Arkun. E., “Yapı Bilgisi”, *Makine Mühendisliği El Kitabı*, 4: 141-144 (1983).
47. Sabancı, A., “Tarım traktörlerinin titreşim sorunları ve sürücü oturaklarının yalıtım özellikleri üzerinde bir araştırma”, *Türkiye Ziraat Kurumu Mesleki Yayınları*, Ankara, 35: 188 (1984).
48. Karabulut. A., “Traktör sürücü oturakları yalıtım sistemi üzerinde bir araştırma”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 7-50 (1995).
49. Anonymous., “Indroduction to shock and vibration”, Brüel and Kjaer, *Sound and Vibration Measurement A/S*, Denmark, 36 (1998).
50. İnternet: Karaelmas Üniversitesi “2009 titreşimlerin ölçülmesi ve transducerler” <http://sciart.karaelmas.edu.tr/bolumler/fizik/kisisel/T.ATALAY/Transducerler/Transducerler.doc> (2009)

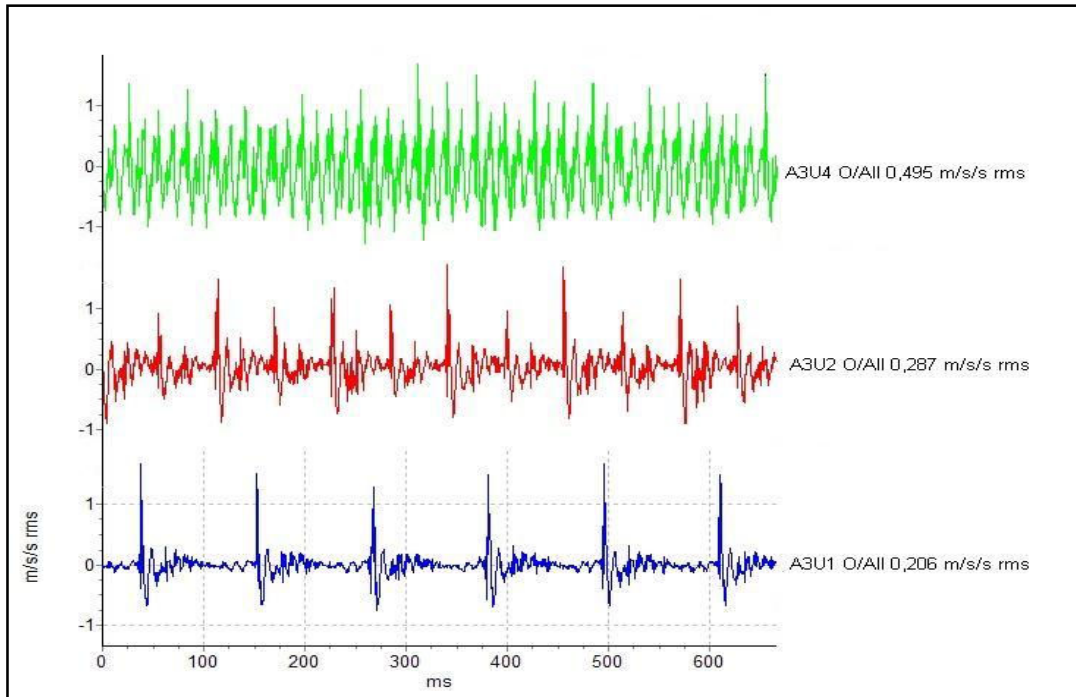
51. Çağlayan, H. İ., “Titreşim sözlüğü ansiklopedisi”, **VibraTek Firması**, Ankara, 2-4 (2005)
52. Anonymous., “Transducer & conditioning catalogue”, **Brüel and Kjaer**, Denmark, 15-54 (1993).
53. Rao, S., “Mechanical vibrations”, **Addision-Wesley Publ. Co.**, USA, 8-35 (1986).
54. Stout, K. J., “Engineering surfaces-a philosophy of manufacture (a proposal for good manufacturing practise)”, **Proc. Instn. Mech.**, 212-169-174 (1998).
55. Griffiths, B. J., “Manufacturing surface technology in surface integrity and functional performance”, **Penton Pres.**, London, 1-18, 42-54 (2001).
56. Çoğun, C., “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Ankara, 17: 59-75 (2002).
57. Korucu, S., “Hidrolik kopya aparatı yardımı ile elde edilen parçalarda yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-15, 28-85 (1996).
58. İnternet: Harvard Üniversitesi “2009 Surface Milling and Cutting Vibrations” http://cfawww.harvard.edu/cfa/oir/MMT/mmt/foltz/mmt_conv5/node33.html (2009).
59. Çiftçi, İ., “Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğünün tayini ders notları”, **Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, Karabük, 1-6 (2004).
60. Cheng, P. J., Tsoy, J. T., Lin, S. C., “A study on instantaneous cutting force coefficients in face milling”, **Int. J. Machine Tools and Manufac.**, 37(10): 1393-1408 (1997).
61. Şeker, U., “Makine eğitimi ders notları”, **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 5-8 (2003).
62. Çakır, C. M., “Modern talaşlı imalatın esasları”, **Ceylan Matbaacılık**, İstanbul, 32-36 (1999).
63. Bouzid Sai, W., Ben Salah, N., Lebrun, J. L., “Influence of machining by finish milling on surface characteristics”, **Journal Machine Tools and Manufac.**, 41: 443-450 (2001)

EKLER

EK-1 Deneylerde elde edilen titreşim frekansları

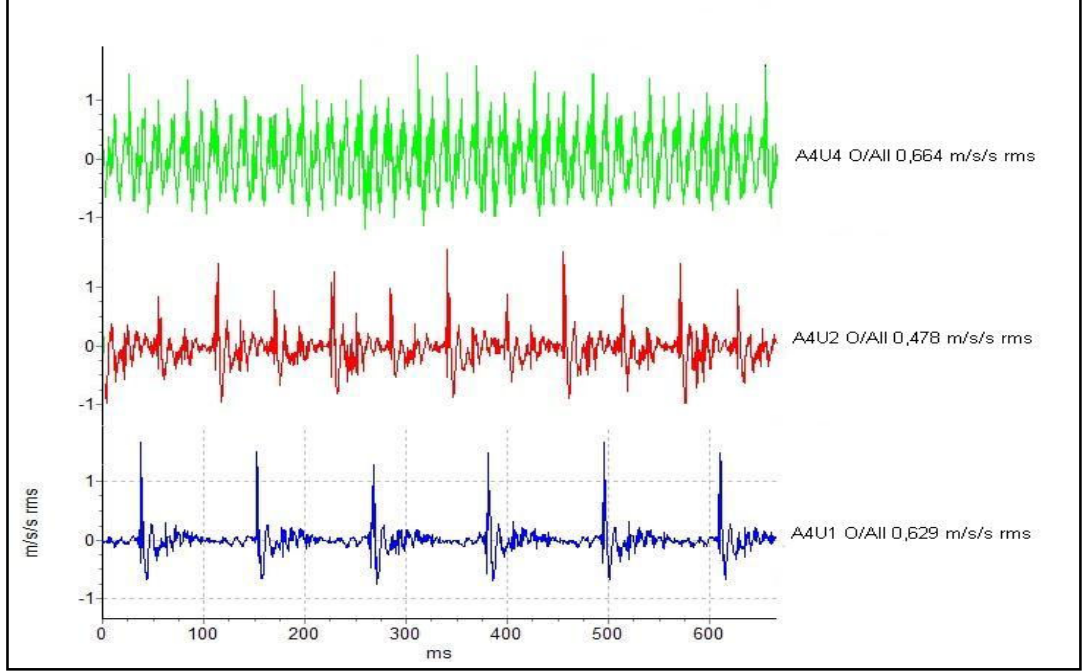


Şekil 1.1. 132 m/min kesme hızı, 0.1 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

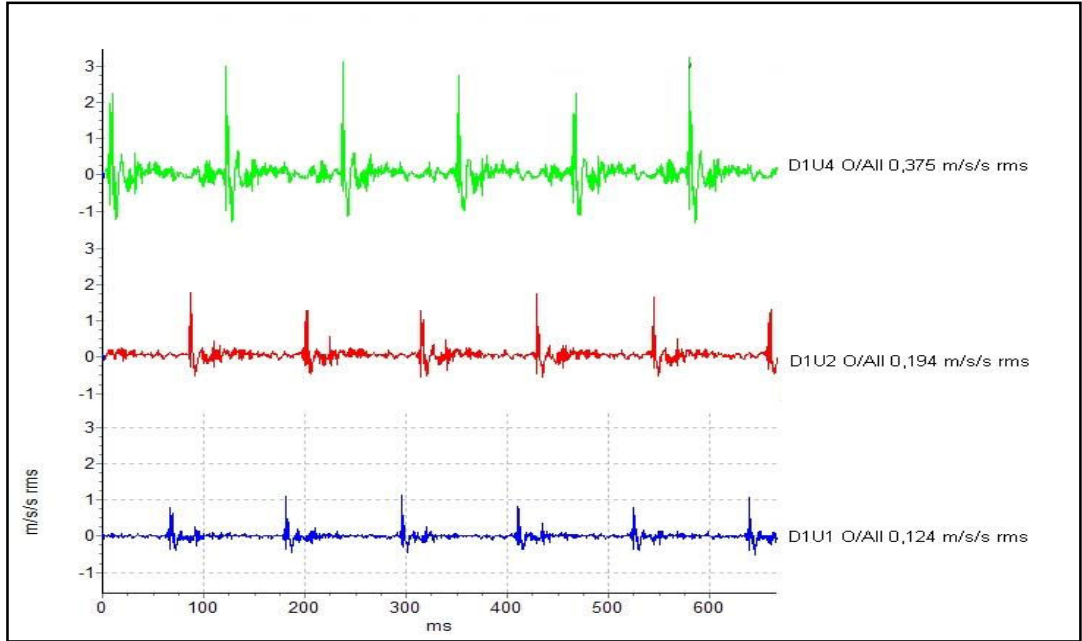


Şekil 1.2. 132 m/min kesme hızı, 0.15 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

EK-1 (Devam) Deneylerde elde edilen titreşim frekansları

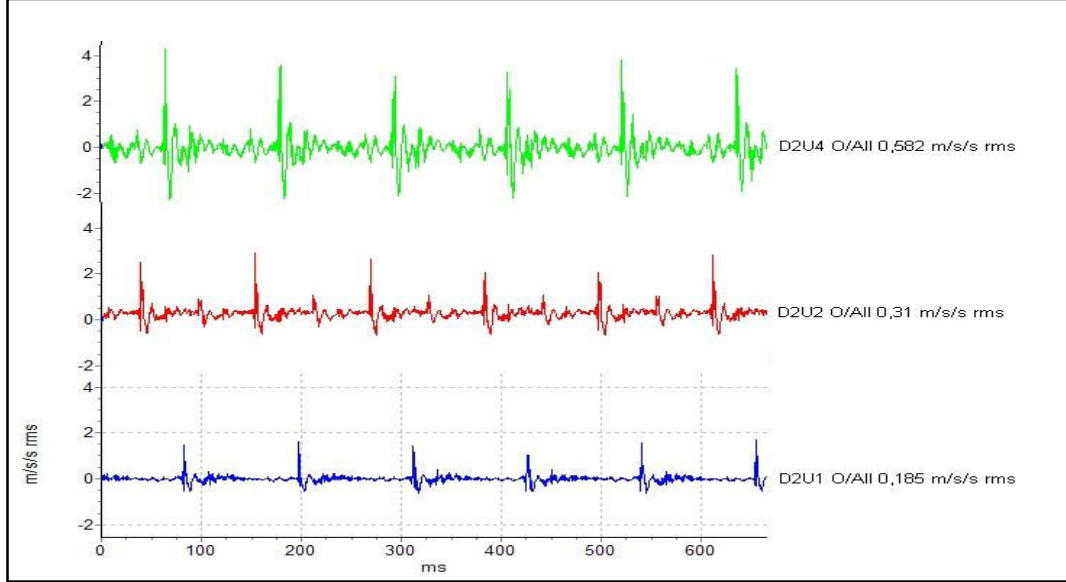


Şekil 1.3. 132 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

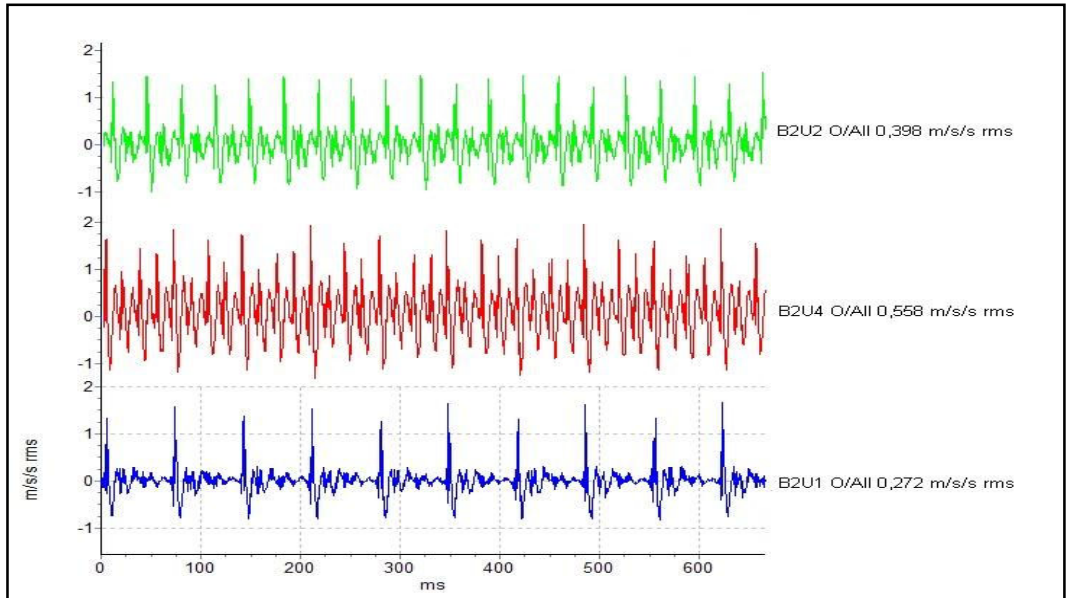


Şekil 1.4. 132 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

EK-1 (Devam) Deneylerde elde edilen titreşim frekansları

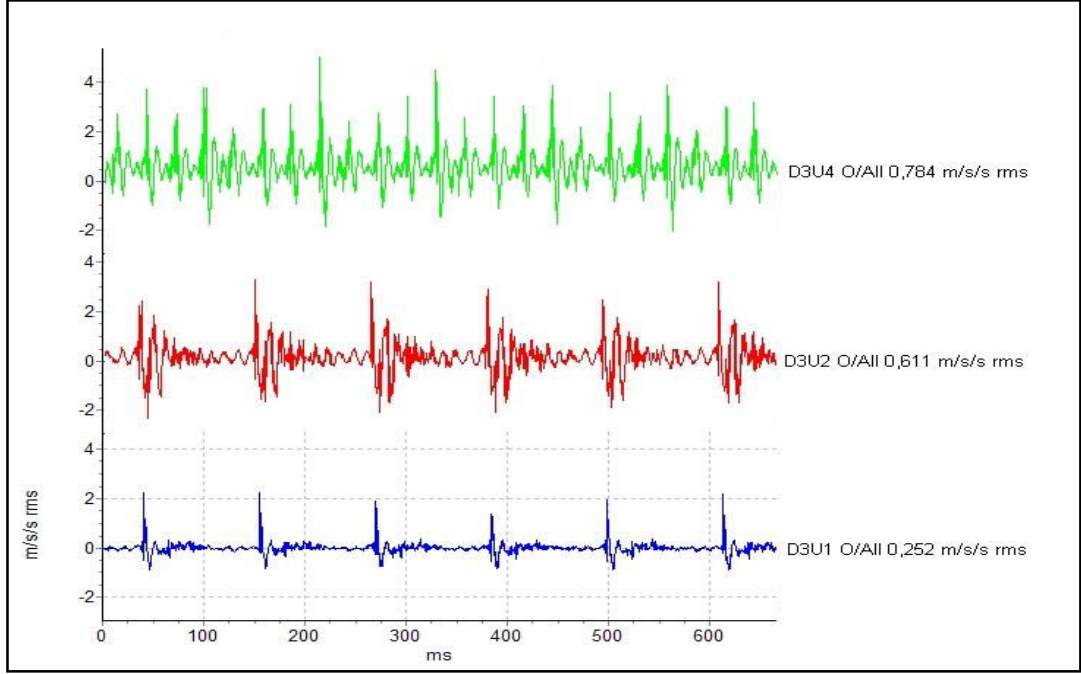


Şekil 1.5. 132 m/min kesme hızı, 0.1 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

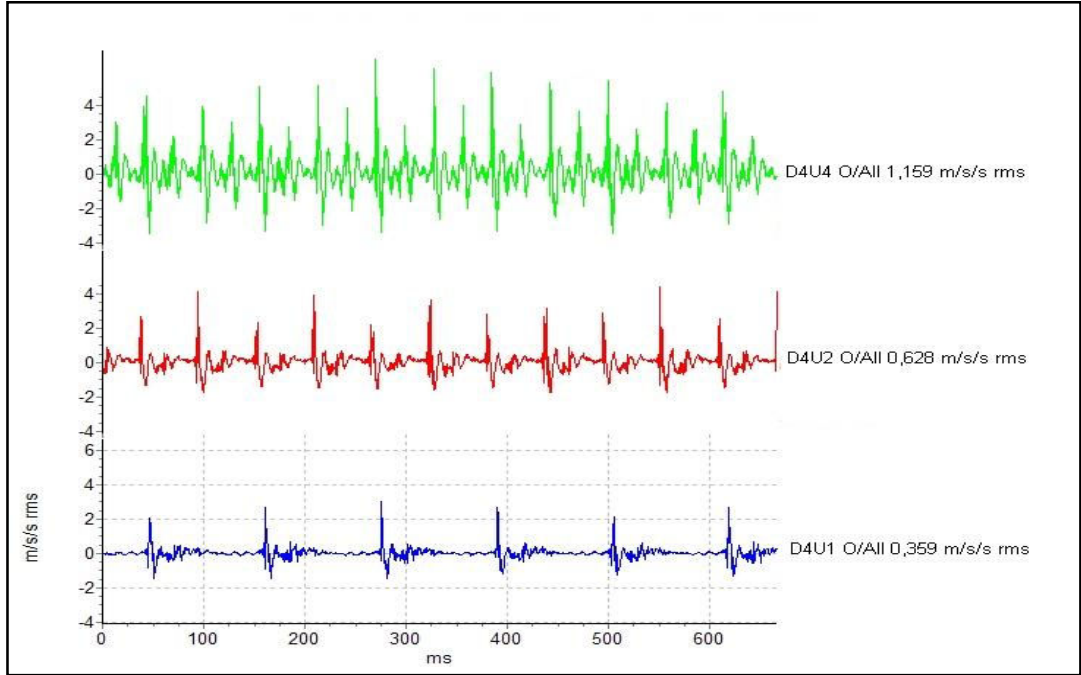


Şekil 1.6. 220 m/min kesme hızı, 0.1 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

EK-1 (Devam) Deneylerde elde edilen titreşim frekansları

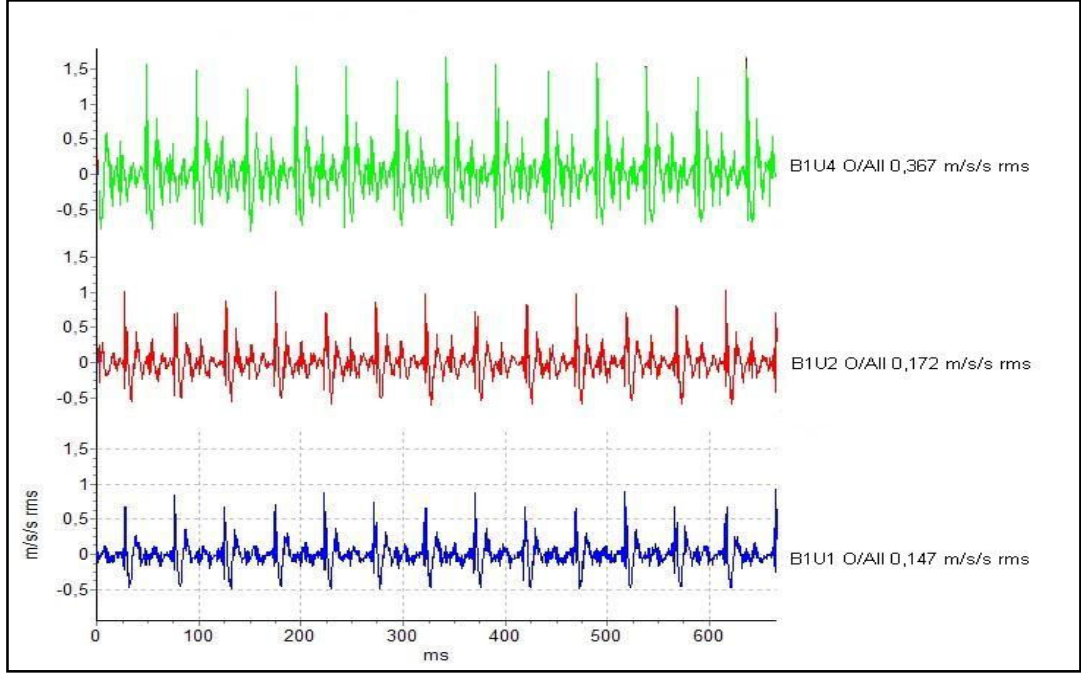


Şekil 1.7. 132 m/min kesme hızı, 0.15 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

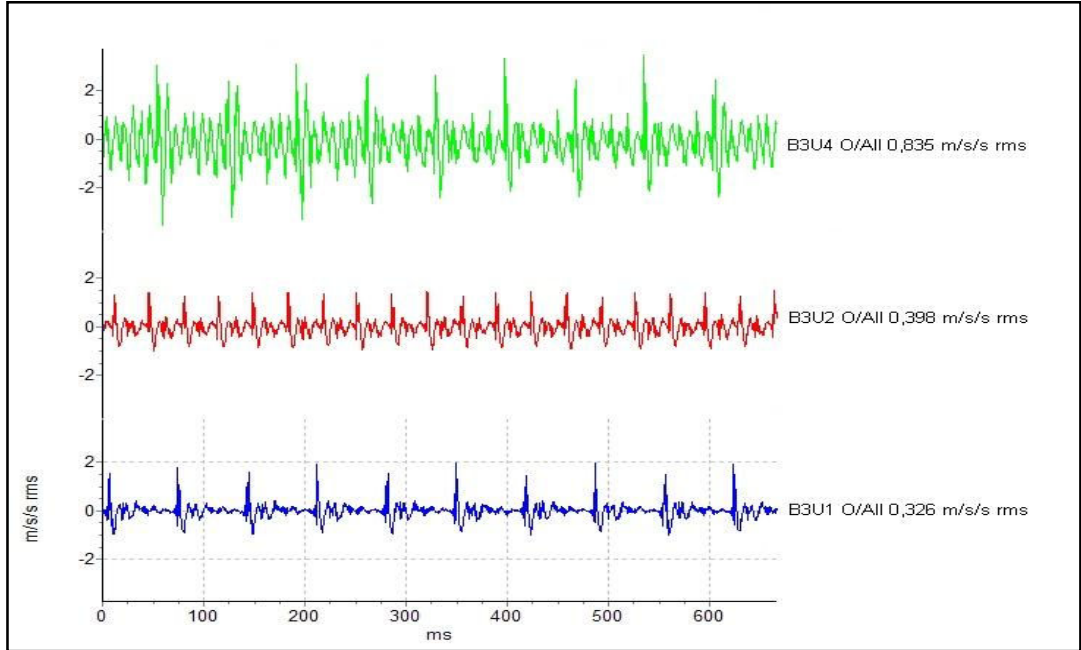


Şekil 1.8. 132 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

EK-1 (Devam) Deneylerde elde edilen titreşim frekansları

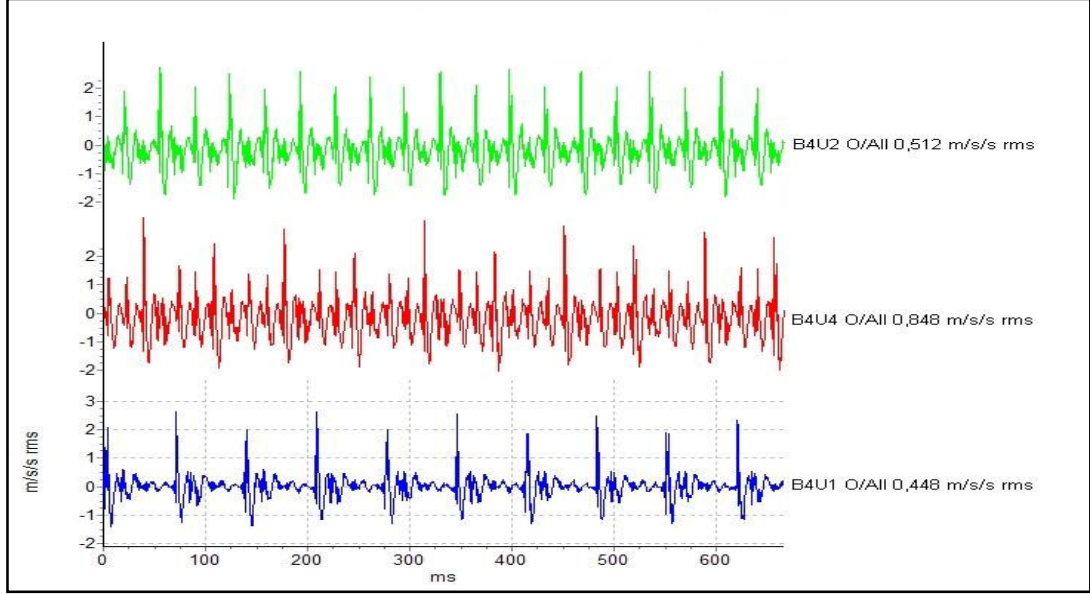


Şekil 1.9. 220 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

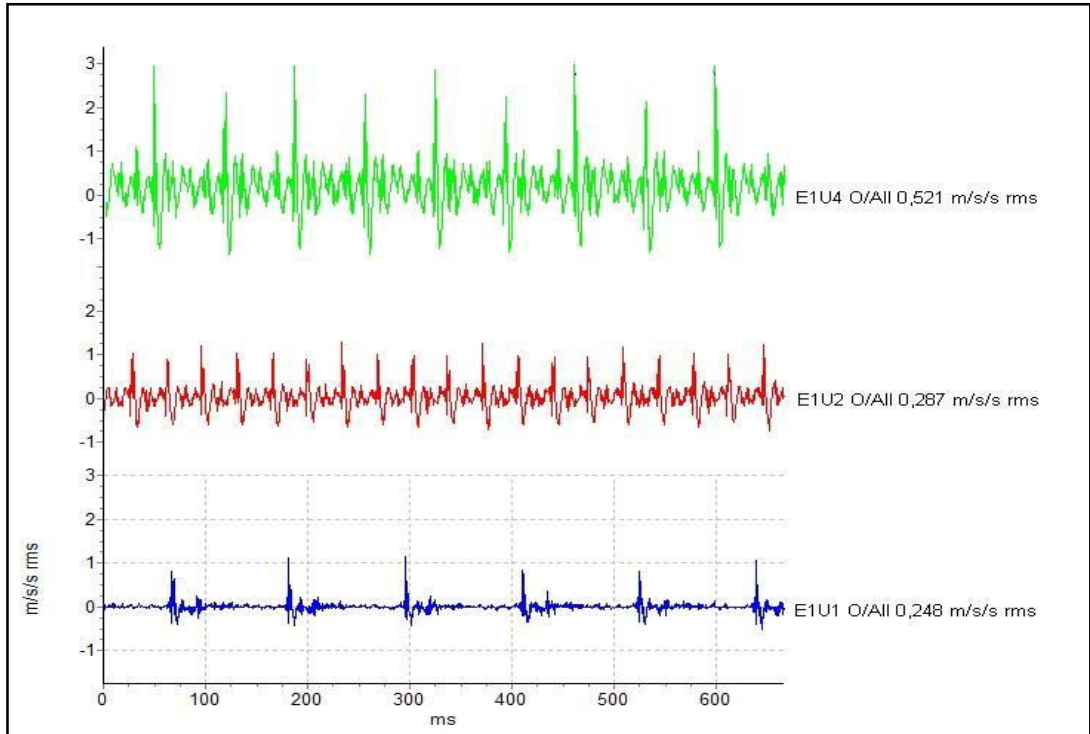


Şekil 1.10. 220 m/min kesme hızı, 0.15 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

EK-1 (Devam) Deneylerde elde edilen titreşim frekansları

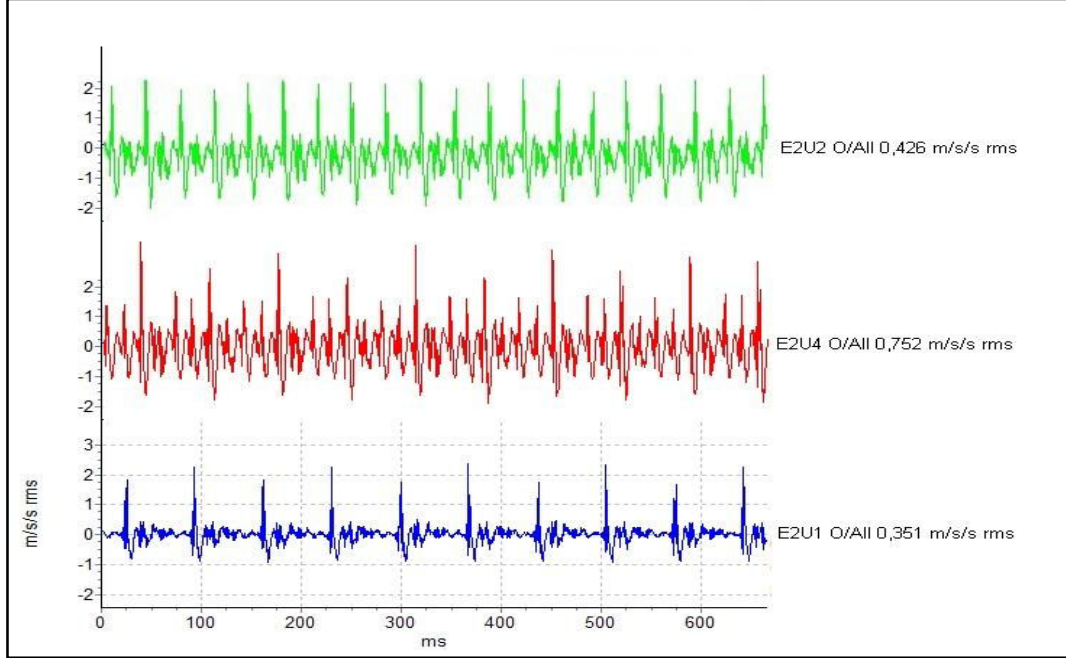


Şekil 1.11. 220 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

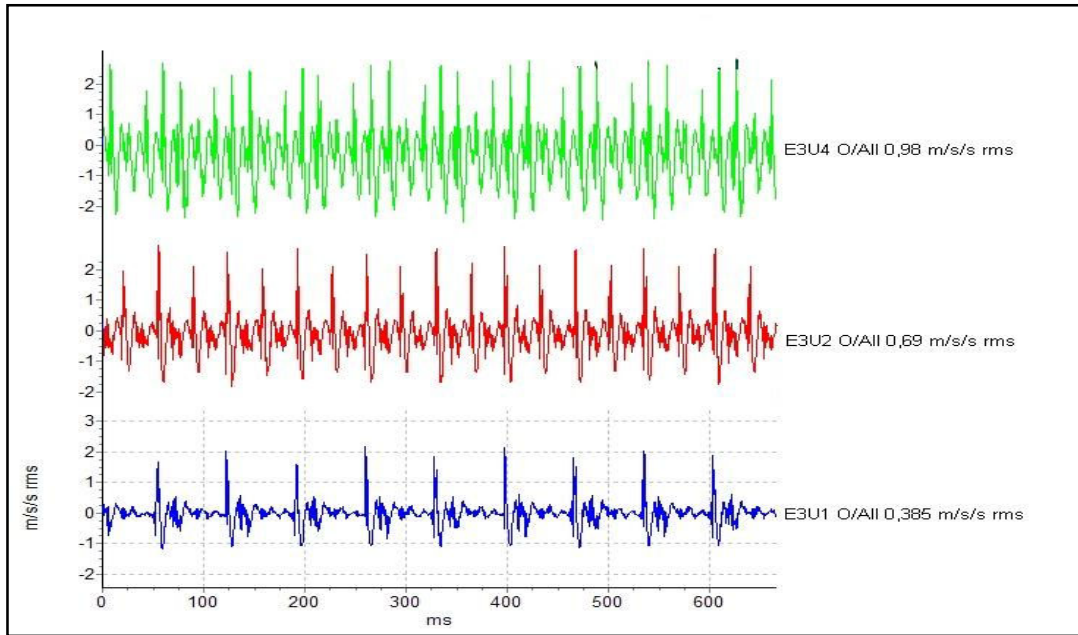


Şekil 1.12. 220 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

EK-1 (Devam) Deneylerde elde edilen titreşim frekansları

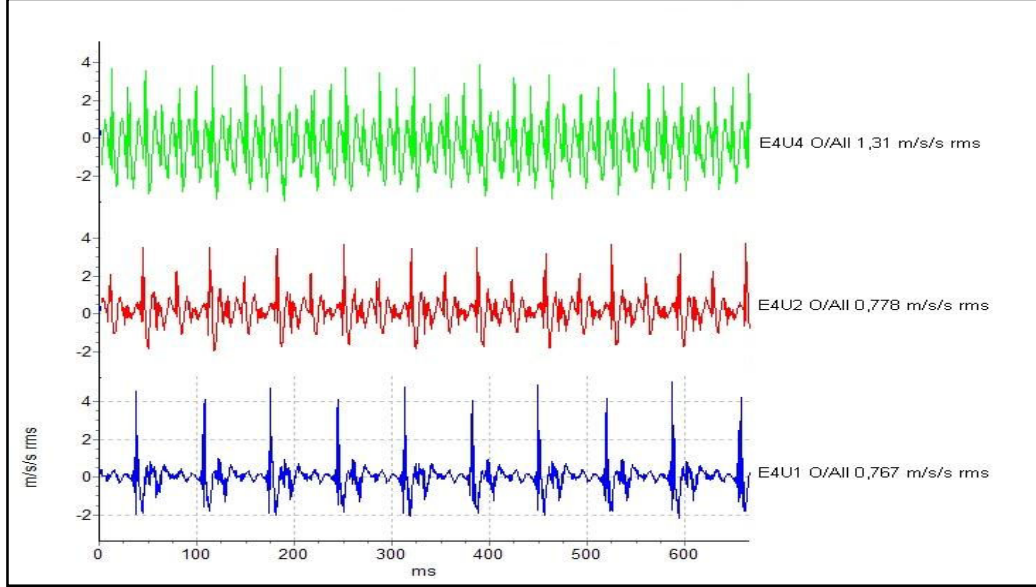


Şekil 1.13. 220 m/min kesme hızı, 0.1 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

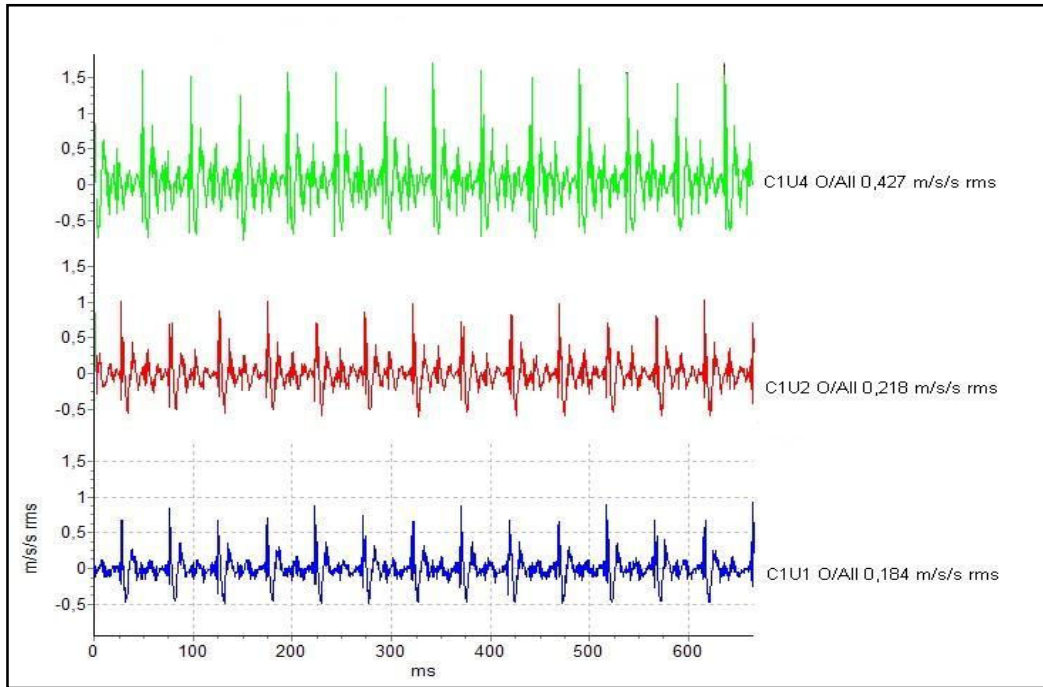


Şekil 1.14. 220 m/min kesme hızı, 0.15 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

EK-1 (Devam) Deneylerde elde edilen titreşim frekansları

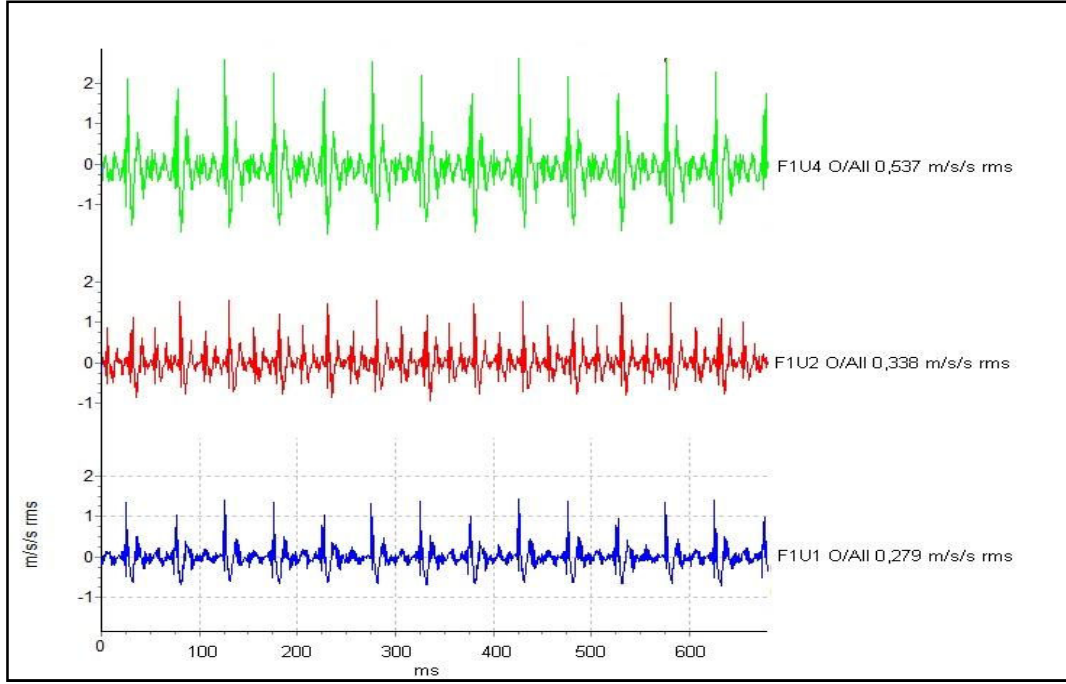


Şekil 1.15. 220 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

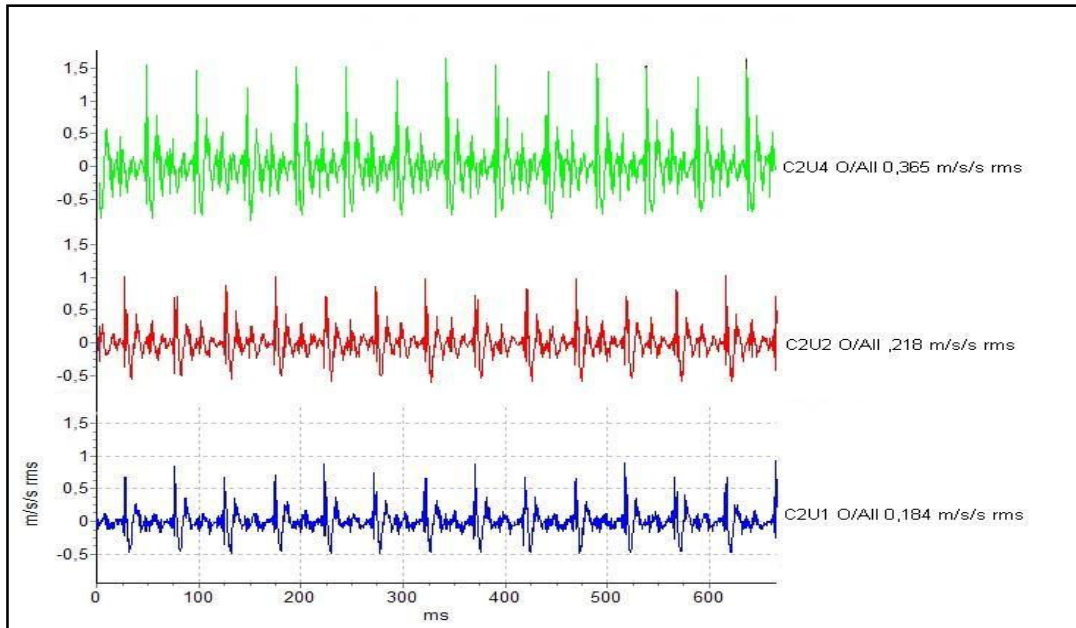


Şekil 1.16. 308 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

EK-1 (Devam) Deneylerde elde edilen titreşim frekansları

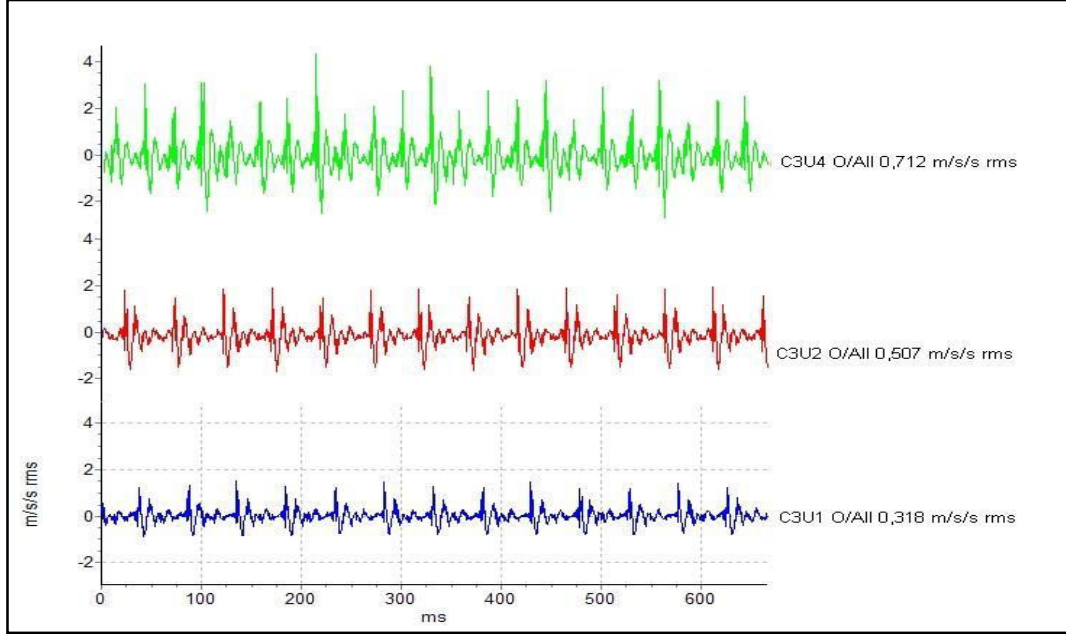


Şekil 1.17. 308 m/min kesme hızı, 0.05 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

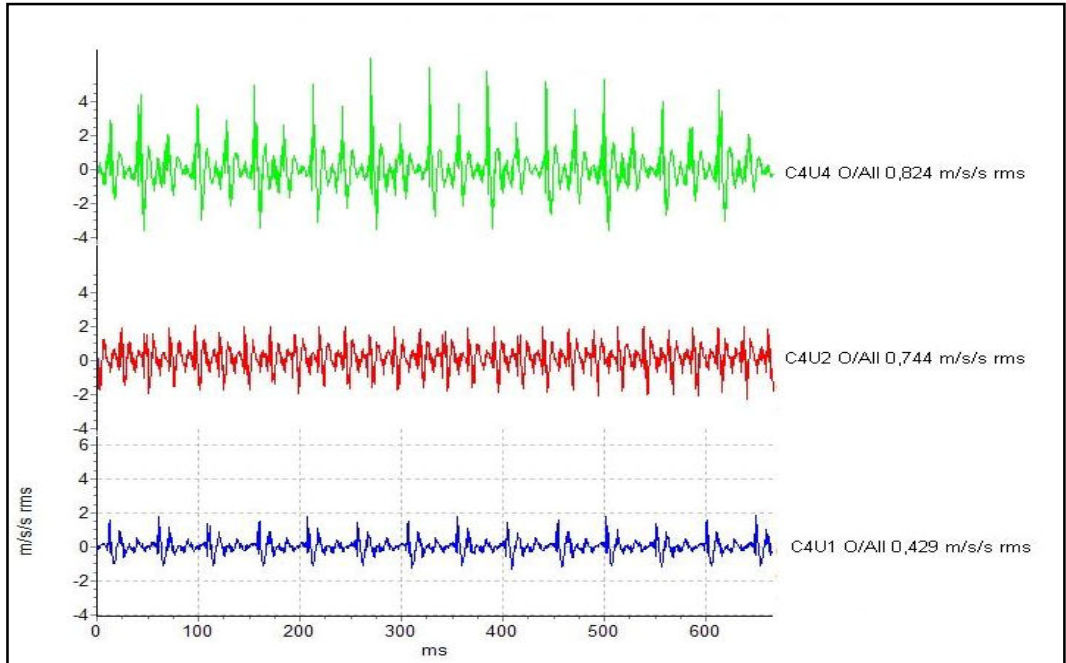


Şekil 1.18. 308 m/min kesme hızı, 0.1 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

EK-1 (Devam) Deneylerde elde edilen titreşim frekansları

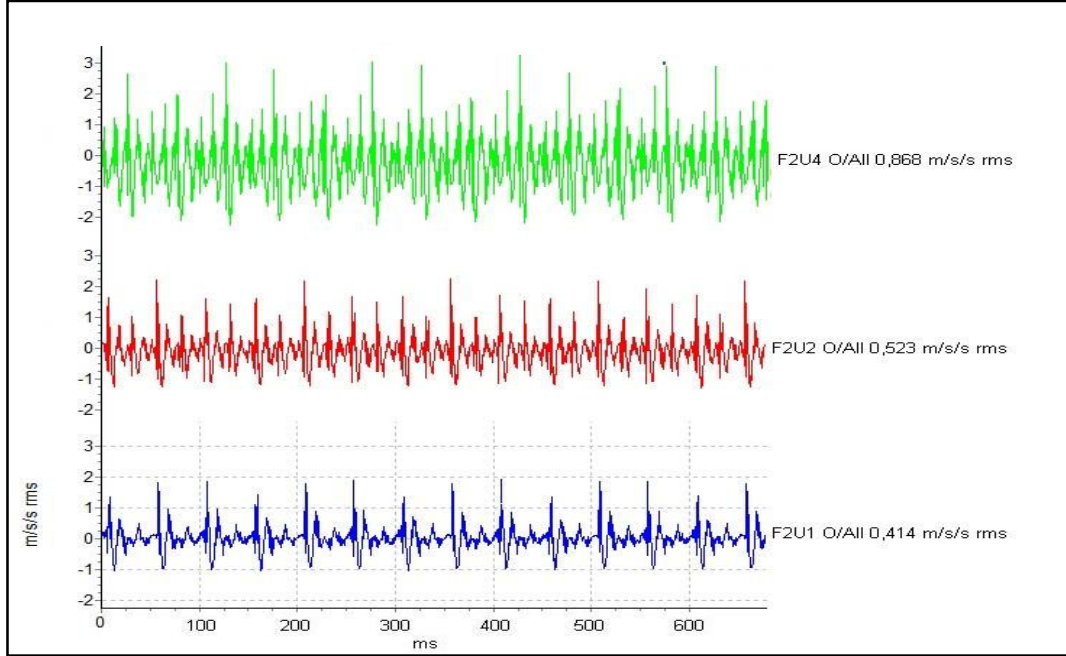


Şekil 1.19. 308 m/min kesme hızı, 0.15 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

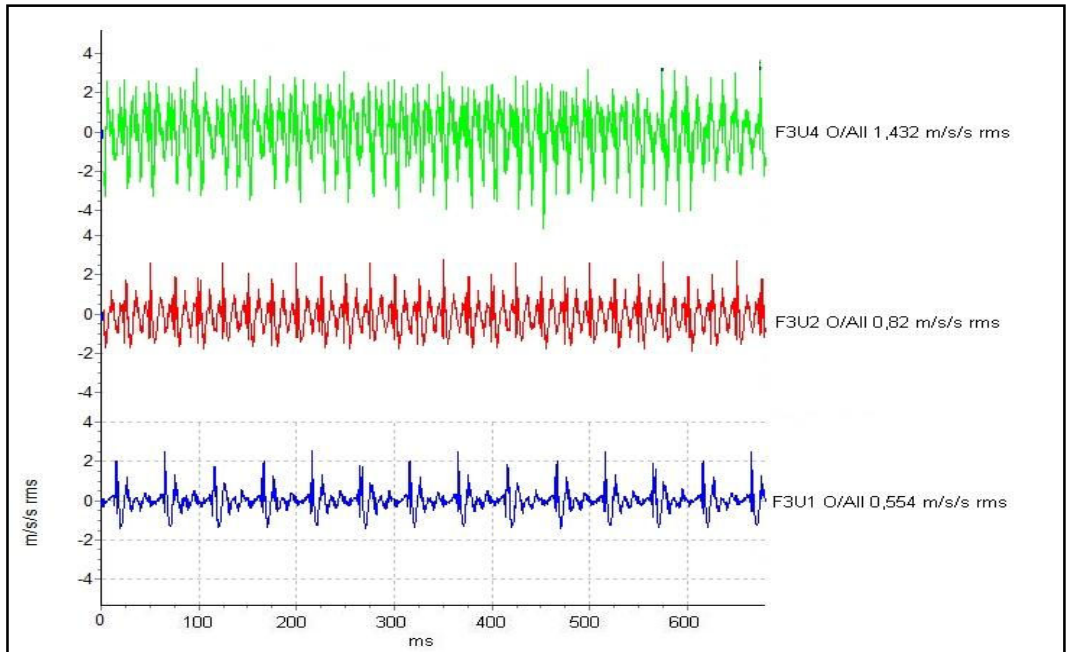


Şekil 1.20. 308 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

EK-1 (Devam) Deneylerde elde edilen titreşim frekansları

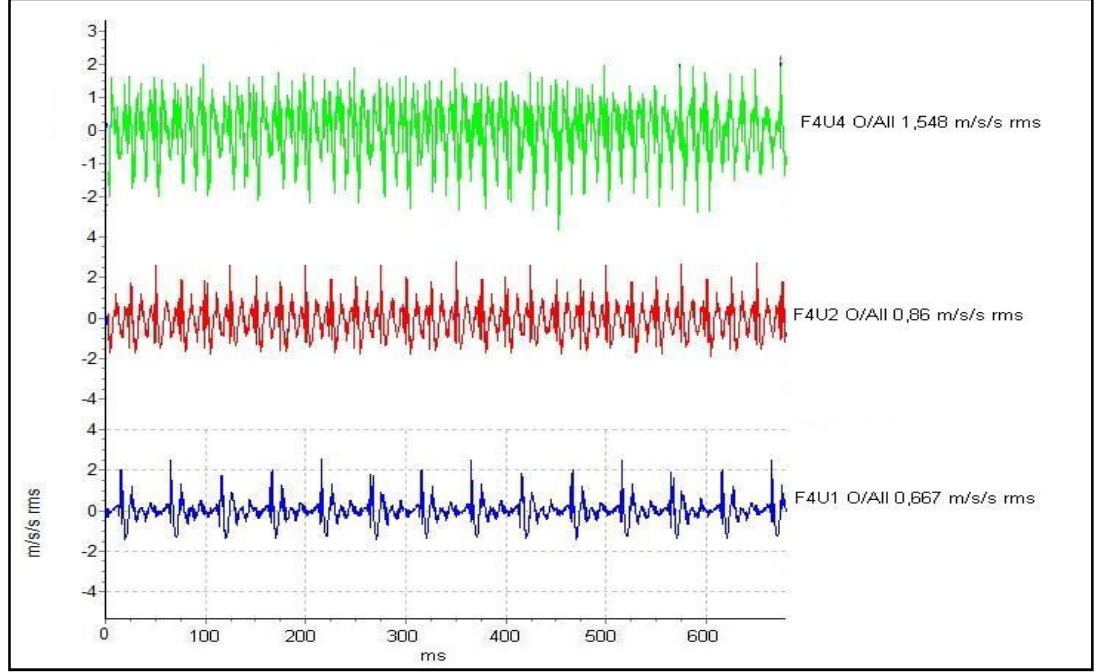


Şekil 1.21. 308 m/min kesme hızı, 0.1 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları



Şekil 1.22. 308 m/min kesme hızı, 0.15 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

EK-1 (Devam) Deneylerde elde edilen titreşim frekansları



Şekil 1.23. 308 m/min kesme hızı, 0.2 mm/tooth ilerleme miktarı ve 1.5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde titreşim frekansları

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILMAZ, Volkan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 25.07.1983 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 202 10 10
Faks : 0 (312) 202 10 10
e-mail : volkan@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üni./ Makine Eği. Bölümü	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2009	Gazi Üniversitesi	Okutman

Yabancı Dil

İngilizce