



**FREZLEME ESNASINDA OLUŞAN TİTREŞİM, KESME KUVVETİ VE
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DENEYSEL OLARAK ANALİZİ**

Peiman BAGHERİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2019

Peiman BAGHERİ tarafından hazırlanan “FREZLEME ESNASINDA OLUŞAN TİTREŞİM, KESME KUVVETİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DENEYSEL OLARAK ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Şener KARABULUT

Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Makine Programı

Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 17/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Peiman BAGHERI
17/07/2019

FREZLEME ESNASINDA OLUŞAN TİTREŞİM, KESME KUVVETİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DENEYSEL OLARAK ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Peiman BAGHERİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Gerçekleştirilen bu çalışmada, CNC dik işleme tezgâhında kesme parametrelerinin titreşim, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerine etkileri incelenmiştir. Deneyler üç farklı talaş derinliği (1,5 mm, 2 mm ve 2,7 mm), üç farklı ilerleme miktarı (0,12 mm/rev, 0,19 mm/rev ve 0,3 mm/rev) ve iki farklı kesme hızı (90 mm/min ve 150 mm/min) parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde malzeme olarak 1.2367 (AISI H11) sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmaya göre, titreşim, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu görülmüştür. Titreşim miktarı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri artan ilerleme oranı ve talaş derinliğine bağlı olarak artmış ancak artan kesme hızı bağlı olarak azalmıştır. X yönündeki titreşim miktarı üzerinde en etkin parametre % 55,17 ile talaş derinliğidir. Y yönündeki titreşim değeri yaklaşık %44 ile ilerleme ve talaş derinliğinden etkilenmiştir. Z yönündeki titreşim miktarı ise %45,8 ilerleme ve %41,5 talaş derinliğinden etkilenmiştir. Kesme kuvvetinin oluşumu üzerinde en etkin parametre %53,1 ile ilerleme miktarı ve %44,7 ile talaş derinliğidir. Kesme hızının kesme kuvveti üzerinde etkisi çok küçüktür. Yüzey pürüzlülüğü ise, %72,69 oranında ilerleme oranından etkilenirken, kesme kuvveti %14,56 ve talaş derinliği ise %6,3 oranında etkili olmuştur. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi oldukça düşüktür.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : İşlenebilirlik, Titreşim, Kesme kuvveti, Yüzey pürüzlülüğü

Sayfa Adedi : 53

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ

EXPREMENTAL ANALYSIS OF VIBRATION, CUTTING FORCE AND SURFACE ROUGHNESS DURING CNC MILLING

(M.S.Thesis)

Peiman BAGHERİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

In this study, the influences of the cutting parameters on vibrations, cutting forces and surface roughness have been investigated in the CNC vertical Milling machine. The experiments were carried out using three different depth of cuts (1.5 mm, 2 mm and 2.7 mm), two different cutting speeds (90 mm/min and 150 mm/min) and three different feed values (0.12 mm/rev, 0.19 mm/rev and 0.3 mm/rev). In the experiments, 1.2367 (AISI H11) hot work tool steel was used as the workpiece material. According to this study, the vibration values, cutting forces and surface roughness increase with the feed rate. According to the experiments, the most effective parameter on vibration, shear force and surface roughness was found to be the feed rate. The amount of vibration, shear force and surface roughness are increasing with the increasing feed rate and depth of cut. However, it is decreasing with increasing of the cutting speed. The most effective parameter on the vibration amount in the x direction is the depth of cut with 55.17%. The vibration value in the Y direction was influenced by feed and depth of cut with approximately 44%. The amount of vibration in the Z direction was influenced by 45.8% feed and 41.5% chip depth. The most effective parameter on formation of cutting force are feed rate with 53.1% and depth of cut with 44.7%. the effect of cutting speed on cutting force is quite small. The surface roughness was influenced by feed rate of 72.69%, cutting force 14.56% and depth of cut 6.3%. The effect of depth of cut on surface roughness is very low.

Science Code : 91438

Key Words : Machinability, Vibration, Cutting force, Surface roughness

Page Number : 53

Supervisor : Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ'a ve Doç. Dr. Hakan DİLİPAK'a ve Arş. Gör. Bahattin YILMAZ'a, çalışma sırasında sabır ve desteklerini esirgemeyen ailem ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca, Gazi Üniversite Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığına 07/2018-26 nolu projeye verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMA	5
3. KAVRAMSAL TEMELLER	13
3.1. Kesme Kuvveti	13
3.1.1. Kesme teorisi	13
3.1.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi	14
3.2. Titreşim	14
3.3. Yüzey Pürüzlülüğü	19
4. MATERYAL VE METOT	23
4.1. Malzeme	23
4.2. Kesici Uç ve Takım Tutucu	24
4.3. Kesme Kuvveti Ölçme Cihazı	25
4.4. Titreşim Ölçme Cihazı	26
4.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Cihazı	27
4.6. CNC Freze Tezgâhı	28

Sayfa

4.7. Deneyin Yapılışı ve Deneysel Parametreler	28
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	31
5.1. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Titreşim	32
5.2. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Kesme Kuvveti	34
5.3. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Yüzey pürüzlülükleri	36
5.4. İstatistiksel Analiz	38
5.4.1. X yönünde elde edilen titreşim sonuçların istatistiksel analizi	38
5.4.2. Y yönünde elde edilen titreşim sonuçların istatistiksel analizi	40
5.4.3. Z yönünde elde edilen titreşim sonuçların istatistiksel analizi	41
5.4.4. Kesme kuvvetinde elde edilen sonuçların istatistiksel analizi	43
5.4.5. Yüzey pürüzlülüğünde elde edilen sonuçların istatistiksel analizi	44
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	53

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. AISI H11 deney malzemesinin kimyasal bileşimi	23
Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri	29
Çizelge 5.1. İşleme sırasında elde edilen sonuçlar	31
Çizelge 5.2. X yönünde oluşan titreşim miktarı (RMS) için varyans analizi sonuçları	39
Çizelge 5.3. Y yönünde oluşan titreşim miktarı (RMS) için varyans analizi sonuçları	40
Çizelge 5.4. Z yönünde oluşan titreşim miktarı (RMS) için varyans analizi sonuçları	42
Çizelge 5.5. Kesme kuvveti (Fr) varyans analizi sonuçları	43
Çizelge 5.6. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) varyans analizi sonuçları	44
Çizelge 5.7. İstatiksel analizinde parametrelerin yüzde etkisi ve etki yönleri.....	45

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Takım Ömrü, işlenmiş alan ve çıkarılan malzemenin talaş hacmi	6
Şekil 2.2. Tüm dört kesici takım için dalgacık katsayılarının ortalama enerjisi	8
Şekil 3.1. İşleme sırasında oluşan kuvvetler yönleri	14
Şekil 3.2. Freze makinesinin gerçek ve hayali parçaları (bir MDOF sistemi)	16
Şekil 3.3. Üç farklı frezeleme makinesinin esnekliğinin üç yönde kutup eğrisi	16
Şekil 3.4. İki serbestlik dereceli dinamik frezeleme modeli	17
Şekil 3.5. Titreşim sinüs şeklinde dalgaları	18
Şekil 3.6. Pürüzlülük ölçümünü hesaplamak için kullanılan yüzey pürüzlülüğünün parametreleri	20
Şekil 3.7. Ortalama maksimum profil yüksekliği Rz ve maksimum pürüzlülük derinliği	21
Şekil 4.1. APKT 1604 PDTR kesici uç LAMINA-LT30-PVD	24
Şekil 5.1. İlerleme hızı-titreşim ilişkisi a) $a = 1,5$ mm, $V = 90$ m/min. b) $a = 1,5$ mm, $V = 150$ m/min. c) $a = 2$ mm, $V = 90$ m/min. d) $a = 2$ mm, $V = 150$ m/min. e) $a = 2,7$ mm, $V = 90$ m/min. f) $a = 2,7$ mm, $V = 150$ m/min	33
Şekil 5.2. Talaş derinliği- titreşim ilişkisi a) $f = 0,12$ mm/rev, $V = 90$ m/min. b) $f = 0,12$ mm/rev, $V = 150$ m/min. c) $f = 0,19$ mm/rev, $V = 90$ m/min. d) $f = 0,19$ mm/rev, $V = 150$ m/min. e) $f = 0,3$ mm/rev, $V = 90$ m/min. f) $f = 0,3$ mm/rev, $V = 150$ m/min	34
Şekil 5.3. Kesme kuvvetinin ilerleme miktarına göre değişimi a) $a = 1,5$ mm, b) $a = 2$ mm ve c) $a = 2,7$ mm	35
Şekil 5.4. Kesme kuvvetinin kesme parametrelerine göre değişimi. a) İlerleme miktarı-kesme kuvveti değişimi, $V = 90$ m/min, b)) İlerleme miktarı-kesme kuvveti değişimi, $V = 150$ m/min, c) Talaş derinliği kesme kuvveti değişimi, $V = 90$ m/min, d) Talaş derinliği kesme kuvveti değişimi, $V = 150$ m/min	36
Şekil 5.5. İlerleme miktarı - Yüzey pürüzlülüğü ilişkisi, a) $a = 1,5$ mm, b) $a = 2$ mm, c) $a = 2,7$ mm	37
Şekil 5.6. Yüzey pürüzlülüğünün talaş derinliği ve ilerleme miktarına göre değişimi a) $V = 90$ m/min'de R_a -a değişimi, b) $V = 150$ m/min'de R_a -a değişimi, c) $V = 90$ m/min'de R_a -f değişimi, d) $V = 150$ m/min'de R_a -f değişimi	38

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. X yönünde oluşan titreşim (RMS-x) için ana etkiler grafiği	39
Şekil 5.8. Y yönünde oluşan titreşim (RMS-y) için ana etkiler grafiği	41
Şekil 5.9. Z yönünde oluşan titreşim (RMS-z) için ana etkiler grafiği.....	42
Şekil 5.10. Kesme kuvveti (Fr) ana etkiler grafiği	43
Şekil 5.11. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ana etkiler grafiği	45

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. SPAP 16 S02 30-150 WORKE	24
Resim 4.2. 9257B tipi Kistler dinamometre	25
Resim 4.3. PCE-VM 3D titreşim ölçme cihazı	27
Resim 4.4. Sj-410 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı ve ölçüm tipi	27
Resim 4.5. VMC–550 CNC freze tezgâhı	28
Resim 4.6. İş parçasının dinamometreye bağlanma tipi	29

SİMGELER VE KISITLAMALAR

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

Simgeler	Açıklama
a	Talaş derinliği, mm
FR	Bileşke kuvveti
f	İlerleme hızı, mm/rev
P	Zirve (peak)
R_a	Ortalama pürüzlülük değeri, μm
R_p	Örnek bir uzunluğu içinde karşılaşılan merkez çizgisinin üzerinde bir zirvenin maksimum sapmasıdır, μm
R_v	En büyük pürüzlülük derinliği, μm
R_t	Tüm ölçüm uzunluğu için pürüzlülük yüksekliği, μm
R_z	5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması, μm
R_{max}	En büyük pürüzlülük derinliği, μm
T	Periyot
V	Kesme hızı, m/min
Kısıtlamalar	Açıklama
LDV	Lazer vibrometresi
MDOF	Çoklu serbestlik derecesi
PVD	Kaplamalı karbür kesici
RMS	Karelerinin ortalamasını kara kökü- Root Mean Square
SDOF	Tekli serbestlik derecesi
VAR	Vakum ark eritme fırınları

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojiye ülkelerin ekonomisini ve endüstriyel seviyesini geliştirmek ve sektörler arasındaki rekabet ve uluslararası rekabette avantajlar elde edebilmek için üretimin kalitesinin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi gerekmektedir. Bundan dolayı sektörlerin daha iyi ve daha kaliteli hizmet vermeleri için farklı üretim ve tasarım yöntemleriyle çalışıp ve paralel olarak yeni gelen teknolojilerle kendilerini adapte etmeleri gerektiği düşünülmektedir. Seri üretim yöntemi maliyetleri oldukça düşürmektedir. Ancak birçok ürün/parça hangi imalat metodu olursa olsun ürüne son şekli verilmeden veya montaja geçmeden önce bir seri talaşlı imalat ile işlemeye tabi tutulmaktadır.

Birçok mühendislik uygulamasında, ürünlerin beklenen hizmet ömürleri boyunca düzgün ve güvenilir bir şekilde çalışması için parçalar birbirleriyle değiştirilebilir olmalıdır; Böylece, parçaların boyutsal doğruluğu ve yüzey kontrolü kontrol edilir. İşleme, belirli bir doğruluk ve yüzey kalitesinde belirli bir geometri elde etmek için iş parçasından (parça işleme payı) talaş kaldırılmasını içerir. Parçaların imalatında gereken faktörler işlenecek malzemenin ve kesicinin cinsi ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. İşleme sırasında işlenen parçanın boyut tamlığı, yüzey ve konum toleransları, yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü, kesme kuvveti gibi birçok parametre dikkate alınır. Talaşlı imalat ile üretilen bir ürünün kalitesini toleransları dahilinde boyut tamlığı ve parçanın yüzey kalitesi belirler. Bunları elde ederken maliyetleri de düşürmek için en az kuvvet ile en az takım sarfiyatı ile en kısa sürede işleme oldukça önemlidir. Bu bağlamda, işleme sırasında işleme sürecinin fiziğini anlamak için kesme esnasında oluşan titreşimler, kesme kuvveti, tüketilen enerji gibi değerler ölçülmektedir. İşlemeden sonra ürünler kalite kontrolden geçirilerek sevişe hazır hale getirilmektedir.

Talaşlı üretim en hassas en karmaşık iş parçalarının üretimi için vazgeçilmez bir üretim metodudur. Bu üretim metodunda kesici ile iş parçası arasında fiziksel bir temas olması ve kuvvet uygulayarak iş parçasından talaş kaldırılmaktadır. Bu üretim metodunda iş parçasında parça koparılırken iş parçası yüzeyinde pürüzlülük oluşmaktadır. İş parçasının mekanik özellikleri, boyutsal analizi ve istenilen geometrik şeklin elde edilmesi haricinde parçanın kalitesi yüzey pürüzlülüğü ile tanımlanır. Yüzey pürüzlülüğü hem estetik görüntü hem de kullanım sırasında ürünün tribolojik özellikleri gibi parametreleri belirlemektedir. Talaşlı imalatla yapılan akademik çalışmaların hemen hemen tamamı, en uygun işleme

parametreleri ile üretimin gerçekleştirilmesi yönündedir. Bunlar işleme parametrelerinin en uygun şartlarda belirlenmesine yöneliktir. Çünkü kesme sırasında oluşan yüzey pürüzlülüklerini sebepleri, işlenebilirlik, takım ömrü, birim zamanda kaldırılan talaş miktarı, enerji sarfıyatı gibi unsurlar iş parçası-takım çifti ve işleme parametrelerine bağlıdır.

İş parçasının kalitesini belirleyen en etkin parametrelerden biri yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar ile yüzey pürüzlülüğünü oluşturan ana etkenler belirlenerek pürüzlülük değeri en aza indirilmeye çalışılır. Bu tez kapsamında yüzey kalitesini belirleyen yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme sırasında oluşan titreşimler ile ilişkisi araştırılmıştır.

Talaş kaldırma esnasında oluşan titreşimler farklı bir yapıya sahiptir. Titreşim, kesme sırasında kesici takım ve iş parçası arasındaki dinamik etkileşimden dolayı ve takım tezgâhın kendi hareketli parçaların çalışmasından kaynaklanır. Titreşimlerin değerleri takımın rijitliğine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle imalat sürecindeki maliyetlerin düşürülmesi için ilerleme oranı, talaş derinliği ve kesme hızı artırılmaktadır [1]. Bu parametrelerin artması da titreşimi miktarını etkilemekte titreşime bağlı olarak ta yüzey pürüzlülüğünün arttığı düşünülmektedir. Bilindiği gibi talaşlı imalatla iş parçasının yüzey kalitesini belirlemek için yüzey pürüzlülüğü önemli bir rol oynar [2]. Bu durum iş parçasının kötü yüzey kalitesinin yanında düşük parça işleme hassasiyeti, yüksek işleme kuvvetleri, aşınma gibi birçok problemlere sebep olmaktadır.

Maliyetleri düşürmek için birim zamandaki üretim miktarını artırmak için ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesme hızı gibi işleme parametreleri artırılır. Bu parametrelerin artması takımın erken aşınmasına sebep olmaktadır. Takım aşındıkça işlene yüzey daha pürüzlü olmakta ve boyut toleransı ve tutarlılığı olumsuz olarak etkilenmektedir. Sonuç olarak yüzey kalitesi ve dalgalanması da takım aşınmasıyla birlikte değişir, çünkü parçanın çarpılması, artan kesme kuvvetleri nedeniyle değişebilir [2].

İşlenmiş yüzeye pürüzlülüğü iki bileşen vardır. Birincisi, kesici uç takımın geometrisi ve kesicinin kinematik hareketleridir. Bu parametreler ideal yüzey kalitesi veya geometrisi üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. İdeal pürüzlülük elde edebilmesi için diş başına ilerleme oranı, takım ucu yarıçapı ve takım ucu açısının dikkatli hesaplanması lazımdır.

İkinci bileşen ise, kesici takım aşınması, titreşim ve titreşimin dinamiği, artık gerilmeler, homojen olmama, birikmiş kenar oluşumu (BUE) ve düşük kesme hızlarında yırtılma gibi iş malzemesi yüzey tamamlamasına etkiler [2].

Görüleceği gibi talaşlı imalatta kesme parametreleri ve çevre faktörleri ürünün kalitesini ve toplam maliyetleri belirleyen ana etkenlerdir. Bu bağlamda, en düşük maliyet ve en yüksek kalite için iş parçası-takım ilişkisi, kesme parametreleri, takım tezgâhının rijitliği, enerji verimliliği gibi etkenler dikkate alınarak birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam edecektir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında kesme parametrelerinin titreşim miktarı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki dereceleri belirlenmiştir. Aynı zamanda oluşan yüzey pürüzlülüğün titreşim ile olan etkileşimi de incelenmiştir.

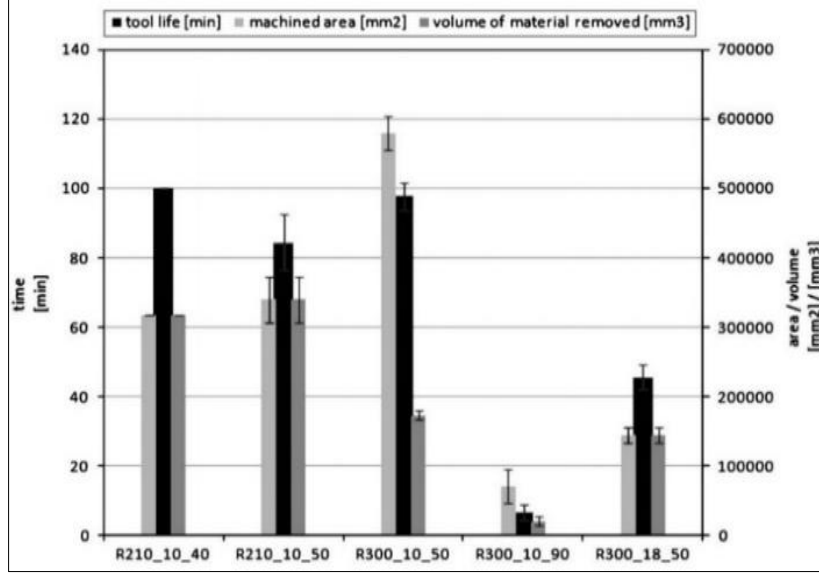
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMA

Bir cismin denge konumu etrafında periyodik olarak yaptığı harekete mekanik titreşim denir. Genel halde titreşim, istenmeyen bir enerji halidir. Özellikle takım tezgâhlarında gürültü yapması, parçaları kırması ve istenmeyen kuvvetleri iletmesi bir gerçektir. Bu sebeplerden dolayı titreşimin azaltılmasına çalışılır [1]. Freze tezgâhında kesme işlemi yapılırken meydana gelen kesme kuvveti; kesici kenarlar (dişler) arası mesafe, konum açısı, iş parçası geometrisi, iş mili sehim, talaş derinliği, talaş genişliği, ilerleme miktarı, kesme hızı ve aşınma gibi birçok faktöre ve kesme işlemi boyunca dönme açısına bağlı olarak değişir. Bu da sistemde sürekli titreşimin oluşmasına sebep olur. 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 aşınması ve kırılmasına, takım tezgâhı bileşenlerinin zarar görmesine ve yüksek gürültülerin oluşmasına yol açar [2].

Nguyen vd. (2016) bir çalışmada, dinamik kesme kuvvetlerinin gerçek zamanlı ölçümü için yeni, düşük maliyetli, titreşimsiz yöntemler ve üretilen dönme momenti tanımlamasını tornalamada AL 6061 ve Steel 1018 üzerinde, delme işlemlerinde ise, 1018 ST ve AL 6061 malzemelerini kullanarak testler yapmıştır. Dinamik kuvvet bileşenlerini ölçmek için PVDF tabanlı gerilim sensörü, bir Kistler 9257 3-eksenli Dinamometre ile karşılaştırılmıştır [3]. Düşük frekanslar için, PVDF sensörü ve dinamometre referans sinyalleri benzerdir. Platform dinamometresi tabanlı referans sinyali ile torna için tek sensör ve delik delmek için basitleştirilmiş iki sensör konfigürasyonları yapılmıştır. İki sensör konfigürasyonu için, takım/iş parçası kurulumu ve kesme fenomenini içeren ideal koşullar, dinamometre bazlı referans sinyali ile daha iyi bir uyum sağlamıştır. Teorik malzeme ve geometrik sabitler, dinamik kuvvet büyüklüğünü tahmin etmek ve türetilmiş denklemler için kullanılabilir, böylece kesme testleri gerekli değilse, sensör kalibrasyonu ihtiyacı ortadan kaldırmış olur [3].

Antoniali vd. (2010) yaptıkları çalışmada kesme kuvvetinin zaman ve frekans bölgesi analizine dayanarak, takımın girme açısının işlemin kararlılığı ve takım ömrü üzerindeki etkisini incelenmiştir. Takım titreşim analizi testleri, takım titreşiminin yükseltildiği frekans aralığını göstermiştir [4]. Takım ömrünün sonu (ve bir deneyin sonu), 0,2 mm'lik

maksimum yan aşınmasıyla belirlenmiştir. Testler yapıldıktan sonra, kesici takımlar bir taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir.



Şekil 2.1. Takım ömrü, işlenmiş alan ve çıkarılan malzemenin talaş hacmi

Takım titreşim analiz testlerinde, takım titreşiminin yükseltildiği frekans aralığını göstermiştir. Burada kullanılan kesici takımlarda, bu frekans bandı 400 Hz'in üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bir deneydeki kesme kuvvetinin radyal bileşeni ile (400-1000 Hz) frekans aralığında, sayısal bir yük oranı sağlanmıştır. Daha yüksek giriş açısına ve yuvarlak eklere sahip bir kesici takım kullanımının, radyal yükü, yüksek frekanslara bağladığı sonucuna varılmıştır. Bu durum takım ömrünü kısaltmış ve kesme kenarı kırılmasına yol açmıştır. Daha düşük giriş açısı, normal aşınma ve bozulma mekanizmalarına neden olmuştur. Bu sebeplerden dolayı, Ti-6Al-4V alaşımında verimli bir freze işlemi ve uzun takım ömrü elde etmek için daha az takım titreşiminin olması gerektiği sonucuna varılmıştır [4].

Suzuki vd. (2012) Bu makale, bir frezeleme deneyi sırasında ölçülen kendiliğinden uyarılmış değişken titreşimin, ters analizini kullanarak transfer fonksiyonunu tanımlamak için yeni bir yöntem sunmuştur. Aktarım fonksiyonu ile titreşim analizi ve deney sonuçları arasındaki hataları en aza indirmek için transfer fonksiyonu tanımlanmıştır.

Temel bir uç frezeleme testi, geliştirilen metot tarafından tanımlanan transfer fonksiyonunun darbe tepki metodu ile ölçülene benzer olduğunu ve stabilite limitlerinin daha doğru bir tahminini verdiğini doğrulanmıştır. Kesmede iş parçası pirinç malzemesi kullanılmıştır.

Aynı iş parçası, dört kesici diş, çapı 6 mm ve uzunluğu 35 mm olan bir (HSS) takım frezesiyle çalışılmıştır. Önerilen metoda belirlenen transfer fonksiyonu etki tepki metoduyla yapılan ölçümlerle benzer olduğu deneysel araştırmalarla doğrulanmıştır. Ancak önerilen metotla optimize edilmiş transfer fonksiyonun denge sınırları hesabı deneysel sonuçlara etki tepki metoduyla hesaplanandan daha yakın çıkmıştır. Model parametreler, kesmenin aksenal derinliği ve faz kayması içindeki analitik ve deneysel sabit ile limitleri arasındaki hataları en aza indirmek için optimize edilmiştir. Bu nedenle, önerilen yöntemin, dönen iş mili-takım sistemi, mikro kesiciler ve mikro iş parçaları gibi zor ölçülebilen yapıların transfer fonksiyonlarının ölçülmesi için yararlı olması beklenmiştir [5].

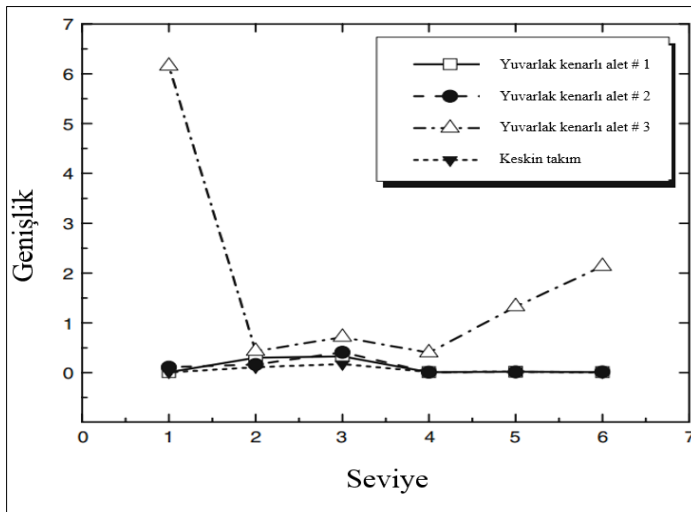
Tatar vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada, kesme sırasında freze takımının titreşiminin ölçümleri için lazer vibrometresi (LDV) kullanarak, kesme kuvvetleri, takım ve mil başı titreşimlerini kaydetmiş ve sonuçları sunmuştur. AA7010 alüminyum iş parçası yüzeyindeki, iki kesici uçlu 16 mm R390 kesme takımı kullanılarak, kesme kuvvetleri 5 kN aralığı olan 9257A Kistler tabla dinamometresi ile ölçülmüştür [6]. Bu çalışmanın sonucunda kesme titreşim bilgisi, lazer vibrometre sinyalinin kesilmemiş kısmının aynı kaydın kesme kısmından düzgün bir şekilde çıkarılmasıyla gösterilmiştir. Yöntemin asıl avantajı, frezenin dönen milinde kesicilere en yakın bir yerinde, temassız şekilde ölçümlerin gerçekleştirilebilmesidir. Bu yöntem aynı zamanda, kesme sırasında takımın geçici titreşim ölçümlerini yapmayı da sağlamıştır [6].

Sivaraman vd. (2017) bir çalışmalarında, Orta karbonlu (38MnSiVS5) çelikle, soğutma işlemiyle üretilen çok fazlı ferrit-bainit-martensit (FBM) mikroalyaj çeliği torna ederek ferrit-pearlit (FP) mikro yapısı ve temperlenmiş martensit (TM) mikro yapısı ile yüzey sonucundaki titreşimin etkisini incelemek için karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, Kaplanmamış SNMG 120408 bir kesici takım kullanarak, iki farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme değeri ve üç farklı kesme derinliği gibi kesme parametrelerini değiştirerek üç

farklı mikro yapı çeliği için eksenel titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir [7].

İlerleme oranı ve kesme derinliğindeki artışın, sabit iş mili hızı için titreşimi azalttığı görülmüştür. Çalışmanın sonucunda yığma kenar oluşumu (BUE), yüksek ilerleme oranında titreşim ve yüzey pürüzlülüğünün değerini arttırmıştır. Ayrıca, kesme hızının 40 m/min ila 100 m/min arasındaki değişiminde artan kesme hızına bağlı olarak titreşim miktarının da azaldığı görülmüştür. FP mikro yapısında çokgen ferritin varlığı, iş malzemesi ve kesici takım arasında daha fazla kimyasal etkileşime geçmesine sebep olmuştur [7]. FBM' deki yumuşak çokgen ferrit ve bainitin varlığı titreşimi bastırmıştır. FB ve TM mikro yapılarına kıyasla daha iyi yüzey kalitesi elde ederek, işleme sırasında düzgün bir şekilde deforme olmasına yardımcı olmuştur. Daha sıkı işleme nedeniyle daha yüksek kesme hızında FP, düşük titreşim ve iyi yüzey kalitesi açısından FBM ve TM'den daha iyi performans göstermiştir [7].

Fang vd. (2011) bir çalışmada, nikel bazlı süper alaşım Inconel 718'in 3D yüksek hızlı bitilmiş tornalamada takım kenarı aşınmasının kesme kuvvetleri ve titreşimlerinin 860 MP iş malzemesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Toplanan titreşim sinyallerini işlemek için geleneksel hızlı Fourier dönüşmesi (FFT) tekniği ile modern ayrık dalgacık dönüşüm tekniği uygulanmış ve sonra bu iki tekniğin performansı karşılaştırılmıştır. Ölçme sistemi frekansı, kesme kuvvetlerinin frekansından iki kat daha fazla çıkmıştır. Şekil 2.2'de, dört kesici takım için dalgacık katsayılarının ortalama enerjisi gösterilmiştir [8].



Şekil 2.2. Tüm dört kesici takım için dalgacık katsayılarının ortalama enerjisi

Takım kenarı aşınması, kesme işlemi sırasında gelişirken, kesme kuvvetlerinin üç bileşenin tümü de artmıştır. Geleneksel FFT tekniği, takım kenarı aşınması geliştikçe, geniş bir frekans aralığında titreşim sinyallerinin değişimi açığa çıkmamıştır. FFT ile karşılaştırıldığında, farklı dalga boyu dönüşümleri, geniş bir frekans aralığı boyunca kesme titreşimlerinin değişimini ortaya çıkarmada daha etkili ve avantajlı olmuştur. Ayrık dalgacık dönüşümü ayrıca, takım kenarı yarıçapı arttıkça titreşim genliğinin de arttığını ortaya çıkarmıştır [8].

Venkata Rao vd. (2013) gerçekleştirdikleri çalışmada, kesme parametrelerinin iş parçası titreşimi, işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğü ve kaldırılan talaş hacmi (AISI 1040) üzerindeki etkilerinin belirlemişlerdir. İş parçasının titreşim genliklerinin, takım aşınmasının ilerlemesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Kesici takım uç yarıçapı, iş parçasının titreşim genliğini % 45,81 oranında etkileyen en önemli parametredir. İlerleme değeri ise % 51,26 ile kaldırılan talaş hacmini etkileyen en önemli bir parametredir [9].

Rmili vd. (2016) bir çalışmalarında, kesici takımın üzerindeki aşınmayı tespit ve izlemek için yeni, kullanımı kolay ve güvenilir bir otomatik yöntem geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu amaca ulaşmak için, bir tornalama işlemi sırasında, (FGL 250) iş parça malzemesi, (CNMG 1204 08 5B OR2500) kesici takım kullanarak üretilen titreşim işaretleri üç eksenli bir ivmeölçer (piezo-elektrik, Brüel & Kjaer tipinden) vasıtasıyla ölçülmüştür. Kesme işlemi sırasında elde edilen ivmeölçer sinyallerini kullanarak, ortalama gücün hesaplanmasına dayanan bir analiz metodu değerlendirilmiştir. Titreşim analizi daha sonra ortalama gücün bir aşınma tanımlayıcısı olarak kullanım için uygun bir parametre olduğunu göstermiştir. Detektörün titreşim sinyallerindeki geniş değişkenler karşısında güvenilir olduğu kanıtlanmıştır [10].

Honeycutt vd. (2017) yaptıkları çalışmada, işlenmiş yüzey konumu ile komut verilen konum arasındaki fark, (kararlı) işleme koşullarının hata üzerindeki etkisini belirlemek için ölçümler ve/veya tahminler yapmışlardır. Malzeme 6061-T6 alüminyum alaşımı, frezeleme esnasında oluşan titreşim verileri, bir lazer vibrometresi (hız) ve ivmeölçer kullanılarak toplanmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonun frezeleme performansını doğru bir şekilde tahmin ettiği gözlenmiştir. Bitmiş yüzeyin yüzey pürüzlülüğü değeri kararlı ve belirli bir aralıkta olmasına rağmen, periyot-2 karasızlığı için yüzey pürüzlülüğünün sabit şartlardan daha büyük olduğu görülmüştür [11].

Dilipak vd. (2014) bir araştırma çalışmasında, AISI 1050 deney malzemesi üzerinden TPKN 2204 PDR PK6030 Ti N kaplı karbür kesici uç ile FKR 2017 0080 takım tutucu kullanılarak frezeleme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti, titreşim ivmesi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini çoklu regresyon analiziyle araştırmıştır. Modellerden elde edilen sonuçlar hata miktarının az ve sonuçların deneysel sonuçlara yakın olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarına en yakın değeri veren modelin titreşim ivme seviyesi modeli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışma sonucunda, kesme kuvvetine en fazla etki eden parametrenin ilerleme değeri, en az etki eden parametrenin ise kesme hızı olduğu tespit edilmiştir. Titreşim ivmesi değerine en fazla etki eden parametrenin ilerleme değeri, en az etki eden parametrenin ise kesme hızı olduğu belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametrelerin kesici uç sayısı ve ilerleme değeri, en az etki eden parametrenin ise kesme derinliği olduğu görülmüştür. Kesme hızı arttıkça kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü azalırken, titreşim miktarı artmıştır. İlerleme ve kesici uç sayısındaki artış, titreşim miktarı, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetinin artmasına sebep olmuştur [2].

Shamoto vd. (2013) tarafında yapılan çalışmada, esnek bir mekanik yapı ile eşzamanlı çoklu frezeleme tekniğini uygulayarak değişken titreşimi önlemek için yeni bir yöntem ve analiz sunulmuştur. İş parçası malzemesi olarak haddelenmiş çelik kullanılarak 16 kesme deneyi yapılmış, doğru iş mili hızı değiştirilmiş, böylece sol ve sağ miller arasında 0–18 dakika – bir hız farkı elde edilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen hız farkı yönteminin, titreşim sabitliğini önemli ölçüde arttırmak ve esnek ince iş parçalarının işlenmesinde yüksek verimliliğin sağlanması için büyük avantaj sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, hız farkı yöntemi, farklı kesici geometrileri / duruşları, farklı eksenel / radyal derinlikleri, farklı titreşim genlikleri / yönleri veya belirli kesme kuvvetinin farklı büyüklükleri / yönleri olan bir esnek mekanik yapı üzerinde çoklu frezeleme şeklinde genişletilmiştir [12].

Wojciechowski vd. (2018), işlenmiş yüzey kalitesini iyileştirmek için kesme kuvvetlerinin ve titreşimlerin en aza indirilmesini mümkün kılan, takımın eğim açısının en iyi şekilde seçilmesini sağlamaya çalışmışlardır. 55NiCrMoV6 malzeme kullanarak, değişken giriş parametreleriyle frezeleyerek işleme testleri sırasında, kesme kuvvetlerinin ölçümünü ve titreşim miktarları belirlenmiştir. Gerçekleştirilen bu araştırmada, sinyal gürültü S / N oranı ve gri ilişkisel analizin (GRA) uygulanması ile süreç tepkilerinin en aza indirilmesini içermiştir. Takımın çıkıntısının değişimi, titreşim değerlerinin hızlanmasını önemli bir

şekilde etkilemiştir. Gerçekleştirilmiş optimizasyon prosedürü, takımın $s=63$ mm çıkıntısının ve yüzey eğim açısının $\alpha = 60^\circ$ seçilmesini sağlamıştır. Bu girdi parametrelerinin uygulanması, yüzey pürüzlülüğü parametreleri R_a ve R_z 'de önemli iyileşmeye katkıda bulunmuştur [13].

Prasad vd. (2011) yaptıkları çalışmayı iki bölüm halinde sunmuşlardır. Birinci bölüm, çevrimiçi takım koşulu izleme için lazer Doppler vibrometre sensörü kullanan bir veri toplama ve sinyal işlemeyi içermektedir. İkinci bölümde ise, takım aşınmasının ilerlemesi sırasında işlenmiş yüzeylerin yüzey topografisi analizini tespit edilmiştir. Testlerde AISI 1040 çelik iş parçası malzemesi olarak kullanılmıştır [14]. İlerleme yönünde titreşim yer değiştirmesi, hızlı kesici takım bozulmasından hemen önce sürekli olarak iki tepe genliği üretmiştir. Deney boyunca, takım aşınması arttıkça titreşim genliklerinin de arttığı tespit edilmiştir. Kemse hızı ve ilerleme değerinin artışı kesici takımının ömrü azaltmıştır. Bu çalışma ile yeni ve aşınmış takımlar arasında AOE sinyalinin başarılı bir şekilde kullanılabileceği kanıtlanmıştır [14].

Diğer literatür araştırmalarında, malzeme olarak genellikle DIN 2344, DIN 2316, DIN 2379, AISI 1020, AISI 1040, AISI 1050, AISI 4140, AISI 316, AISI 304, Al-7075, 2713 çeliği gibi malzemeler kullanılmıştır [15-29]. Talaşlı imalat esnasında, kesme parametreleri (ilerleme değeri, kesme hızı, kesici takımın geometrisi, kesme derinliği, kesici uç sayısı, vb.) iş parçasının sahip olan yüzey kalitesini etkileyen en önemli parametreler olup genellikle malzemeye bağlı olarak işleme parametreleri seçilmiş ve birçok çalışmalar yapılmıştır [30, 31]. Kesici uç olarak, AlTiN kaplamalı karbür, PVD kaplamalı karbür kesici, kaplamasız HSS kesici, AlTiN kaplamalı kesici, tungsten karbür kesici, M20 kalite uç, TPKN 1603 PPR sert maden uçlar, sementit karbür kesici, TPKN 2204 PDR PK6030 AlTiN kaplı karbür kesici uç kullanılmıştır. Sonuçlar genelde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım uç aşınması, takım ömrü, talaş kaldırma esnasında oluşan titreşim, talaş formu, sıcaklık parametresi olarak incelenmiş ve buna bağlı sonuçlar elde edilmiştir [15-29].

Araştırdığımız literatürlerden farklı olarak 1.2367-X38CrMoV5-3 sıcak iş takım çeliği malzemesi üzerinde, CNC freze tezgâhında APKT 1604 kesici uç kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada seçilen parametreler için farklı miktarlarda ve tek kesici uç kullanılarak titreşim, kesme kuvvet, yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir.

Çalışma esnasında malzeme üzerinde oluşan titreşim üç ekseninde RMS-x, RMS-y ve RMS-değerleri mm/s olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada Sj-410 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı kullanılarak yüzey pürüzlülüğü hassas bir şekilde ölçülmüş ve incelenmiştir. Böylece, takımın ilerleme değeri, talaş derinliği ve kesme hızı ile titreşim miktarı, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti arasındaki ilişki belirlenmiştir.

3. KAVRAMSAL TEMELLER

3.1. Kesme Kuvveti

3.1.1. Kesme teorisi

Metal kesme operasyonlarında üretilen kuvvetler, uzun süre ilgilenen mühendislerle sahiptir. Bu kuvvetler, makine güç gereksinimlerini ve rulman yüklerini belirler; Parça, kesici takım veya makine yapısının bozulmasına neden olur; ve aşırı kesme sıcaklıklarına veya dengesiz titreşimlere yol açar. Ölçülen kesme kuvvetleri bazen malzemelerin işlenebilirliğini karşılaştırmak için de kullanılır, özellikle zaman kısıtlamaları veya sınırlı malzeme kaynakları nedeniyle takım ömrü testlerinin gerçekleştirilemediği durumlarda. Kesme kuvveti ölçümleri ayrıca, sensör bazlı kontrol ve takım aşınması ve arızası için kesme işleminin izlenmesi için kullanılır.

Metal malzemelerini işleminde kesici takımın kesici kanaralarının ne kadar keskin olmasına rağmen, işlem sırasında karşısında oluşan gerilmelerde zorlanır. İşleme sırasında takımın optimum kesit ve kesmeyi kolaylaştırması için ideal açılar ve muhasibeler geçmişlerde araştırılmış. 1900 yıllarında Taylor'un 26 senelik çalışmasında elde edilen deneysel formüller prensip olarak en ideal kesme şartları uygulamıştır [34].

Yanlış tasarlanmış bir kesici takım, hızlı ve öngörülemez bir şekilde yıpranabilir veya yongaya bilir, üretkenliği azaltabilir, maliyetleri artırabilir ve bozulma kalitesinin bir kısmını üretebilir. Talaşın oluşturulması için basit bir "kesme düzlemi" modelini düşünürsek, kesici takımın iş parçasında bir kesime girdiği noktada oluşmayla başlar. Kesme kenarı, kesme kuvveti tarafından çalıştırılan işin içine nüfuz eder ve talaşı ham maddeden ayırır. Talaş ayrıştırıldıkça metal plastik olarak deforme olur ve talaş kalınlığı her zaman kesme derinliğinden daha büyüktür [2]. Belirli bir uygulama için tüm takım geometrilerini ve malzeme seçeneklerini ve özellikle her birinin uygulanabileceği hız ve besleme aralığını ve tipik arıza modlarını dikkate almak önemlidir [2].

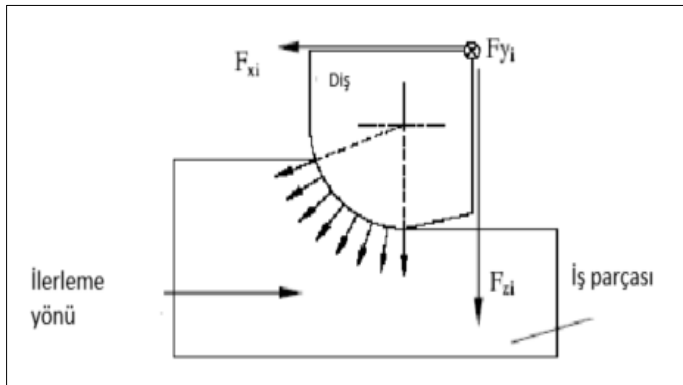
3.1.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

Talaşın oluşturulması için basit bir "kesme düzlemi" modelini düşünüldüğünde kesici takımın iş parçasına giriş yaptığı noktada oluşur. Kesme kenarı, kesme işlemi sırasında iş parçasına temas eden kenar olup iş parçasını kesen kenardır [2].

Deneyler için her bir iş parçası işlenerek numune şekline getirildikten sonra, CNC tezgâhında bağlanmıştır. Mengene sistemine adapte edilmiş dinamometre işleme sırasında oluşacak kesme kuvvetini ölçebilecek şekilde konumlandırılmıştır. Kesme deneyleri belirlenen işleme parametrelerine göre gerçekleştirilmiştir.

İşleme sırasında elde edilen kesme kuvveti F_z , F_x , F_y yönlerinde tespit edilmiş ve bu değerler kullanılarak üç eksendeki FR bileşke kuvveti Eşitlik 3.1’de verilen formül ile hesaplanmıştır [2].

$$FR = \sqrt{((F_x)^2 + (F_y)^2 + (F_z)^2)} \quad (3.1)$$



Şekil 3.1. İşleme sırasında oluşan kuvvetler yönleri

3.2. Titreşim

Kesim sırasında meydana gelen yüksek kuvvetler ve enerjiler, plastik deformasyon ve sürtünme ile dağıtılır, bu da sistemin yapısal bileşenlerinin ve titreşimlerin (kesici takım ve iş parçası arasındaki nispi hareket) bozulmasına yol açar.

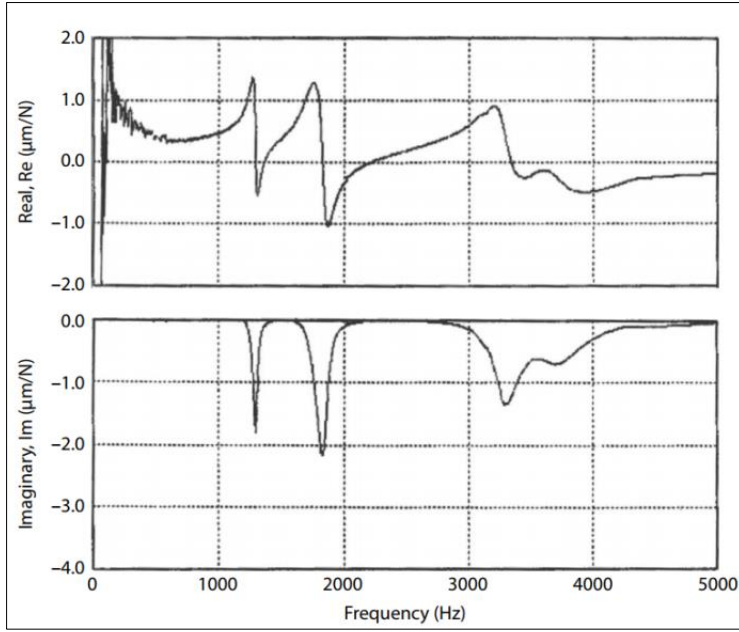
Bu titreşimler minimize edilmelidir çünkü işleme doğruluğunu ve işlenmiş yüzey dokusunu bozarlar; dahası, elverişsiz koşullar altında kararsız hale gelebilir, konuşmaya yol açabilir, bu da hızlanan takım aşınmasına ve kırılmasına, hızlanan takım tezgâhının aşınmasına ve makine kesici takım ve parçasının zarar görmesine neden olabilir [34].

Titreşim, öğütme gibi son yüzey işlemlerinde ve sıkıcı takım kullanan delik açma ve frezeleme gibi işlemlerde ciddi bir sorundur. Kararsız titreşimler, özellikle yüksek kesme hızlarında, birçok işlemde üretim oranlarını sınırlayan önemli bir faktördür. Takım tezgah sistemlerinin yapısal dinamiklerini analiz etmek için çeşitli yöntemler kullanılabilir [35-42]. Bunlar kinematik simülasyonları, kütle kütesini ve kütesiz ışıın metotlarını, dağıtılmış kütleyle sahip ışıınları olan reseptör metodunu ve sonlu eleman analizini (FEA) içerir.

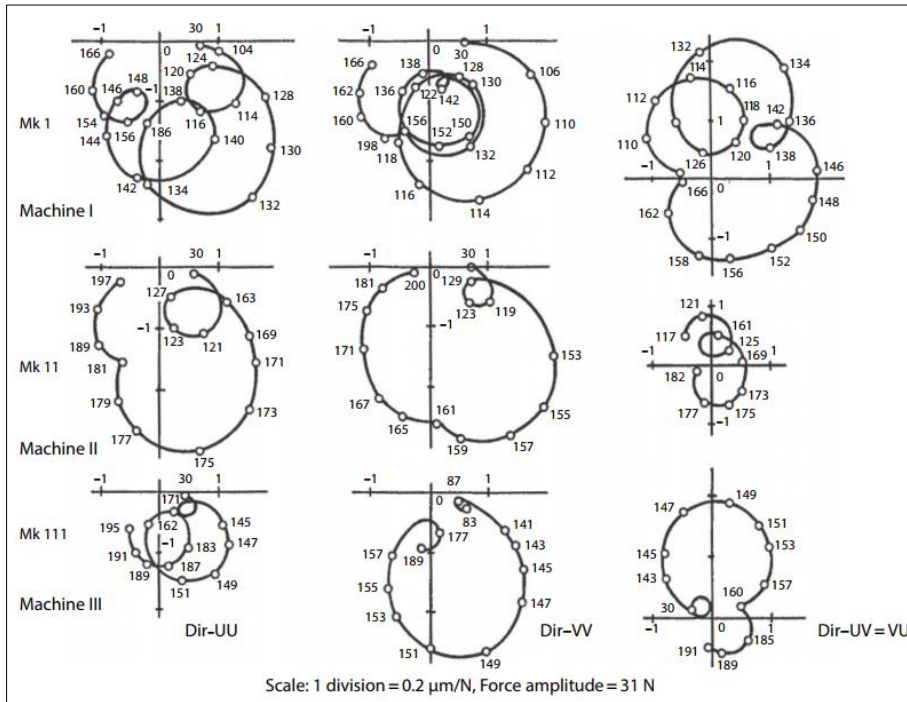
Genel olarak, bir kesici takımın, takım tezgâhının veya işlenecek parçanın yapısal sisteminin dinamik tepkisi, bir SDOF modeli tarafından yeterli bir şekilde açıklanamaz, çünkü tepki genellikle yer değiştirme şeklinin yanı sıra genliğin zaman varyasyonlarını da içerir. Bazı analiz amaçları için, takım tezgâhı yapısal elemanları, yaylar ve amortisörler veya dağıtılmış bir parametre sistemi ile bağlı olarak ayrı kütleler halinde idealleştirilebilir. Bu idealizasyonda sistem, daha önce tartışılan SDOF sisteminin doğal bir uzantısı olan bir MDOF (Çoklu serbestlik derecesi) sistemi olarak ele alınmaktadır.

MDOF (Çoklu serbestlik derecesi) sistemlerinin her bir serbestlik derecesi (veya kütle) için tek bir doğal frekansı vardır. Her bir doğal frekans, karşılık gelen bir karakteristik deformasyon modeline veya mod şekline sahiptir. Sistemin serbest titreşimi, bireysel modlardaki titreşimlerin doğrusal bir kombinasyonu olarak tanımlanabilir.

Bir MDOF sisteminin FRF'nin gerçek ve imgesel kısımları Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Birden fazla doğal frekansa sahip bir sistemin polar grafiği, frekans yanıt eğrisindeki her bir doğal frekans için birden çok döngüye sahiptir. Üç yönde üç frezeleme makinesi için polar çizimler Şekil 3.3'de gösterilmiştir; Seçilen makinelerde her makinenin yapısal özelliklerini açıkça gösterir.



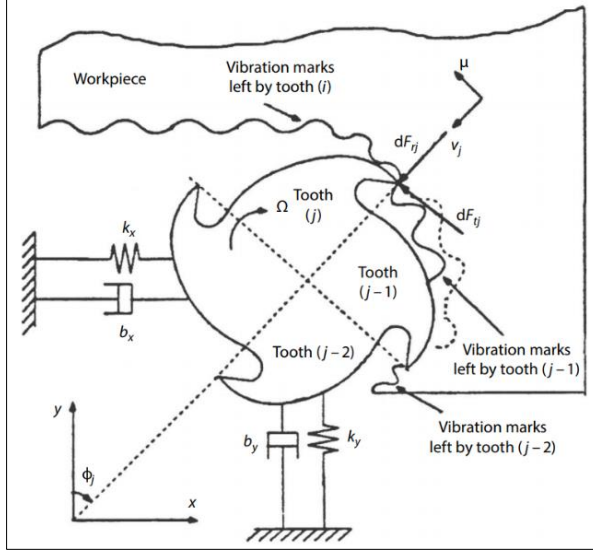
Şekil 3.2. Freze makinesinin gerçek ve hayali parçaları (bir MDOF sistemi)



Şekil 3.3. Üç farklı frezeleme makinesinin esnekliğinin üç yönde kutup eğrisi

Örneğin, freze kesici uç Şekil 3.4’de gösterildiği gibi iki ortogonal serbestlik derecesine sahip olduğu varsayılabilir. İki titreşim moda biri besleme yönünde X, diğeri ise normal Y yönünde dikkate alınır. Kesici, kesimde (herhangi bir anda iş parçasıyla temas halinde) ve sıfır sarmal açıda n_{tc} dişlere sahip olduğu varsayılır. Bir seferde birden fazla diş keser ve F

kuvvetinin yönelimi değişir. Kesim kuvvetleri yapıyı harekete geçirir ve kesimin düzlemindeki iki dik yönlere deformasyonlara neden olur.



Şekil 3.4. İki serbestlik dereceli dinamik frezeleme modeli

Koordinat, bir sistemin elemanlarının durum ve konumlarının belirleyen parametrelere denir bundan ilave konumların her hangi bir zamanda tamamen belirli olması için gerekli birbirinden bağımsız minimum koordinata sayısına serbestlik derecesi denir.

Titreşimler üç şekilde meydana gelir;

- 1) Serbest titreşim: bir sistemin sadece başlangıçta uygulanan kuvvet ya hareket nedeniyle ve hiçbir kuvvet altında olma şartıyla yaptığı titreşimdir.
- 2) Periyodik titreşim: belirli bir zaman geçtikten sonra kendisindeki olan titreşimini tekrar eder. Bu tür titreşimde periyot tekrarlanan titreşimin zaman aralığıdır. Periyodik titreşimlerin her bir periyotluk bölümüne salınım denir. Frekans titreşim birimi (salınım / saniye) Hertz (Hz) olarak belirlenmiştir.
- 3) Harmonik titreşim: bu titreşim bir sinüs dalgası şeklinde meydana gelir ve hareketin ortalama değerden ayrıldığı miktara genlik denir.

$$x = A \sin 2\pi \frac{t}{T} \quad (3.2)$$

x= yer değiştirme

t= zaman

T= periyot

Dairesel frekans radyan/saniye birimi ile ifade edilen bir frekans tipidir. Dairesel frekansla periyot arasında formül 3.3 gibi ilişki var.

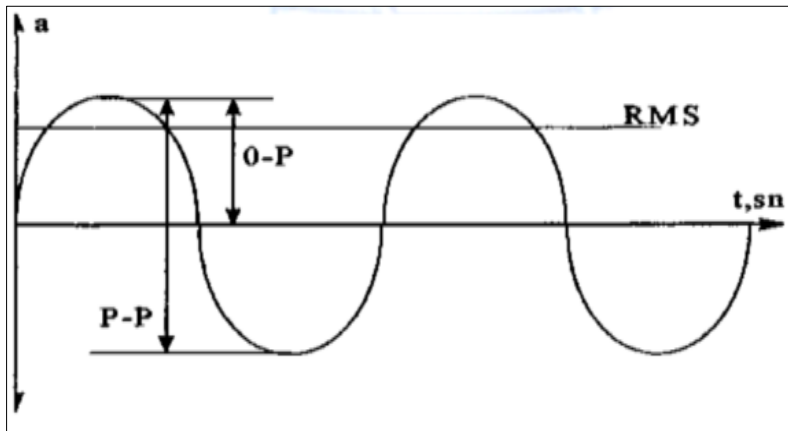
$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (3.3)$$

Çalışma esnasında oluşan titreşimin genliği üç farklı şekilde ifade edilir;

- İki tepe arasındaki mesafe (peak to peak (P-P)) değeri $2a$ 'dır.
- Denge çizgisizle ile tepe noktası arasındaki mesafe (zero to peak (0-P))değeri a hesaplanır.
- RMS (Root mean square) kareler toplamının karekökünü ifade ediyor. Yeni bir makinede oluşan titreşimini ele hissetmek ve harmonik harekette 0-P miktarın 0,7071 katıdır.

$$\text{RMS} = 0.7071 \times (0 - P) \quad (3.4)$$

$$P - P = 2 \times (0 - P) \quad (3.5)$$



şekil 3.5. Titreşim sinüs şeklinde dalgaları

3.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Frezelemede yüzey tamamlama faktörleri torna tezgâhında olan yüzey tamamlama faktörleriyle farklı olabilir; bu faktörler temel olarak takım ve işlem kinematiğindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Yüzey frezeleme, çok dişli kesiciler kullanılarak gerçekleştirilir. Kesici takım geometrisi ve kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hız, talaş derinliği) yüzey pürüzlülüğüne en çok etkileyen parametrelerdir [43].

Tüm bu etkilerin bir sonucu olarak, frezeleme işlemindeki yüzey kalitesi, işlenmiş yüzeyin nispeten sabit bir besleme hızında ve kesme derinliğinde tek bir kesme kenarı kesmesiyle oluşturulduğu torna ve tek noktadan delme işlemlerine göre daha az üniform bir durumdur.

Yüzey pürüzlülüğünü karakterize etmek için birçok parametre önerilmiştir. Yaygın olarak kullanılan parametreler, standart ölçüm yöntemleri ile birlikte, genel olarak eşdeğer olan ulusal ve uluslararası standartlarda tanımlanmıştır [43].

İşlenmiş yüzeylerin kontrol ve toleransı için ISO ve DİN standartlar en sık kullanılan parametreleri tanımlar;

R_a : ortalama pürüzlülük değeri, μm

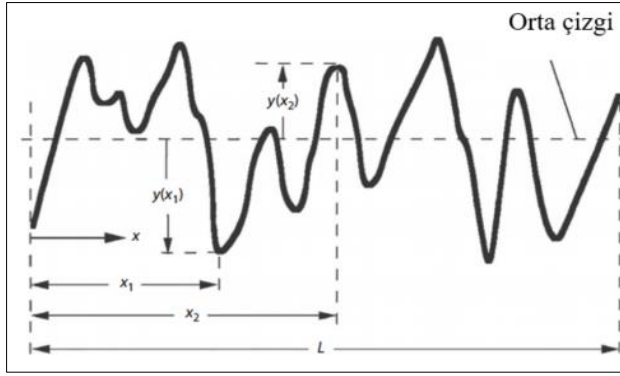
R_y : En büyük pürüzlülük derinliği, μm

R_t : Pürüzlülük yüksekliği, μm

R_z : 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması, μm

R_{max} : En büyük pürüzlülük derinliği, μm

R_p : Örnek bir uzunluğu içinde karşılaşılan merkez çizgisinin üzerinde bir zirvenin maksimum sapmasıdır



Şekil 3.6. Pürüzlülük ölçümünü hesaplamak için kullanılan yüzey pürüzlülüğünün parametreleri

Merkez çizgiden profil sapmaları y olarak belirlenmiştir. Ortalama pürüzlülük R_a , iş parçasının merkez hattından ortalama mutlak sapması olarak tanımlanır;

$$R_a = \frac{1}{L} \left| \int_0^L y(x) dx \right| \quad (3.6)$$

R_p , merkez çizgisinin üzerinde bir zirvenin maksimum sapmadır [32]. R_p değeri;

$$R_p = \text{Max } y(x). \quad 0 < x < L \quad (3.7)$$

Burada

x izleme boyunca mesafedir

L örnekleme uzunluğu

Benzer Şekilde, merkez hattın altındaki maksimum vadi derinliği olan R_v ,

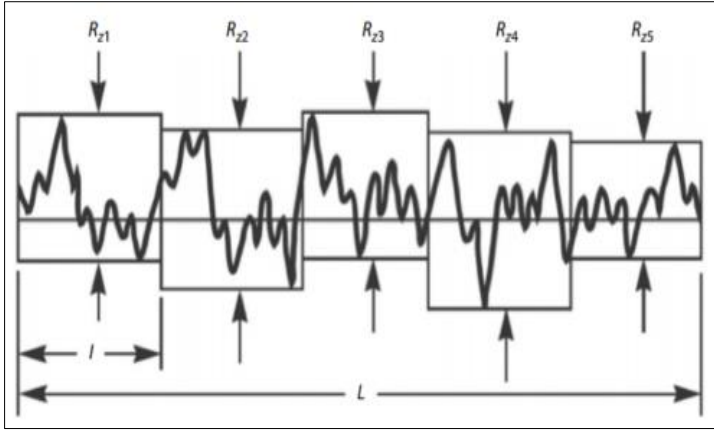
$$R_v = |\text{Min } y(x)|. \quad 0 < x < L \quad (3.8)$$

R_t eşittir, dere sapma veya toplam profil yüksekliği için maksimum tepe noktası [32].

$$R_t = R_p + R_v \quad (3.9)$$

Ortalama maksimum profil yüksekliği R_z ve maksimum pürüzlülük derinliği $R_{\max}$ peş peşe beş örnekleme aralığı boyunca profil yüksekliklerinin ortalama ve maksimum değerleri olarak tanımlanır [43];

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{zi} \quad (3.10)$$



Şekil 3.7. Ortalama maksimum profil yüksekliği R_z ve maksimum pürüzlülük derinliği

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Malzeme

Bir parçanın işlenmesinin kolaylığı veya zorluğu çeşitli faktörlerden etkilenir. Bunlar, iş malzemesinin kimyasal bileşimini ve termomekanik özelliklerini, takım tezgâhının, parçanın ve fişstürün, kesici takım malzemesinin katılıklarını ve kesme hızlarını ve beslemelerini içerir.

Herhangi bir alaşımlı ailenin işlenebilirliği esas olarak baz metalinden etkilenir; Alüminyum alaşımları genellikle çok işlenebilir, demirli alaşımlar orta derecede işlenebilirlik sergiler ve yüksek sıcaklık alaşımları kötü işlenebilirliğe sahiptir. Metalin mikro yapısı da izlenebilirlikte önemli bir rol oynar. Bazı önemli mikro yapısal parametreler, tane büyüklüğü, inklüzyonların sayısı ve büyüklüğü ve mevcut metalik yapıların tiplerini içerir.

Sertliği 35-52 HRC aralığında olan 1.2367 takım çeliği malzeme (X38CrMoV5-3) kullanılmıştır. 1.2367 malzemesi yüksek sıcaklıkta yüksek sıcak çekme ve aşınma dayanımına sahiptir. Bu malzeme yüksek sıcaklıkta sertliğini koruyan ve yüksek tokluğa sahiptir. X38CrMoV5-3 malzeme ısıtıl işlem esnasında çok az Şekil değişimine uğrayabilen, tane sınırlarında karbür çökeltisi olmayan ince taneli mikro yapıya sahip, düşük P ve S alaşımı içeren sıcak iş takım çeliğidir. EFS, ESR veya VAR olarak temin edilebilir [44].

Çizelge 4.1. AISI H11 deney malzemesinin kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P
% 0.35 - 0.40	% 0.30 -0.50	% 0.30 - 0.50	% 0.025
S	Cr	Mo	V
% 0.005	% 4.80 - 5.20	% 2.70 - 3.20	% 0.40 - 0.60

X38CrMoV5-3 malzeme fiziksel özellikleri olarak, özgül ağırlığı: 20 °C'de 7,85 kg/dm³ ısıtıl iletkenliği: 20 °C'de 25,0 W/(mK), ısıtıl genişmesi 20 °C'de 10-6 m/(mK) [44].

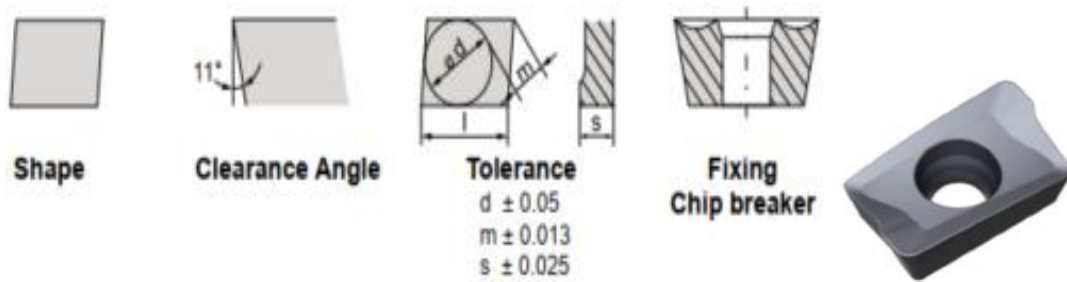
X38CrMoV5-3 malzemesi yukardaki özelliklere sahip olması için yüksek sıcaklıkta çalışan sıcak iş takımları ve kalıpları, hafif alaşımlı metallerin basınçlı döküm kalıpları,

sıcak delme zımbaları, sıcak kesme bıçakları ve plastik kalıpların çalışma alanında kullanılır.

Bu çalışmalardan ilave yolluk, kovan, gömlek, piston, kalıp, pres baskı mili ve zımbası gibi metal ekstrüzyon ve enjeksiyon takımları, alüminyum, bakır, pirinç ve sarı gibi metaller için profil, boru ve çubuk çekme kalıpları, demir, çelik, pirinç, sarı gibi metallerin sıcak dövme ve Şekil verme kalıpları, vida, somun, cıvata, perçin gibi bağlantı elemanlarının üretim takımları, yüksek ısıya direnç gerektiren makina parçalarında kullanılır.

4.2. Kesici Uç ve Takım Tutucu

Deneylerde kesici uç olarak APKT 1604 PDTR (LAMINA-LT30-PVD) takım tutucu olarak ise takım tutucu olarak ise WORKER marka SPAP 16 S02 30-150 takım tutucusu seçilmiştir [45].



Şekil 4.1. APKT 1604 PDTR kesici uç LAMINA-LT30-PVD



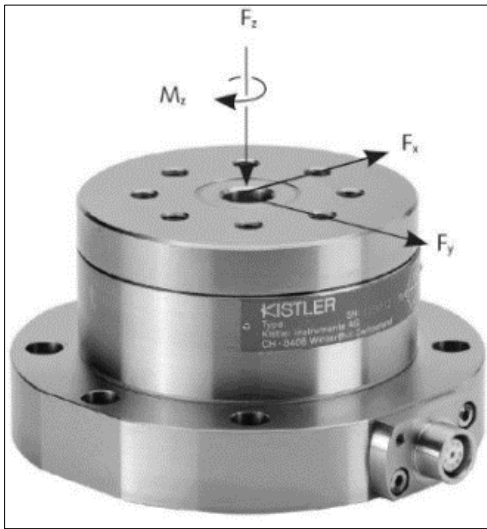
Resim 4.1. SPAP 16 S02 30-150 WORKE

4.3. Kesme Kuvveti Ölçme Cihazı

Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için Kistler dinamometreler, kesme işlemlerinde kuvvet ve tork ölçümü için kapsamlı bir dinamometre programı sunulmuştur.

Bu ölçüm cihazlarının çoğu, çeşitli görevler için kullanılabilir. Bu, kullanıcıya maksimum esneklik sağlar. Bu, ölçülecek fiziksel değişkeni kaydeder ve bir sinyal şeklinde sonraki cihazlara iletir. Kesme işlemlerinde kuvvet ve torkların ölçümü için kullanılan ölçüm elemanları Dinamometreler olarak adlandırılır ve hepsi piezoelektrik ölçüm prensibine dayanır [2].

Bir piezoelektrik kuvvet sensörü, iki masif plaka, taban ve kapak plakası arasında yüksek ön gerilim altında montaj yapılır (Cutting Force Measurement). Sensörün merkezine doğru yönlendirilen bir ön gerdirme vidası, taban ve kapak levhasını birbirine bağlar ve aralarında yerleştirilen kuvvet sensörünün ön gerilimini sağlar. Evrensel kullanım için dinamometre. Birçok uygulama için kullanışlı boyut ve ideal ölçüm aralığı, en sık yapılan çok bileşenli dinamometre olan tipi 9257B'yi üretmiştir. Makine masası ile bağlantı, uzun deliklere sahip yanal flanşlarla gerçekleştirilir. Dinamometre üst Plakası 100x170 mm'ye boyutlarında olup 10 kN' ye kadar kuvvet ölçümü yapabilmektedir. Kullanılan bu dinamometrenin kalibre edilmiş çalışma sıcaklığı 0-70 °C dir.



Resim 4.2. 9257B tipi Kistler dinamometre

Deneyleerde kullanılan dinamometrenin x ve y yönlerinde doğal frekansı 2,3 kHz, z yönündeki doğal frekansı ise 3,5 kHz dir. Ölçüm aralığı, x ve y yönlerinde -5...5 kN iken z yönünde ise -5...10 dur.

4.4. Titreşim Ölçme Cihazı

Titreşim ölçme cihazlıları, titreşimi ölçme, değerlendirme, kayıt ve analiz etme özelliklere sahip olması gerekiyor. Titreşim cihazı olarak PCE-VM 3D kodlu 3 eksenle ölçüm yapan titreşim ölçüm cihazı kullanılmıştır (Resim 4.1).

Bu cihaz mekanik titreşimleri ölçmek için özel olarak tasarlanmış olup özel propları ile titreşimin kaynağına göre yüzeysel veya noktasal temasla ölçüm yapabilmektedir. Cihazın ölçüm sırasında kararlı hale gelip ekranda dijital veriyi gösterme süresi yaklaşık 2 saniye cihazındadır. Titreşim cihazının sensörü 3 Eksenli Piezoelektrik İvmeölçerdir. Bu sensör ile ölçülen titreşim değeri dijital ekranda 3 aynı parametreyi gösterebilir. Bunlar;

Ölçüm aralığı

İvme: 0,1 ~ 400 m/s²; 0,3 ~ 1312 ft / s²; 0.0 ~ 40 g; (Eşdeğer Zirve)

Hız: 0,01 ~ 400 mm/sn; 0,004 ~ 16.0 inç / sn; (Gerçek RMS)

Yer değıştirme: 0,001 ~ 4,0 mm; 0,04 ~ 160,0 mil; (Eşdeğer tepe-tepe)

Frekans aralığı

Hızlanma: 10 Hz ~ 10k Hz

Hız: 10 Hz ~ 1k Hz

Deplasman: 10 Hz ~ 1k Hz

Doğruluk: Okuma %5 + 2 hane



Resim 4.3. PCE-VM 3D titreşim ölçme cihazı

4.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Cihazı

İşlenen yüzeylerin yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Bölümünün laboratuvar bulunan Mitutoyo Sj-410 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile hem kızaklı hem de kızaksız ölçüm yapılabilir. Ölçümler ve ölçülen değer aralığı, örnek uzunluk gibi parametreler ISO standardına uygundur. Resim 2.4'de görülen bu 800 μm ; 80 μm ; 8 μm (isteğe bağlı ekran kalemi ile 2,4 mm'ye kadar) ölçme aralığına sahiptir.



Resim 4.4. Sj-410 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı ve ölçüm tipi

4.6. CNC Freze Tezgâhı

Deneysel çalışmalar VMC-550 CNC dik işleme tezgâhında gerçekleştirilmiştir. CNC tezgâhı; üç eksen (X, Y, Z) lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO formatlı programlanabilir FANUC kontrol üniteli bir Dik İşleme Merkezidir (Resim 4.3).



Resim 4.5. VMC-550 CNC freze tezgâhı

4.7. Deneyin Yapılışı ve Deneysel Parametreler

Deneysel çalışmalar 60x120x30 mm kalınlığındaki 1.2367 takım iş çeliği Resim 4.4’de görüldüğü gibi dinamometre üzerine monte edilmiş mengeneyle bağlanmıştır. Dinamometre kablo aracılığıyla verileri amplifikatöre iletmekte ve bilgisayara bağlanarak verilen ara yüz yazılımına aktarılmaktadır. Benzer şekilde titreşim ölçer cihazı da dinamometre üzerine monte edilmiş mengeneyle adapte edilmiştir. İş parçası her deneyde değiştirildiği için ölçümlerin hep aynı noktada yapılabilmesi için titreşim cihazının bağlantı sonrası iş parçası üzeri değil mengene yüzeyi olarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri Çizelge 4.2’de sunulmuştur.



Resim 4.6. İş parçasının dinamometreye bağlanma tipi

Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri

Deney numarası	İlerleme, f (mm/rev)	Kesme hızı, V (m/min)	Talaş derinliği a (mm)
1	0,12	90	1,5
2	0,12	150	1,5
3	0,12	90	2
4	0,12	150	2
5	0,12	90	2,7
6	0,12	150	2,7
7	0,19	90	1,5
8	0,19	150	1,5
9	0,19	90	2
10	0,19	150	2
11	0,19	90	2,7
12	0,19	150	2,7
13	0,3	90	1,5
14	0,3	150	1,5
15	0,3	90	2
16	0,3	150	2
17	0,3	90	2,7
18	0,3	150	2,7

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen bu çalışmada 1.2367 takım iş çeliğinin CNC freze tezgâhında işleme parametrelerine bağlı olarak işlenmesi sırasında oluşan titreşim, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir.

Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi, deneylerde 3 farklı ilerleme, 2 farklı kesme hızı ve 3 farklı talaş derinliği kullanılarak tek kesici uç ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında titreşim cihazı ve dinamometre kullanılarak titreşim değerleri ve kesme kuvveti eş zamanlı olarak tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ise işleme sonrası 3 farklı noktadan ölçülerek tespit edilmiştir. Deneysel veriler Deney Sonuçları ve Tartışma bölümü’nde titreşim, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.1. İşleme sırasında elde edilen sonuçlar

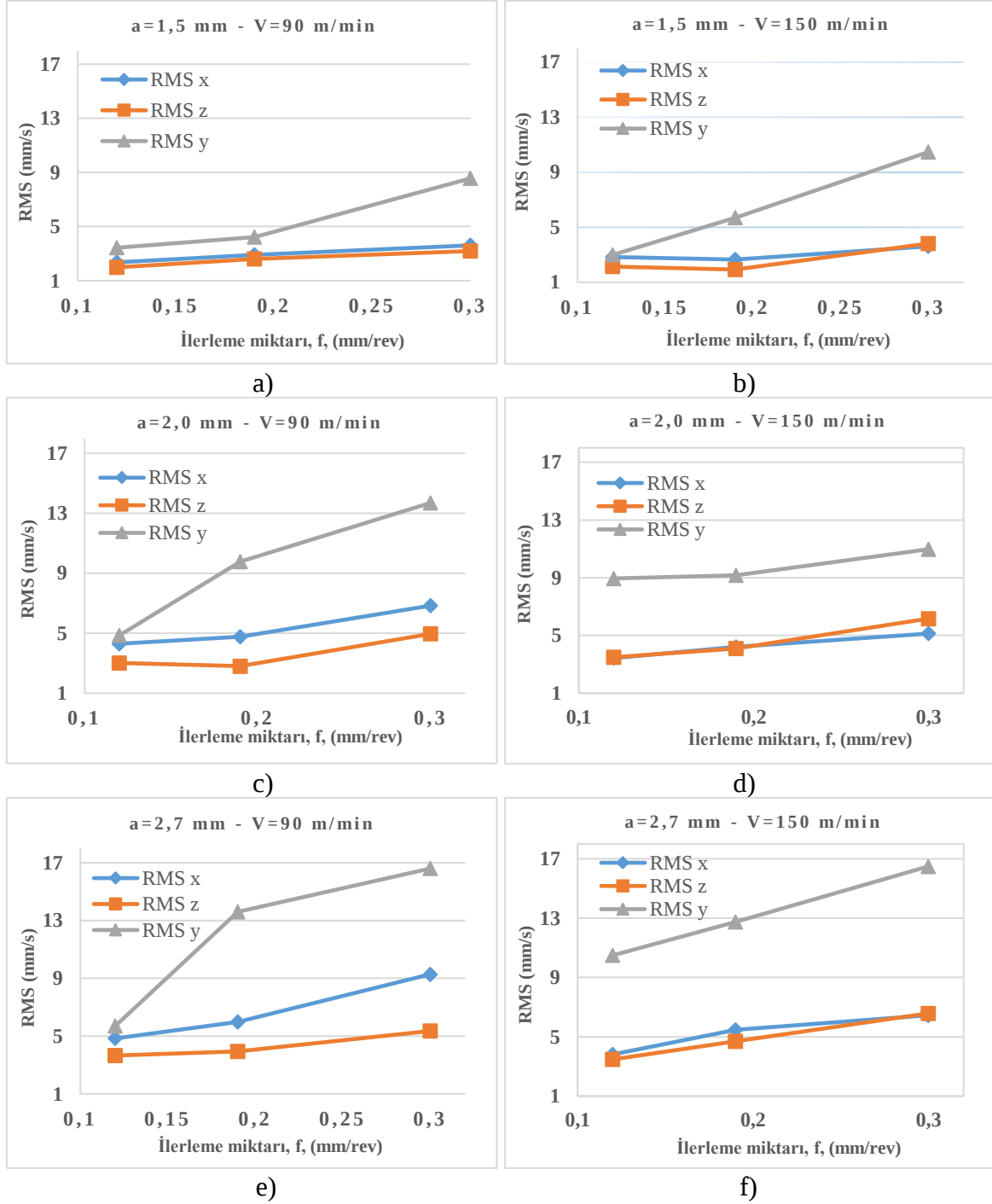
Deney No	İlerleme, f (mm/rev)	Kesme hızı, V (m/min)	Talaş derinliği a (mm)	Yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)	Kesme kuvveti, Fr (N)	Titreşim, RMS-X mm/s	Titreşim, RMS-Y mm/s	Titreşim, RMS-Z mm/s
1	0.12	90	1.5	0,437	845,97	2,356	1,986	3,438
2	0.12	150	1.5	0,227	815,55	2,830	2,132	2,990
3	0.12	90	2	0,482	1065,19	4,300	3,012	4,854
4	0.12	150	2	0,359	1032,6	3,430	3,490	8,950
5	0.12	90	2.7	0,503	1409,01	4,836	3,650	5,694
6	0.12	150	2.7	0,445	1365,57	3,810	3,474	10,490
7	0.19	90	1.5	0,477	1089,85	2,912	2,614	4,226
8	0.19	150	1.5	0,391	1022,77	2,654	1,928	5,700
9	0.19	90	2	0,514	1394,17	4,762	2,810	9,770
10	0.19	150	2	0,438	1395,65	4,204	4,090	9,170
11	0.19	90	2.7	0,608	1804,84	5,974	3,928	13,596
12	0.19	150	2.7	0,583	1825,08	5,466	4,700	12,750
13	0.3	90	1.5	0,904	1464,88	3,612	3,190	8,560
14	0.3	150	1.5	0,647	1456,55	3,612	3,818	10,472
15	0.3	90	2	0,937	1849,4	6,842	4,962	13,696
16	0.3	150	2	0,676	1871,81	5,130	6,168	10,974
17	0.3	90	2.7	0,977	2433,36	9,277	5,350	16,602
18	0.3	150	2.7	0,702	2368,63	6,450	6,580	16,490

5.1. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Titreşim Miktarları

Grafiklere baktığımızda, ilerleme miktarlarına göre analiz yaptığımızda ilerleme miktarı artıkça titreşim miktarıda atmış, ama CNC tezgâhın y yönünde x ve z yönlerine göre aşırı bir artışa sahip olmuştur.

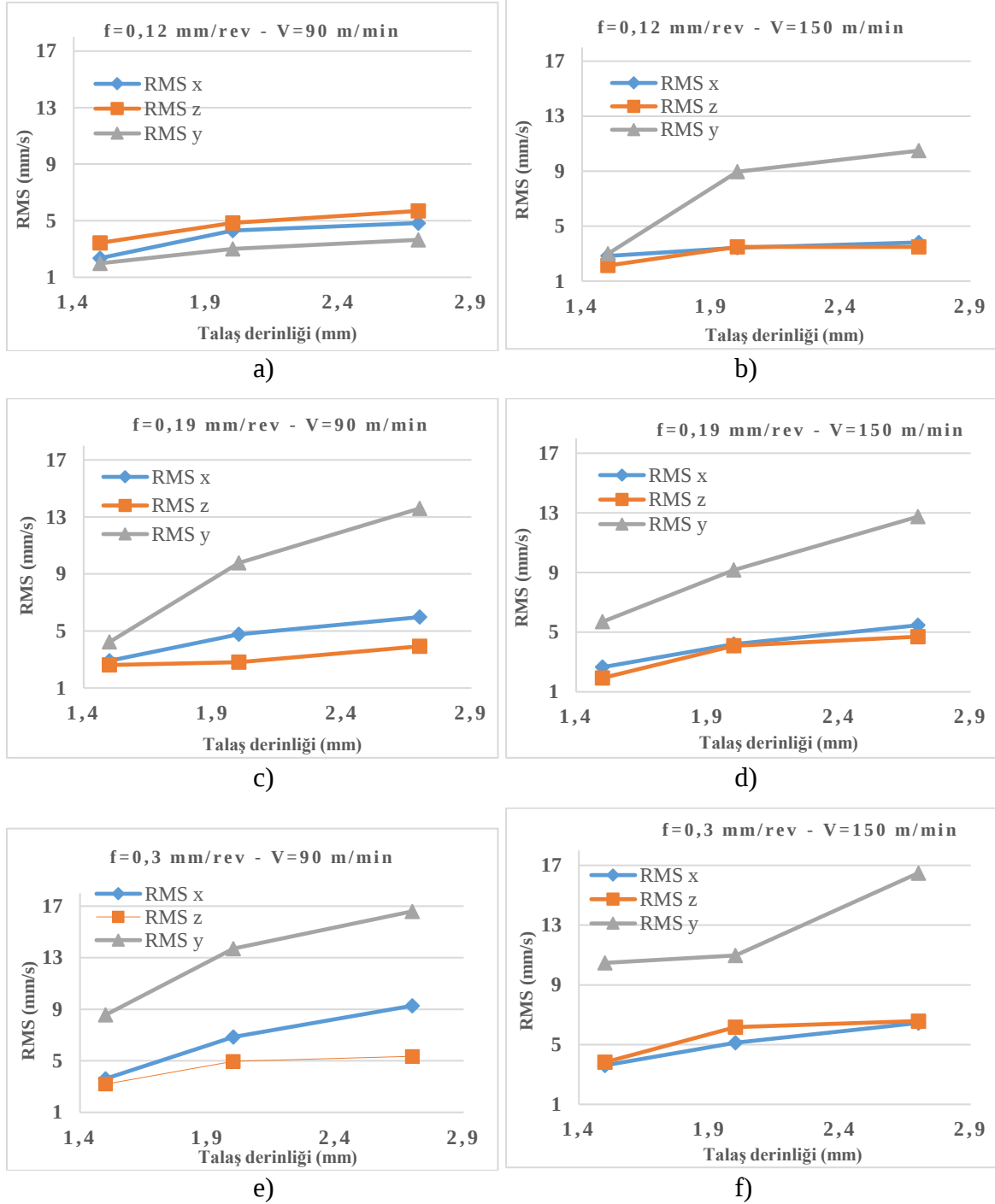
Genel olarak üç ekseninde oluşan titreşim miktarları 0,12 mm/rev ilerleme miktarında aralık miktarları pek çok fazla görünmemiştir. Şekil 5.1.f grafiğine ve Çizelge 5.1'e incelendiğinde titreşim miktarının x ve y yönlerindeki en büyük değeri 0,3 mm/rev ilerleme miktarı, 2,7 mm talaş derinliğinde 90 m/min kesme hızında olan deney şartlarında oluşmuştur. Z yönündeki en büyük titreşim değeri ise 0,3 mm/rev ilerleme miktarı, 2,7 mm talaş derinliğinde ve 150 m/min kesme hızında olduğu belirlenmiştir.

Titreşim değerlerini Şekil 5.1.a grafiğine ve Çizelge 5.1 baktığımızda 0,12 mm/rev ilerleme miktarı, 1,5 mm talaş derinliğinde 90 m/min kesme hızında olan numunemiz x ve z yönlerinde ve 150 m/min kesme hızında y yönünde en az titreşim miktarı görülmüştür.



Şekil 5.1. İlerleme hızı-titreşim ilişkisi a) $a=1,5 \text{ mm}$, $V=90 \text{ m/min}$. b) $a=1,5 \text{ mm}$, $V=150 \text{ m/min}$. c) $a=2 \text{ mm}$, $V=90 \text{ m/min}$. d) $a=2 \text{ mm}$, $V=150 \text{ m/min}$. e) $a=2,7 \text{ mm}$, $V=90 \text{ m/min}$. f) $a=2,7 \text{ mm}$, $V=150 \text{ m/min}$

Kesme hızında 90 m/min oluşumu göre 150 m/min daha fazla olmuş. Bunun nedeni bir sabit ilerleme oranında kesme hızını atışıyla daha az talaş alınır, daha az talaş yığılması oluşur ve daha rahat kesilir. Bu neden x ve y yönünde oluşan titreşim miktarı Çizelgede 5.1’de verilen 18. deneyde ve 17. deneye göre daha az elde edilmiş.



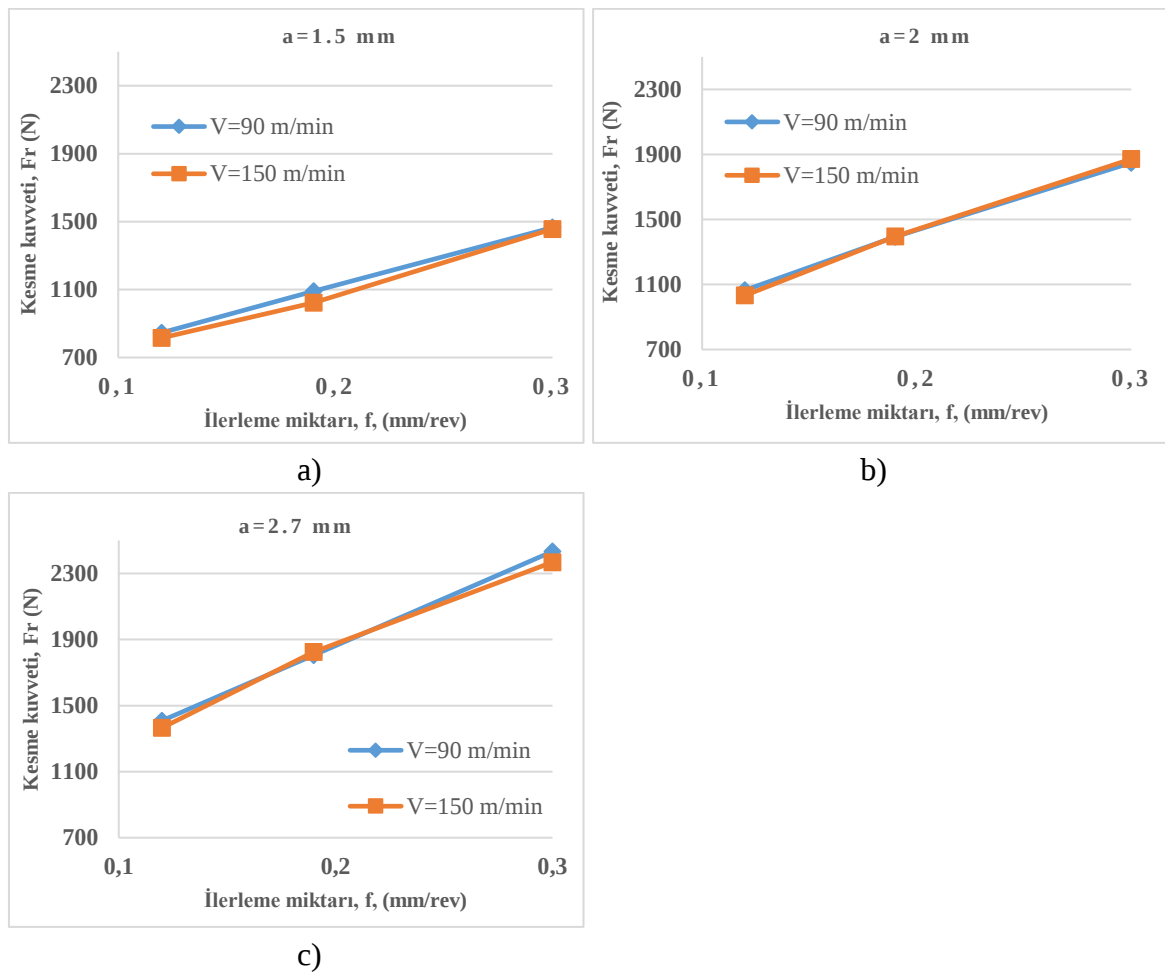
Şekil 5.2. Talaş derinliği- titreşim ilişkisi a) $f= 0,12 \text{ mm/rev}$, $V=90 \text{ m/min}$. b) $f= 0,12 \text{ mm/rev}$, $V=150 \text{ m/min}$. c) $f= 0,19 \text{ mm/rev}$, $V=90 \text{ m/min}$. d) $f= 0,19 \text{ mm/rev}$, $V=150 \text{ m/min}$. e) $f=0,3 \text{ mm/rev}$, $V=90 \text{ m/min}$. f) $f= 0,3 \text{ mm/rev}$, $V=150 \text{ m/min}$

5.2. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Kesme Kuvveti

Kesme kuvveti elde edilen sonuçları parametreleri göze alarak üç halette grafikleri çizilip ve analizi yapılmıştır. Yeni birinci halette, her üç talaş derinliği sabit tutarak ilerleme miktarının artmasıyla kesme hızının oluşan kesme kuvvetinde etkisi analizi yapılmıştır.

İkinci halette, her iki kesme hızı sabit tutarak her üç ilerleme miktarının artmasıyla talaş derinliği oluşan keme kuvvetinde etkisi analizi yapılmıştır. Üçüncü halette, her iki kesme hızı sabit tutarak üç farklı talaş derinliği artmasıyla ilerleme miktarında oluşan kesme kuvvetinde etkisi analizi yapılmıştır.

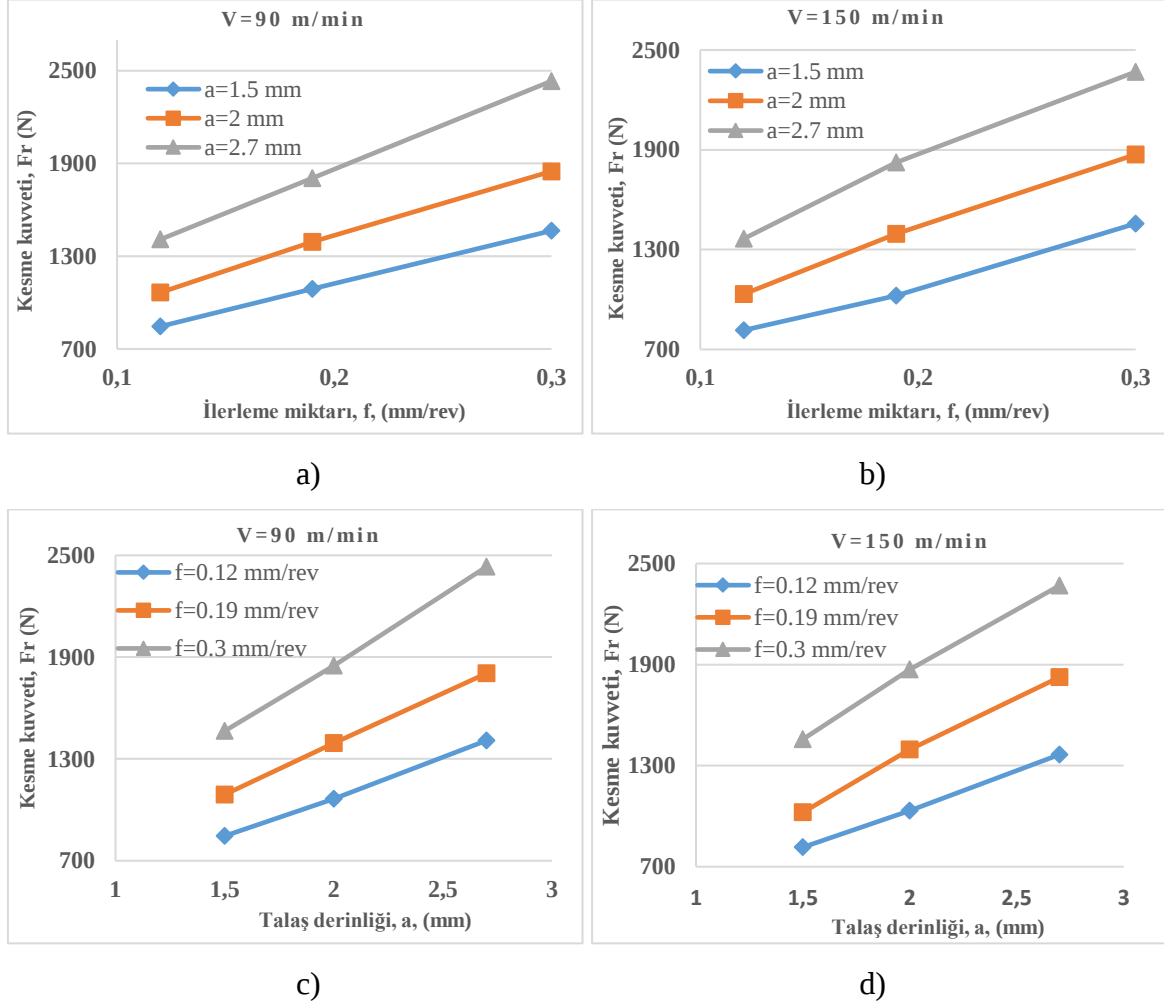
Birinci hâlette yapılmış analizinde, sabit talaş derinliğinde ilerleme miktarı artıkça her iki kesme hızlarında, kesme kuvvet miktarı artmıştır. Şekil 5.3'de görüldüğü gibi 90 m/min kesme hızı, 150 m/min kesme hızına göre az da olsa daha fazla kesme kuvvetine sahiptir.



Şekil 5.3. Kesme kuvvetinin ilerleme miktarına göre değişimi a) $a=1,5 \text{ mm}$, b) $a=2 \text{ mm}$ ve c) $a= 2,7 \text{ mm}$

Şekil 5.4'de görüldüğü gibi 90 m/min sabit kesme hızı, 0,3 mm/rev ilerleme miktarında 2,7 mm talaş derinliğine olan numune en fazla kesme kuvvetine 2433,36 N sahip olan numunedir.

Şekil 5.4'de kesme kuvvet grafiğinde en küçük 815,55 N bulunan değer, 150 m/min kesme hızı, 0,12 mm/rev ilerleme ve 1,5 mm talaş derinliği şartlarının altında oluşmuş.

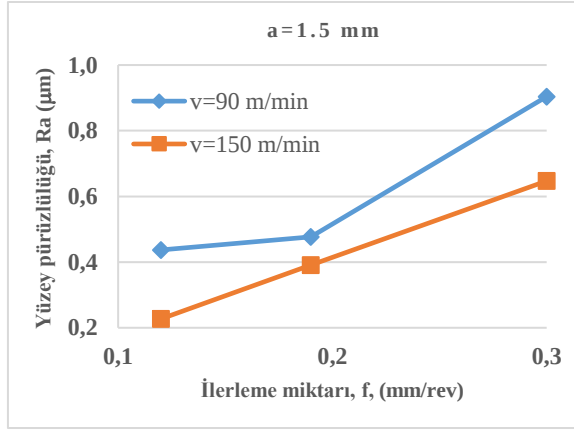


Şekil 5.4. Kesme kuvvetinin kesme parametrelerine göre değişimi. a) İlerleme miktarı-kesme kuvveti değişimi, V=90 m/min, b) İlerleme miktarı-kesme kuvveti değişimi, V=150 m/min, c) Talaş derinliği kesme kuvveti değişimi, V=90 m/min, d) Talaş derinliği kesme kuvveti değişimi, V=150 m/min

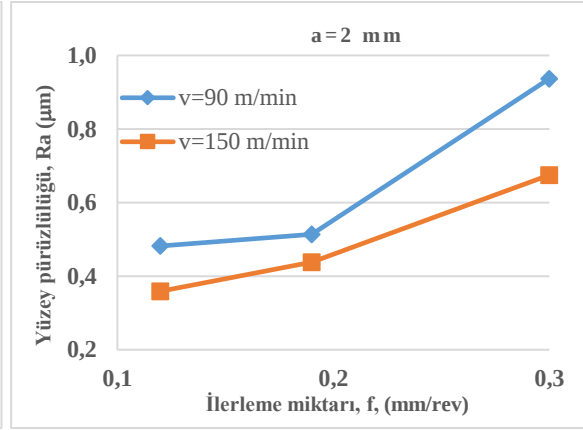
5.3. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Yüzey Pürüzlülükleri

İşlemeden sonra ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri üç Şekilde ilerleme miktarı, kesme kuvvet, talaş derinliğine göre değerlendirildi. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre ilerleme miktarıdır. Gerçekleştirilen deneylerde bu durumu ispatlamıştır. Şekilde de görüleceği gibi, her üç talaş derinliğinde oluşan yüzey pürüzlülüğü ilerleme miktarı ve kesme hızının azalmasıyla artmıştır. Şekil 5.5'de ve Çizelge 5.1'de en büyük yüzey pürüzlülük değeri; 90 m/min kesme hızı, 2,7 mm talaş derinliği ve 0,3 mm/rev ilerleme

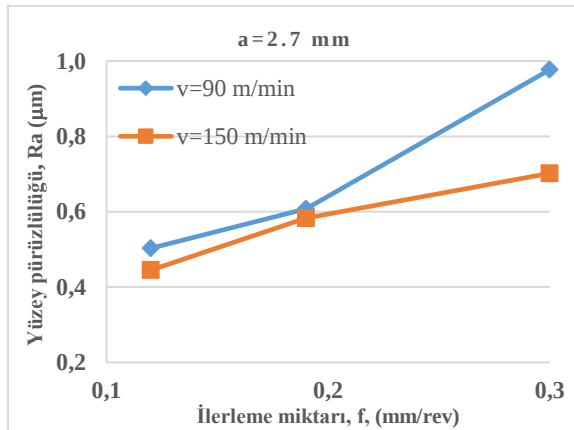
oranında $Ra=0,977 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. En küçük yüzey pürüzlülük değeri; 90 m/min kesme hızı, 1,5 mm talaş derinliği ve 0,12 mm/rev ilerleme miktarında $Ra=0,227 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.



a)

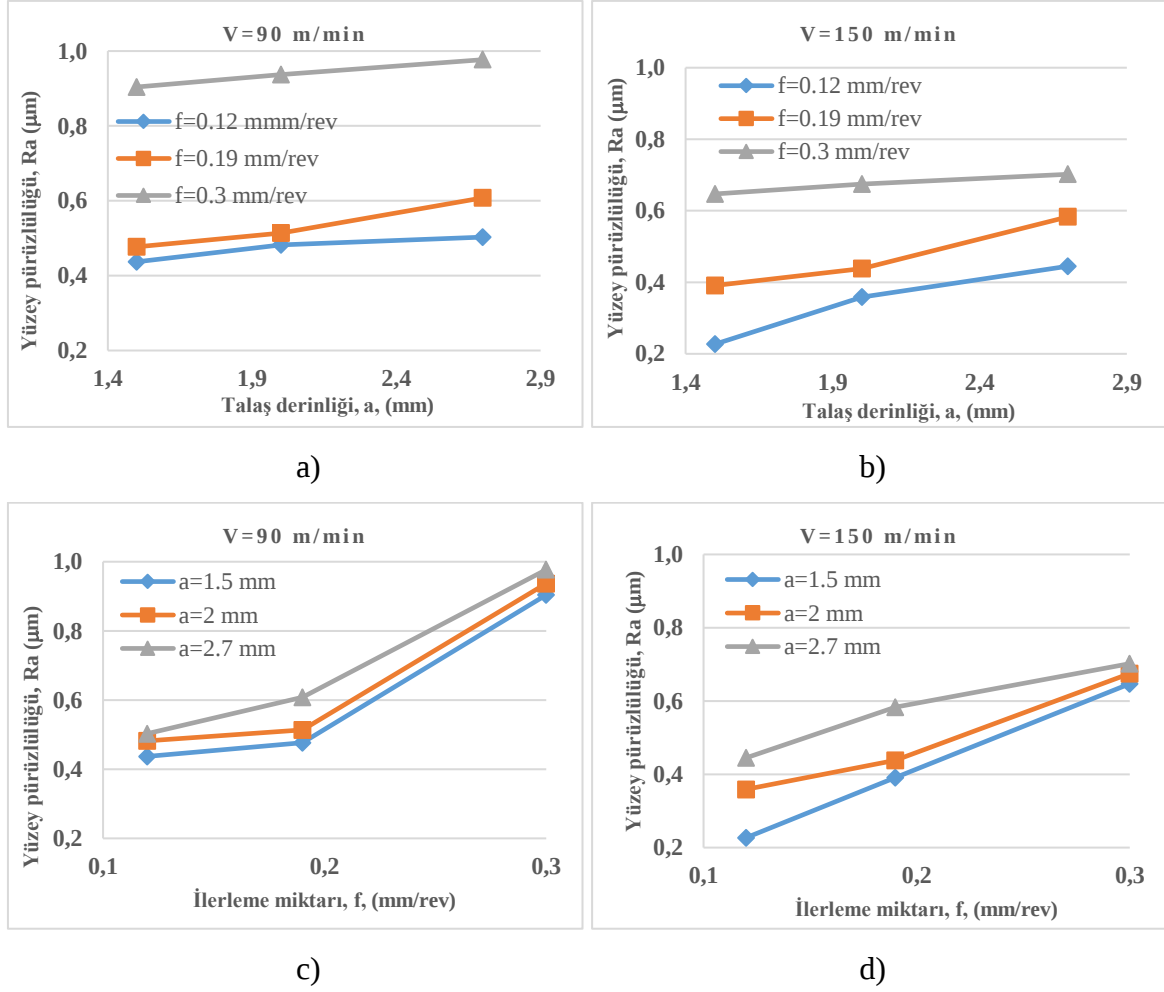


b)



c)

Şekil 5.5. İlerleme miktarı - Yüzey pürüzlülüğü ilişkisi, a) $a = 1,5 \text{ mm}$, b) $a = 2 \text{ mm}$, c) $a = 2,7 \text{ mm}$



Şekil 5.6. Yüzey pürüzlülüğünün talaş derinliği ve ilerleme miktarına göre değişimi a) V=90 m/min’de Ra-a değişimi, b) V=150 m/min’de Ra-a değişimi, c) V=90 m/min’de Ra-f değişimi, d) V=150 m/min’de Ra-f değişimi

5.4. İstatistiksel Analiz

Gerçekleştirilen bu çalışmada kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak oluşan titreşim miktarı, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti arasındaki ilişki ayrı ayrı irdelenip grafikler oluşturulmuştur. Yapılan istatistiksel analiz ile bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini ve etki faktörlerini bir bütün olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen verilerin istatistik analizleri yapılmış ve tartışılmıştır.

5.4.1. X yönünde elde edilen titreşim sonuçların istatistiksel analizi

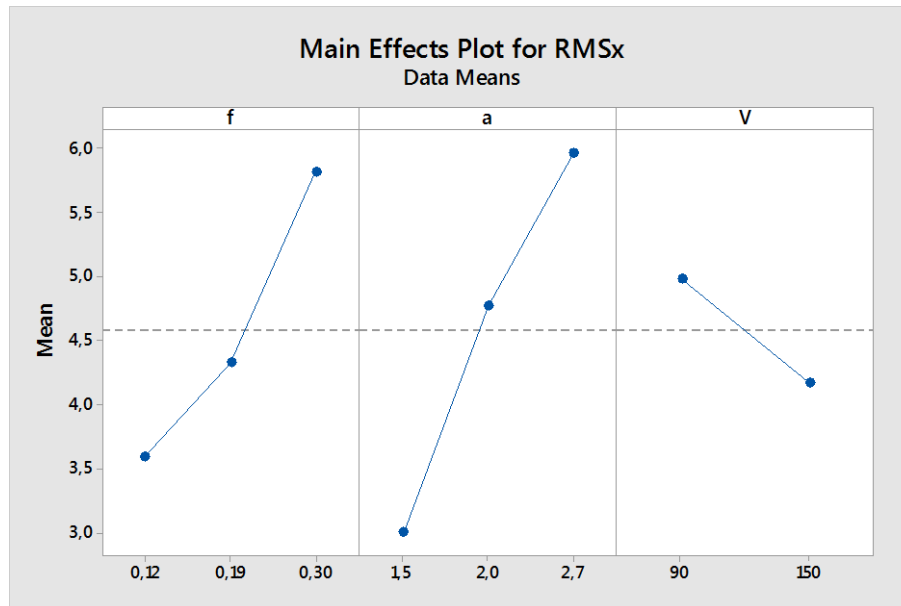
Çizelge 5.4’te ilerleme değerinin (f), talaş derinliğinin (a) ve kesme hızının (V) x yönünde oluşan titreşime olan etkisinin varyans analizi sonuçları görülmektedir.

Çizelge 5.2’te görüldüğü gibi, varyans analizi sonucundan R^2 değeri 0,86 bulunmuştur. Deney parametresi olarak kullanılan değişkenlerin titreşim oluşumunu %80,9 oranında etkilediği R-Sq(adj) parametresinden anlaşılmaktadır. Yani bağımsız değişkenlerimizin x yönündeki titreşimi %80,9 oranında belirlediği görülmektedir. P parametresi incelendiğinde ise, her f, a ve V parametrelerinin P değerinin 0,052 den küçük olduğu yani anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.2. X yönünde oluşan titreşim miktarı (RMS) için varyans analizi sonuçları

RMS-x varyans analizi						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Per
f	2	15.449	7.7246	13.14	0.001	% 29.53
a	2	28.863	13.4313	22.85	0	% 55.17
V	1	2.948	2.9484	5.02	0.045	% 5.64
Error	12	7.054	0.5878			% 13.48
Total	17	52.314				%100.00

S = 0,766707 R-Sq = %86,52 R-Sq(adj) = %80,90 R-sq(pred)=%69,66
SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, P: Anlamlılık<0,05, Per: Yüzde dağılımı



Şekil 5.7. X yönünde oluşan titreşim (RMS-x) için ana etkiler grafiği

Çizelge 5.2 incelendiğinde f, a ve V parametrelerinin titreşim oluşumu üzerindeki etkisi %80,9 olduğu görülmektedir. B etkisini ise, % 55,17’si talaş derinliği (a), % 29,53’ünü ilerleme miktarı (f) ve % 5,64’ünü ise kesme hızı (V)’nın oluşturduğu belirlenmiştir.

Benzer ilişki Şekil 5.7’de verilen Şekilde de görülmektedir. Bu Şekilden de görüleceği gibi, ilerleme miktarı ve talaş derinliği arttıkça x yönünde oluşan titreşim miktarının da arttığı görülmektedir. Ancak bu artış miktarına etki oranları Çizelge 5.2’de verilen Per parametresi ile temsil edilmiş olup, talaş derinliğinin x yönünde titreşim oluşumunu toplam etkilerin % 55’i oranında etkilediği tespit edilmiştir. Yani x yönünde oluşan RMS değerini ağırlıklı olarak talaş derinliği belirlemektedir. Bu Çizelgede verilen Per parametresi, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki R-Sq(adj) % temsil oranının her bağımsız parametreye düşen oranıdır.

Çizelge 5.2’de verilen Per parametresi incelendiğinde x yönündeki RMS değerini en az etkileyen parametresinin %5,64 ile kesme hızı olduğu, kesme hızı arttıkça titreşim miktarının da azaldığı görülmektedir.

Şekil 5.7’ da verilen grafik incelendiğinde ilerleme değerinin 0,12 mm/min’den 0,19 mm/min’ya artmasıyla artan x yönünde oluşan titreşim değeri artmış ancak ilerleme miktarının 0,19 mm/rev ’den 0,30 mm/rev’e çıkmasıyla daha belirgin bir artış göstermiştir. Talaş derinliğinin 1,5 mm’den 2 mm’ye olan artışı x yönünde oluşan titreşim değeri üzerindeki en belirgin artışı verirken, talaş derinliğinin 2 mm’den 2,7 mm’ye çıkmasıyla artış bir miktar azalış göstermiştir. Kesme hızının seviyesindeki artış ise x yönünde oluşan titreşim değerini düşürmüştür.

5.4.2. Y yönünde elde edilen titreşim sonuçlarının istatistiksel analizi

Çizelge 5.3’de ilerleme değerin (f), talaş derinliğinin (a) ve kesme hızının (V) y yönünde oluşan titreşime olan etkisinin varyans analizi sonuçları görülmektedir. Varyans analizi sonucundan R^2 değeri 0,89 bulunmuştur.

Çizelge 5.3. Y yönünde oluşan titreşim miktarı (RMS) için varyans analizi sonuçları

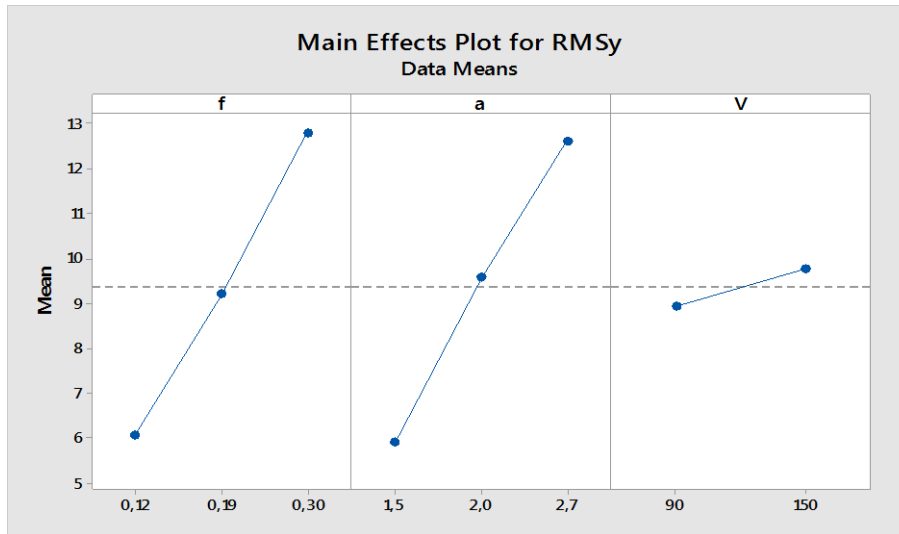
RMS-y varyans analizi						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Per
f	2	136.081	68.04	25.33	0	% 44.36
a	2	135.317	67.658	25.19	0	% 44.11
V	1	3.167	3.167	1.18	0.299	% 1.03
Error	12	32.231	2.686			% 10.51
Total	17	306.795				% 100.00

S = 1,63886 R-Sq = % 89,49 R-Sq(adj) = % 85,12 R-sq(pred) = % 76,36

SD: Serbestlik derecesi. KT: Kareler toplamı. P: Anlamlılık < 0.05. Per: Yüzde dağılımı

Kesme parametreleri olarak kullanılan f , a ve V parametreleri Y yönünde oluşan titreşimin %85,12'sini etkilediği $R-Sq(adj)$ parametresinden anlaşılmaktadır. Yani bu üç parametre y yönünde oluşan RMS değerinin %85,12 oranında temsil etmektedir.

Çizelge 5.3'de verilen P Parametrelerin değerleri incelendiğinde iki faktöründe 0,05'ten küçük olduğu ve anlamlı olduğu ancak kesme hızının y yönündeki RMS değerini anlamlı bir şekilde etkilemediği tespit edilmiştir. Aynı Çizelgede ilerleme değeri ve talaş derinliğinin sırasıyla %44,36 ve %44,11 oranında yaklaşık aynı oranda etkilediği anlaşılmaktadır. Her iki parametrenin artmasına bağlı olarak y yönündeki RMS değerinin de arttığı belirlenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmaya göre y yönünde oluşan RMS değerini ilerleme ve talaş derinliği yaklaşık olarak aynı oranda etkilemektedir. X yönünde gerçekleşen durumda talaş derinliğinin etkisi ilerleme değerinden büyüktü. Ancak y yönünde ise talaş derinliğinin etkisi azalmış ilerleme miktarının etkisi artarak yaklaşık aynı seviyeye gelmiştir.



Şekil 5.8. Y yönünde oluşan titreşim (RMS- y) için ana etkiler grafiği

5.4.3. Z yönünde elde edilen titreşim sonuçların istatistiksel analizi

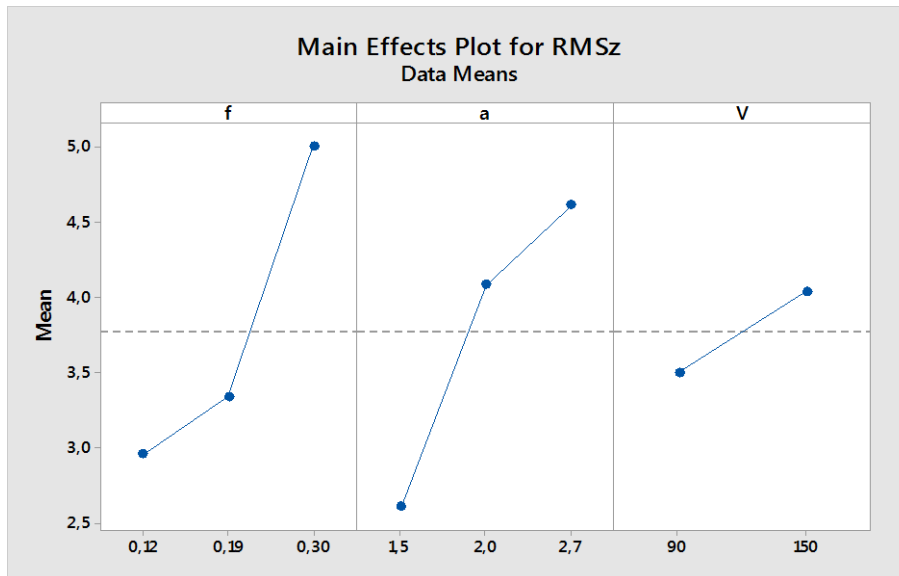
Çizelge 5.4'de ilerleme değerinin (f), talaş derinliğinin (a) ve kesme hızının (V) z yönünde oluşan titreşime olan etkisinin varyans analizi sonuçları görülmektedir. Varyans analizi sonucundan R^2 değeri 0,91 bulunmuştur. Ayrıca, $R-Sq(adj)$ parametresinin de % 88,1 olduğu yani f , a ve V parametrelerinin z yönündeki RMS değerini %88,1 oranında

etkilediği ve anlamlı olarak temsil ettiği görülmektedir. P değerleri incelendiğinde ise, f, a ve V parametrelerinin anlamlı olarak RMS'yi etkilediği anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.4. Z yönünde oluşan titreşim miktarı (RMS) için varyans analizi sonuçları

RMS-z varyans analizi						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Per
f	2	14.29	7.1452	32.75	0	% 45.85
a	2	12.936	6.4681	29.65	0	% 41.51
V	1	1.322	1.3217	6.06	0.03	% 4.24
Error	12	2.618	0.2182			% 8.40
Total	17	31.166				% 100.00
S = 0,467080 R-Sq = % 91,60 R-Sq(adj) = % 88,10 R-sq(pred)=% 81,10						
SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, P: Anlamlılık<0,05, Per: Yüzde dağılımı						

Çizelge 5.4'de verilen Per parametresi incelendiğinde Şekil 5.9'deki ana etkiler grafiğinde ilerleme değerinin (f), talaş derinliğinin (a) ve kesme hızının (V) z yönünde oluşan titreşime olan etkisi görülmektedir. Bunlardan f ve a değeri z yönündeki RMS değerini sırasıyla %45,85 ve %41,51 oranında etkilemiş olup, bu iki parametrenin artışına bağlı olarak z yönünde oluşan titreşim değeri de önemli oranda artmıştır. Bunun yanında, kesme hızının artması da z yönünde oluşan titreşim değerini az da olsa artmıştır. Ancak, kesme hızı z yönündeki RMS değerini toplam etkilerinin %4,24'ü oranında etkilemiştir. Çizelge 5.4 de verilen değerler ve Şekil 5.9'de verilen grafik incelendiğinde z yönünde oluşan RMS değeri üzerinde en etkin parametrenin f ve a değeri olduğu ve her iki parametrenin de etki değerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.9. Z yönünde oluşan titreşim (RMS-z) için ana etkiler grafiği

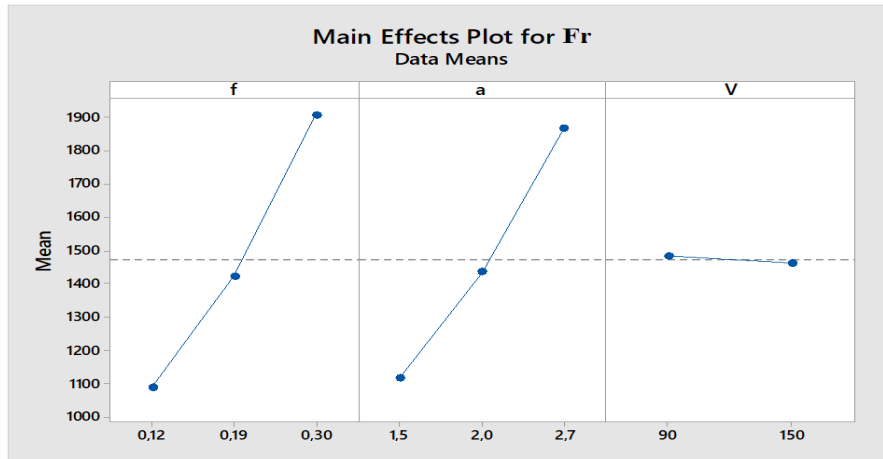
5.4.4. Kesme kuvvetinde elde edilen sonuçların istatistiksel analizi

Çizelge 5.5'te, varyans analizi kullanılarak kesme kuvveti için geliştiren istatistiksel modelin uygunluğu kontrol edilmiş ve modelin P (anlamlılık katsayısı) değerine bağlı olarak güven aralığı düzeyinde uygun olup olmadığı incelenmiştir. Belirtme katsayısı R^2 'nin 0,97 olduğu bulunmuştur. Bu değer istatistiksel analizin güvenilir olduğunu kanıtlamaktadır. Ek olarak P değerinin 0,05'ten küçük olduğu ilerleme değeri ve talaş derinliği istatistiksel olarak önemlidir. Çizelge 5.5 incelendiğinde kesme hızının kesme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Benzer Şekilde Şekil 5.10'da kesme hızının kesme kuvvetini ciddi oranda değiştirmedeği görülmektedir. Çizelge 5.5'te verilen R-Sq(adj) parametresi incelendiğinde f, a ve V parametrelerinin kesme kuvvetini %97,08 oranında etkilediği ve temsil ettiği görülmektedir. Aynı Çizelgede verilen Per parametresi değerlerine bakıldığında ise, kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi %97,08'in %0,06'sı oranında olduğu yani sıfıra yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.5. Kesme kuvveti (Fr) varyans analizi sonuçları

Fr Varyans Analizi						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Per
f	2	2032809	1016405	154.78	0	% 53.18
a	2	1708712	854356	130.11	0	% 44.70
V	1	2277	2277	0.35	0.567	% 0.06
Error	12	78799	6567			% 2.06
Total	17	3822597				% 100.00

S = 81,0344 R-Sq = % 97,94 R-Sq(adj) = % 97,08 R-sq(pred)=% 96,36
SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, P: Anlamlılık<0,05, Per: Yüzde dağılımı



Şekil 5.10. Kesme kuvveti (Fr) ana etkiler grafiği

Şekil 5.10'daki ana etkiler grafiğinde kesme kuvvetine; ilerleme değerinin (f), talaş derinliğinin (a) ve kesme hızının (V) etkisinin sırasıyla %53,18 ve %44,7 oranında olduğu görülmektedir. Buna göre kesme kuvvetinin %53,18 oranında ilerleme miktarına bağlı olarak değiştiği ve en etkin parametrenin ilerleme miktarı olduğu tespit edilmiştir. İlerleme hızı kadar olmasa da talaş derinliğinin de % 44,7 oranında kesme kuvvetini etkilediği ancak kesme hızını etkisinin hemen hemen yok denecek kadar az olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi, f ve a değerleri arttıkça kesme kuvvetini de arttırdığı tespit edilmiştir.

5.4.5. Yüzey pürüzlülüğünde elde edilen sonuçların istatistiksel analizi

Çizelge 5.6'da ilerleme değerinin (f), talaş derinliğinin (a) ve kesme hızının (V) yüzey pürüzlülüğüne olan etkisinin varyans analizi sonuçları görülmektedir. Varyans analizi sonucuna göre R^2 değeri 0,9355 bulunmuştur. Ayrıca R-Sq(adj) değerinin de %90,87 olduğu yani f, a ve V parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin %90,87 olduğu görülmektedir. Bağımsız değişkenler olan f, a ve V değerlerinin etkilerini anlamlı olup olmadığının belirlendiği P parametreleri incelendiğinde ise, her üç parametrenin de anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

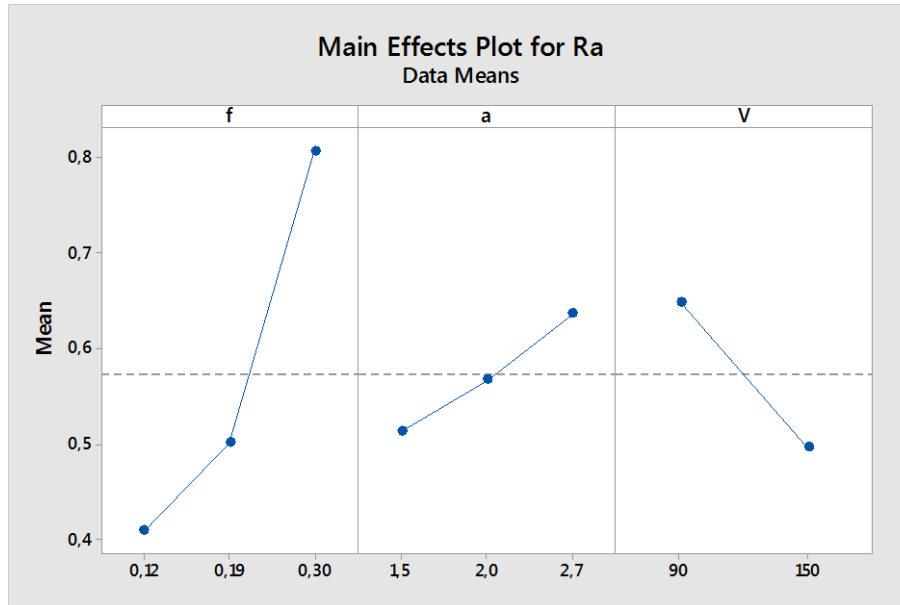
Çizelge 5.6. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) varyans analizi sonuçları

Ra varyans analizi						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F- Value	P- Value	Per
f	2	0.52091	0.26045	67.64	0	% 72.69
a	2	0.04515	0.02258	5.86	0.017	% 6.30
V	1	0.10438	0.10438	27.11	0	% 14.56
Error	12	0.0462	0.00385			% 6.45
Total	17	0.71665				% 100.00
S = 0,0620514 R-Sq = % 93,55 R-Sq(adj) = % 90,87 R-sq(pred)=% 85,49						
SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, P:Anlamlılık<0,05, Per: Yüzde dağılımı						

Çizelge 5.6'da verilen ve bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki % temsil oranını belirleyen Per parametresi incelendiğinde ilerleme miktarının %90,87 lik etkinin %72,69'unu, kesme hızı %14,56'sını ve talaş derinliği ise %6,3'ünü temsil ettiği anlaşılmaktadır. Buna göre, yüzey pürüzlülüğü %72,69 oranında ilerleme miktarına bağlı olarak değişmiştir. İkinci olarak kesme hızının etkili olduğu ancak %14,56 seviyesinde bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Talaş derinliği ise %6,3 lük bir etkiye sahip olup yüzey pürüzlülüğü üzerinde kayda değer bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.11’deki ana etkiler grafiğinde ilerleme değerinin (f), talaş derinliğinin (a) ve kesme hızının (V) yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi görülmektedir.

İlerleme değerinin ve talaş derinliğinin artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünü arttığı ancak kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 5.11. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ana etkiler grafiği

Şekil 5.11’de görüleceği gibi, ilerleme miktarının 0,12 mm/rev’den 0,19 mm/rev’e çıkmasıyla artan pürüzlülük değeri; ilerleme miktarının 0,19 mm/rev’den 0,3 mm/rev’e çıkmasıyla Ra yüzey pürüzlülüğü değeri 0,4 μ m değerinden 0,5 μ m değerine çıkmıştır. Ancak ilerleme miktarının 0,19 mm/rev den 0,3 mm/rev değerine çıkmasıyla Ra değerinin 0,8 μ m seviyesine çıktığı ve pürüzlülük değerinin % 60 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.7. İstatiksel analizinde parametrelerin yüzde etkisi ve etki yönleri

	F,	Etki yönü	a	Etki yönü	v	Etki yönü	R-Sq(adj)
RMS-x	% 29.53	↗	% 55.17	↗	% 5.64	↘	% 80,90
RMS-y	% 44.36	↗	% 44.11	↗	% 1.03	↗	% 85,12
RMS-z	% 45.85	↗	% 41.51	↗	% 4.24	↗	% 88,10
Fr	% 53.18	↗	% 44.70	↗	% 0.06	↘	% 97,08
Ra	% 72.69	↗	% 6.30	↗	% 14.56	↘	% 90,87

Talaş derinliğinin değerinin 1,5 mm'den 2 mm'ye çıkmasıyla Ra yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık 0,1 μm artış göstermiştir. Talaş derinliğinin 2 mm'den 2,7 mm'ye artmasıyla artış oranının biraz daha belirgin olmuş ve Ra değerinde yaklaşık 0,3 μm 'luk bir artış gerçekleşmiştir.

Yapılan istatistiksel analiz sonucuna göre freze tezgâhının x yönünde oluşan titreşim (RMS-x), R-Sq(adj) %80,90 etkin miktarını uç bağımsız değişkin yeni ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı oluşturmuş. Çizelge 5.7 baktığımız zaman R-Sq(adj) %80,90 etkin miktarını, oluşturan %55.17 talaş derinliği en etkin parametre ve en değersiz miktar %5.64 kesme hızı olarak seçilmiştir. Şekil 5.7 ile Çizelge 5.7'ni incelediğimizde ilerleme ve talaş derinliği değerlerin artmasıyla x yönünde titreşim miktarı artmıştır. Ancak kesme hızı değeri artıkça titreşim değeri düşmüştür.

Oluşan titreşim y yönünde ise R-Sq(adj) %80,90 etkin miktarı hesaplanmış ve ilerleme miktarıyla talaş derinliği etki değeri hemen hemen aynı elde edilmiştir. Bundan ilave her üç parametre değerleri çoğaldıkça y yönünde titreşim miktarı artmıştır.

Titreşimi miktarı tezgâhın z yönünde etki değeri R-Sq(adj) %88,10 hesaplanmış. Çizelge 5.7 baktığımızda her üç parametre R-Sq(adj) %88,10 olan etki değerin %45.85 ilerleme miktarı, %41.51 talaş derinliği ve %4.24 kesme hızı sağlamıştır. Şekil 5.9 incelediğimizde her parametre değeri artıkça z yönünde var olan titreşim miktarı aratılmasa gözlenmiştir.

Kesme kuvvetin, istatistiksel analizinde en üst bulunan R-Sq(adj) %97,08 değerinin, ilerleme miktarı %53.18 en büyük değer olarak kapsamıştır ve en etkin parametre olarak seçilmiştir. İlerleme miktarı değerinden sonra en etkin parametre %44.70'lük etki ile talaş derinliği yer almaktadır. Bu analizde ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin artıkça kesme kuvveti değeri de artırılmıştır. Ancak Şekil 5.10'a bakıldığında kısmi hızı artması azda olsa kesme kuvvet değerini azaltmıştır. Yüzey pürüzlülüğü istatistiksel analizinde en üst bulunan R-Sq(adj) %90,87 değerinin, ilerleme miktarı %72.69 ile en büyük değer olarak kapsamış ve en etkin parametre olduğu tespit edilmiştir. İlerleme miktarı değerinden sonraki parametre kesme hızı %14.56 ve %6.30 etki oranıyla talaş derinliği en düşük etkiye sahiptir. Bu analizde ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin artıkça yüzey pürüzlülüğü değeri de artırılmıştır. Ancak Şekil 5.10 incelendiğinde kısmi hızı artması azda olsa kesme kuvvet değerinin azaldığı görülmektedir.

6. SONUÇ

Tez kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonuçları ve yapılan istatistiksel analize göre aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir;

- Gerçekleştirilen deneysel çalışmaya göre, ilerleme miktarının titreşim, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre olduğu görülmüştür.
- Titreşim miktarı, ilerleme oranı ve talaş derinliğinin artmasıyla artmış ancak artan kesme hızına bağlı olarak azalmıştır.
- Artan ilerleme miktarı ve talaş derinliğiyle titreşim miktarı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır. Kesme hızı ise ters bir etki yapmış olup, artan kesme hızı ile titreşim miktarı azalmıştır.
- X ve y yönlerinde oluşan en yüksek titreşim değeri $f=0,3$ mm/rev, $a=2,7$ mm ve $V=90$ m/min deney şartlarında gerçekleşmiş olup, RMS değerleri $RMS-x=9,277$ mm/s, $RMS-y=16,602$ mm/s dir. Aynı deney şartlarında F_r kesme kuvveti 2433.36 N ve yüzey pürüzlülüğü ise $Ra=0.977$ μ m olarak gerçekleşmiştir.
- Z yönündeki en yüksek RMS değeri ise $f=0,3$ mm/rev, $a=2,7$ mm ve $V=150$ m/min kesme şartlarında elde edilmiş olup, $RMS-z=6.580$ mm/s olarak gerçekleşmiştir.
- En düşük kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve $RMS-y$ değerleri $f=0,12$ mm/rev, $a=1,5$ mm ve $V=150$ m/min kesme şartlarında gerçekleşirken; $RMS-x$ ve $RMS-z$ 'nin en düşük değerleri $f=0,12$ mm/rev, $a=1,5$ mm ve $V=90$ m/min şartlarında yapılan deneyde elde edilmiştir.
- Gerçekleştirilen istatistiksel analize göre $RMS-x$ üzerinde en etki parametre % 55,17 ile talaş derinliğidir. $RMS-y$ 'de ilerleme ve talaş derinliği yaklaşık %44 ile aynı etkiye sahiptir. $RMS-z$ 'de ise ilerleme %45,8 talaş derinliği ise %41,5 etkiye sahip olup ilerleme biraz daha fazla olmak kaydıyla her iki parametrenin de etkisi birbirine yakındır.
- Kesme kuvvetinin oluşumu üzerinde en etkin parametre % 53,1 ile ilerleme miktarı ve % 44,7 ile talaş derinliğidir. Kesme hızının kesme kuvveti üzerinde etkisi ihmal edilecek kadar küçüktür.
- Yüzey pürüzlülüğü ise, % 72,69 oranında ilerleme miktarından etkilenirken, kesme kuvveti %14,56 ve talaş derinliği ise % 6,3 oranında etkili olmuştur. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi oldukça düşüktür.

KAYNAKLAR

1. Arık, İ.,(2010). *Farklı adımlı kesici ağızlara sahip freze çakıllarının tırlama titreşimleri üzerine etkileri*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
2. Yilmaz, V., H. Dilipak, M. Sarıkaya, C.Y. Yilmaz, M. Ö. (2016). *Frezeleme işlemlerinde kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının modellenmesi/The modeling of results of cutting force, vibration and surface roughness in milling operations*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 30(4).
3. Nguyen, V., S. Melkote, A. Deshamudre, M. Khanna, D. W. (2016). PVDF sensor based monitoring of single-point cutting. *Journal of Manufacturing Processes* 24, 328-337.
4. Antonialli, A.I.S., A.E. Diniz, R. P. (2010). Vibration analysis of cutting force in titanium alloy milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 50(1), 65-74.
5. Suzuki, N., Y. Kurata, T. Kato, R. Hino, E. S. (2012). Identification of transfer function by inverse analysis of self-excited chatter vibration in milling operations. *Precision Engineering* 36(4), 568-575.
6. Tatar, K.P. Gren (2008). Measurement of milling tool vibrations during cutting using laser vibrometry. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 48(3-4), 380-387.
7. Sivaraman, V., L. Vijayaraghavan, S. S. (2017). Effect of Vibration on Surface Texture during Machining Multiphase Microalloyed Steel. *Procedia Manufacturing* 10, 429-435.
8. Fang, N., P.S. Pai, S. M. (2011). Effect of tool edge wear on the cutting forces and vibrations in high-speed finish machining of Inconel 718: an experimental study and wavelet transform analysis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 52(1-4), 65-77.
9. Rao, K.V., B. Murthy, N. M. R. (2013). Cutting tool condition monitoring by analyzing surface roughness, work piece vibration and volume of metal removed for AISI 1040 steel in boring. *Measurement* 46(10), 4075-4084.
10. Rmili, W., A. Ouahabi, R. Serra, R. L. (2016). An automatic system based on vibratory analysis for cutting tool wear monitoring. *Measurement* 77, 117-123.
11. Honeycutt, A.T.L. S. (2017). A Study of Milling Surface Quality during Period-2 Bifurcations. *Procedia Manufacturing*, 10, 183-193.
12. Shamoto, E., T. Mori, B. Sencer, N. Suzuki, R. H, (2013). Suppression of regenerative chatter vibration in multiple milling utilizing speed difference

- method—Analysis of double-sided milling and its generalization to multiple milling operations. *Precision Engineering*, 37(3), 580-589.
13. Wojciechowski, S., R.W. Maruda, G.M. Krolczyk, P. N. (2018). Application of signal to noise ratio and grey relational analysis to minimize forces and vibrations during precise ball end milling. *Precision Engineering*, 51, 582-596.
 14. Prasad, B.S., M. Sarcar, B.S. B. (2011). Surface textural analysis using acousto optic emission-and vision-based 3D surface topography—a base for online tool condition monitoring in face turning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55(9-12), 1025-1035.
 15. Altinkaya, E. Güllü, A. (2008). AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğin İşlenmesinde Kesme Hızının ve Takım Kaplamasının Takım Aşınmasına Etkileri. *Politeknik Dergisi*, 11(3), 243-247.
 16. Chuangwen, X., X. Ting, L. Huaiyuan, S. Zhicheng, J. Hongbing, L. M. (2017). Friction, wear, and cutting tests on 022Cr17Ni12Mo2 stainless steel under minimum quantity lubrication conditions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 90, (1-4), 677-689.
 17. Çiçek, A., T. Kıvak, Ekici, E. (2015). Optimization of drilling parameters using Taguchi technique and response surface methodology (RSM) in drilling of AISI 304 steel with cryogenically treated HSS drills. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(2), 295-305.
 18. Gupta, M.K., Sood, P. (2017). Surface roughness measurements in NFMQL assisted turning of titanium alloys: An optimization approach. *Friction* 5(2), 155-170.
 19. Karabatak, M., Fuat, K. (2016). AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün deneysel optimizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 19(3), 349-355.
 20. Kulkarni, A.P., Sargade V.G. (2015). Characterization and performance of AlTiN, AlTiCrN, TiN/TiAlN PVD coated carbide tools while turning SS 304. *Materials and Manufacturing Processes*, 30(6), 748-755.
 21. Kuram, E. (2016). AISI 304 Paslanmaz Çeliğinin Frezelenmesinde Farklı Kaplama Malzemelerinin Takım Aşınmasına, Kesme Kuvvetlerine ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri. *Politeknik Dergisi*, 19(4), 433-443.
 22. Kuram, E., Ozcelik, B., Demirbas, E., Şıkı, E., Tansel, N. (2011). Evaluation of new vegetable-based cutting fluids on thrust force and surface roughness in drilling of AISI 304 using Taguchi method. *Materials and Manufacturing Processes*, 26(9), 1136-1146.
 23. Kurşuncu, B., Yaraş, A. (2018). AISI O2 Takım Çeliğinin Frezelenmesinde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Sisteminin Kesme Performansına Etkisi." *Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(2), 125-128.

24. Minh, D.T., The, L.T., Bao, N.T. (2017). Performance of Al₂O₃ nanofluids in minimum quantity lubrication in hard milling of 60Si2Mn steel using cemented carbide tools. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(7).
25. Özer, A., Bahçeci, E. (2009). Aisi 410 Martensitik Paslanmaz Çeliklerin Kesici Takim Ve Kaplamasına Bağlı İşlenebilirliği. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 24(4).
26. Shao, H., Liu, L., Qu, H. (2007). Machinability study on 3% Co–12% Cr stainless steel in milling. *Wear*, 263(1-6), 736-744.
27. Tekiner, Z., Yeşilyurt, S. (2004). Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Materials & Design*, 25(6), 507-513.
28. Yıldırım, Ç., Kıvak, T., Erzincanlı, F. (2015). *Minimum miktarda yağlama tekniğinin delme ve taşlama operasyonlarındaki uygulamaları üzerine bir derleme*. 6. ulusal talaşlı imalat sempozyumu, 5-7 Kasım İstanbul.
29. Yilmaz, V., Dilipak, H., Sarıkaya, M., Yilmazm, Özdemir, C.Y. (2014). Frezeleme işlemlerinde kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının modellenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 30(4), 220-226.
30. Kondo, E., Ota, H., Kawai, T. (1997). 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 Engineerin*, 119(4A), 461-466.
31. Lin, S. Hu, M. (1992). Low vibration control system in turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 32(5), 629-640.
32. Dong, W., Sullivan, P., Stout, K. (1992). Comprehensive study of parameters for characterizing three-dimensional surface topography I: Some inherent properties of parameter variation. *Wear*, 159(2) 161-171.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAGHERI Peiman
 Uyuğu : Iran
 Doğum tarihi ve yeri : 14.07.1990, Tabriz
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (505) 067 51 66
 E-mail : peymanbagheri1990@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İmalat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Tabriz science college, Tabriz (Iran)	2015
Ön lisans	Tabriz science college, Tabriz (Iran)	2012

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-2015	Iran Khodro Production, Tabriz (Iran)	İmalat Mühendisi
2010-2012	Tabriz Drilling Company, Tabriz (Iran)	CNC Operatörü

Yabancı Dil

İngilizce, Türkçe, Farsça

Yayınlar

Güldaş, A., Bagheri, P., Dilipak, H. (2019) *Takım Çeliği İşlenmesi Sırasında Kesme Parametrelerin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğü Etkileri*. 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Ankara.

Hobiler

Kemen, Gitar



GAZİ GELECEKTİR..