

AISI 1050 ÇELİĞİNİN KARBÜR TAKIMLARLA FREZELENMESİNDE OLUŞAN TİTREŞİMLERİN İNCELENMESİ VE İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Hakan DİLİPAK¹, Volkan YILMAZ²

¹ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fak., İmalat Müh. Böl., Ankara

² Gazi Üniversitesi, Atatürk Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Tek. Böl., Ankara

hdilipak@gazi.edu.tr, volkan@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 14.11.2011; Kabul/Accepted: 05.03.2012)

ÖZET

Bu çalışmada, frezeleme operasyonlarında, işleme parametrelerinin, takım tezgâhında oluşan titreşimlere, kesme kuvvetlerine ve iş parçası yüzey kalitesine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde işleme parametreleri olarak 132, 220, 308 m/min kesme hızı, 0,05, 0,1, 0,15, 0,2 mm/tooth ilerleme oranı, 1, 1,5 mm kesme derinliği ve 1, 2, 4 adet kesici uç 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 yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Daha sonra işleme parametrelerinin sonuçlara etkisini belirlemek ve matematiksel bir model oluşturmak amacıyla varyans analizi (ANOVA) ve ikinci dereceden çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre; kesici uç sayısı, kesme derinliği ve ilerleme artışı ile tüm sonuçlarda da artış olduğu görülmüştür. Kesme hızının artması titreşim ivme seviyesini olumsuz etkilerken, kesme kuvveti ve yüzey kalitesine olumlu katkıda bulunmuştur. Artan titreşim ivme seviyeleri, yüzey pürüzlülük değerlerinin de artmasına neden olmuştur. Dolayısıyla titreşimin yüzey pürüzlülüğüne olumsuz bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Titreşim, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, frezeleme, analiz

INVESTIGATION OF VIBRATIONS AND STATISTICAL ANALYSIS IN MILLING OF AISI 1050 STEEL WITH CARBIDE TOOLS

ABSTRACT

In this study, the effects of machining parameters on the vibrations which occur in machine tool, cutting forces, workpiece surface roughness are investigated in the milling operations. In the experiments, 132, 200, 308 m/min cutting speed, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 mm/tooth feed rate, 1, 1.5 mm cutting depth and 1,2,4 cutting edge number are used as machining parameters. With these machining parameters, chip has removed on the AISI 1050 steel material which is dimension 100x50x20 mm. 72 test were carried out in this study. Values of vibrations, cutting forces and surface roughness have been measured during the machining operations. After, to determine the effects to results of machining parameters and in order to compose a mathematical model analysis of variance (ANOVA) and quadratic multiple regression have been performed. According to the experiment results, it has been seen that with the increasing of cutting edge number, cutting depth and feed rate, then all other results have also increased. While, increasing of cutting speed is affecting vibration acceleration level negatively, it gives a positive effect to cutting force and surface quality. Increasing of vibration acceleration levels has caused the rising of surface roughness. As a result, it has been defined that vibration has a negative effect on the surface roughness.

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

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

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 tezgâhında 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, tezgâhın mekanik veya tezgâh tespitinden gelen titreşimlerden farklıdır. Çünkü bu titreşim direkt olarak tezgâh parametreleri ve kesme şartlarına bağlıdır. Tezgâhın çalışma şartlarına bağlı olarak kesme kuvveti değerlerinde meydana gelen ani değişiklikler, birim zamanda kaldırılan talaş miktarı, simetrik ve asimetric kesme şartlarına bağlı olarak titreşim genliğinde de değişime sebep olur. Bunun sonucu olarak bozuk bir işleme kalitesi elde edilir. 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 [1-4]. Takım tezgâhlarının monte edildiği zeminin titreşimleri ve yüzey kalitesini etkilediği belirtilmiş, takım tezgâhlarında oluşan titreşimlerin kontrol edilebilmesi, kesme parametreleri [4-9] ve kesici takım ile iş parçası arasındaki pozisyonun durumu ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür [8-10]. Ayrıca frezeleme işlemleri esnasında oluşan titreşimleri azaltmak için titreşim sönmüleyicilerin etkili olduğu belirtilmiştir [11-14]. Araştırmacıların frezeleme işlemleri esnasında meydana gelen titreşimleri azaltmak için geliştirdikleri sistemlerin, oluşan titreşim ivme seviyelerinde önemli miktarlarda azalmaya neden olduğu görülmüştür [14-17]. Takım tezgâhlarındaki hareketli makine parçalarından ve tezgâhların oturduğu zeminden gelen bazı istenmeyen dış etkilerin oluşturduğu kuvvetler, tezgâhın bütünlüğünden dolayı kesici takım ucunda titreşim olarak kendini göstermektedir [17-21]. 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 [21-27]. Kontrolsüz olarak oluşan bu titreşimler, iş parçası yüzey kalitesi, kesici takım aşınması ve işleme performansına olumsuz etki etmektedir [27-29]. Ayrıca takım tezgâhlarındaki diğer etkenlerin (yataklar, miller, başlıklar vb.), etkilerini belirlemek amacı ile geliştirilen çeşitli modellerin simülasyonları yapılarak titreşim değerleri üzerindeki etkileri görülmüştür [30-32]. Takım tezgâhı ile talaş kaldırma işlemleri esnasında meydana gelen ve kontrol

edilemeyen titreşimlerin, iş parçasının ölçü ve yüzey tamlıklarının bozulmasına, kesici takım ömrünün kısalmasına, takım tezgâhı hassasiyetinin zarar görmesine neden olduğu görülmüştür. Ancak işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesici diş sayısı) takım tezgâhı üzerine etkileyen titreşim ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiye ve ortaya çıkan sonuçların modellenmesi ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada ise, freze takım tezgâhı ile talaş kaldırma işlemi esnasında, işleme parametrelerinde (kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesici uç sayısı) değişiklik yapılarak, işleme parametreleri ile takım tezgâhında oluşan kesme kuvveti, titreşim seviyeleri ve iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda işleme parametrelerinin takım tezgâhı titreşimine, kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülük değerlerine etki edip etmediği Minitab 16.0 paket programı yardımıyla varyans analizi (ANOVA) testleri yapılarak değerlendirilmiş ve ikinci dereceden çoklu regresyon analiziyle matematiksel modeller oluşturulmuştur.

2. MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1 Deneysel Malzemesi ve Ekipmanlar (Experimental Material and Equipments)

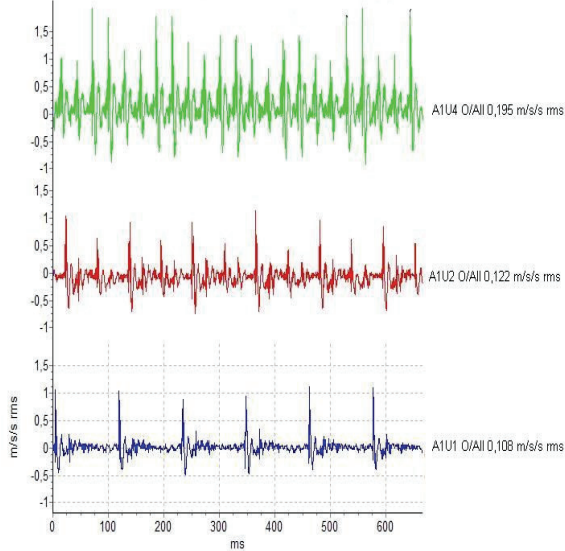
Deneylerde, deney malzemesi olarak imalat sanayisinde geniş kullanım alanı olan AISI 1050 karbon çeliği kullanılmıştır. Bu malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir. Ham deney malzemesi 100x50x20 mm boyutlarındadır. Malzemenin düzlem yüzeyi, dış yüzey tabaka sertleşmesi ihtimaline karşılık 0,5 mm talaş derinliğinde freze tezgâhında yüzey frezeleme işlemine tabi tutulup ardından taşlama işlemi gerçekleştirilmiş ve dış yüzeydeki olumsuzluklar ortadan kaldırılmış böylece deney numuneleri, deneyler için hazır hale gelmiştir.

Tablo 1. AISI 1050 çelik malzemenin kimyasal (%) özellikler (Chemical (%) properties of AISI 1050 steel of material)

%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

Deneylerde kullanılan numuneler FANUC kontrol ünitesine sahip “Johnford VMC-550” sanayi tipi CNC freze tezgâhında işlenmiştir. Talaş kaldırma esnasında titreşim seviyelerinin ölçülmesinde 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 (Şekil 1). Titreşim sensörü (ivmemetre), dinamometre üzerine tespit

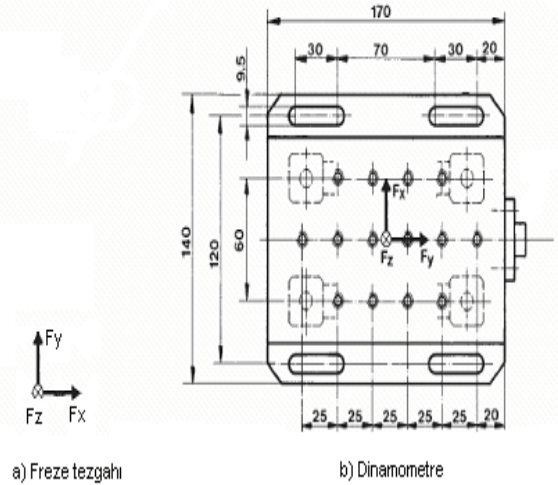
edilen iş parçasına kesme yönü doğrultusunda miknatıslanmış ve her deney için aynı noktadan kesme yönündeki titreşim ivme seviyeleri alınmıştır. Titreşimler tek yönlü olarak ölçülmüştür. Titreşim ivme seviyeleri (RMS) her deneyde ayrı ayrı ölçülmüştür.



Şekil 1. Titreşim ivme seviyesinin ölçümü (Measure the level of vibration acceleration)

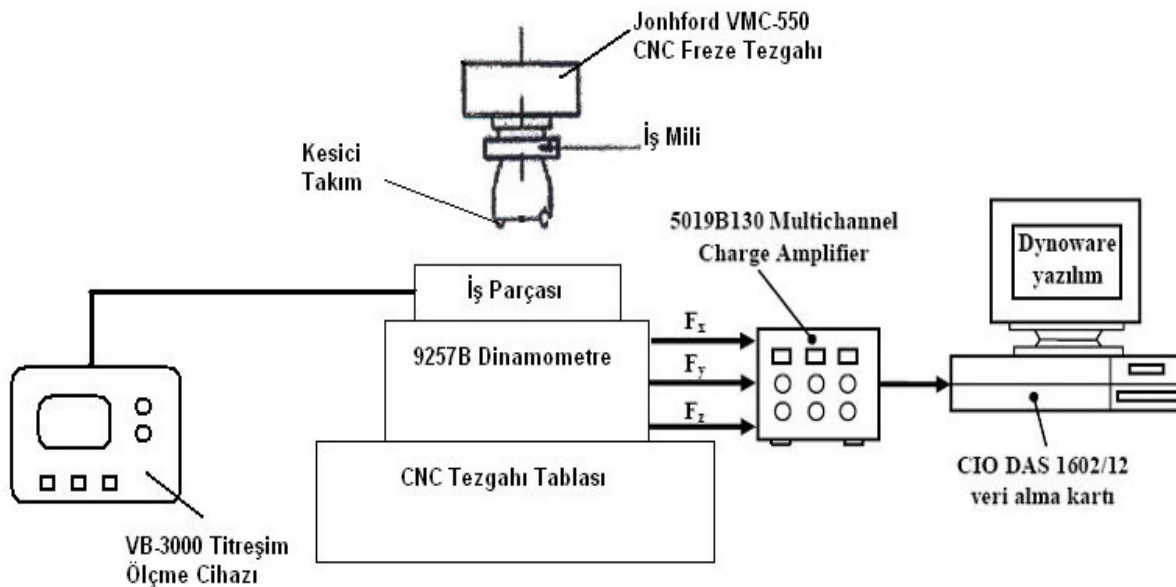
Deneylerde kuvvet ölçme cihazı olarak KİSTLER 9257B tipi dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre ve freze tezgâhı üzerindeki kuvvet yönleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Kesme işlemi sonunda kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerleri esas alınarak, ortalama F_x , F_y , F_z kuvvetleri belirlenmiştir. Değerlendirme aşamasında, tüm deneylerde en yüksek kuvvet değeri olan, freze tezgâhına göre F_x yönündeki kesme kuvveti bileşeni değerleri esas alınmıştır. Dinamometrenin tezgâha

bağlantısı ve deney düzeneği şematik olarak Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 2. Dinamometre ve freze tezgâhı üzerindeki F_x , F_y , F_z kuvvet yönleri (F_x , F_y , F_z of force directions on dynamometer, and milling machine)

Deneyler 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 değer ortalaması alınmıştır. 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 Tablo 2’de özetlenmiştir.



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi (Schematic display of the experiment mechanism)

Tablo 2. Deneilerde kullanılan işleme parametreleri (Machining Parameters which are used in the experiments)

Kesme derinliği, a mm	İlerleme miktarı, f mm/tooth	Kesme hızı, V m/min	Kesici uç sayısı, z Adet
1	0,05	132	1
1,5	0,1	220	2
	0,15	308	4
	0,20		

Deneiler ISO 8688-1 ve 8688-2'de belirtilen deney şartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiş ve deneilerde Bering marka TPKN 2204 PDR PK6030 TiN kaplı karbür kesici uç ile Takımsaş marka FK2017 0080 takım tutucu kullanılmıştır.

2.2 Deneilerin Yapılışı (Making of Experiments)

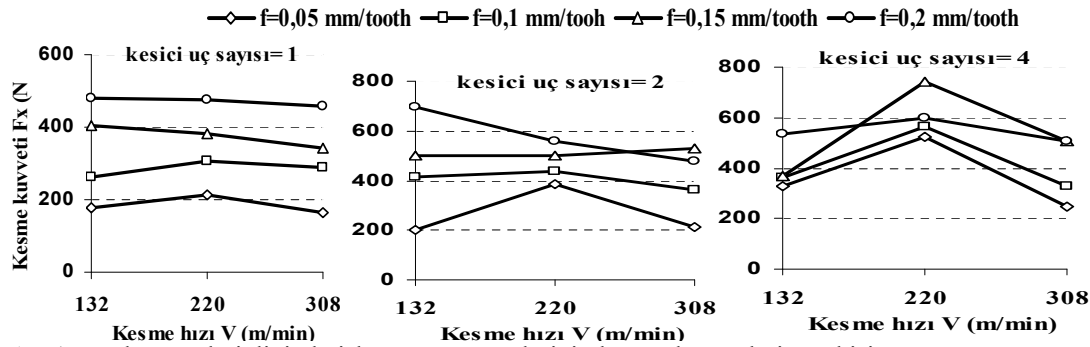
Deney düzeneği Şekil 3'de belirtilen deney düzeneğine uygun olarak kurulmuştur. KİSTLER 9257B kuvvet ölçüm cihazı freze tezgâhı tablasına bir komparatör yardımı ile paralel ve rijit bir şekilde monte edilmiştir. Daha sonra dinamometre üzerine alyan başlı vida yardımı ile daha önceden deneilerde kullanılmak üzere hazırlanan AISI 1050 çelik iş parçası bağlanmış ve iş parçasının üzerine ise VB 3000 titreşim ölçme cihazının miknatıslanma

özelliğine sahip titreşim ölçme sensörü miknatıslanmıştır. CNC freze tezgâhında, 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 tezgâhının kuvvet ve titreşim ivme seviyeleri kayıt edilmiştir. Daha sonra yukarıda verilen işleme parametrelerine göre iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneilerde 100x50x20 mm boyutlarında 72 adet AISI 1050 deney numunesi kullanılmıştır. Her bir işlem sırasında kesme kuvvetleri, titreşim ivme seviyeleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deneilerde her bir işlem için ayrı kesici takım kullanılarak toplam 72 adet deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

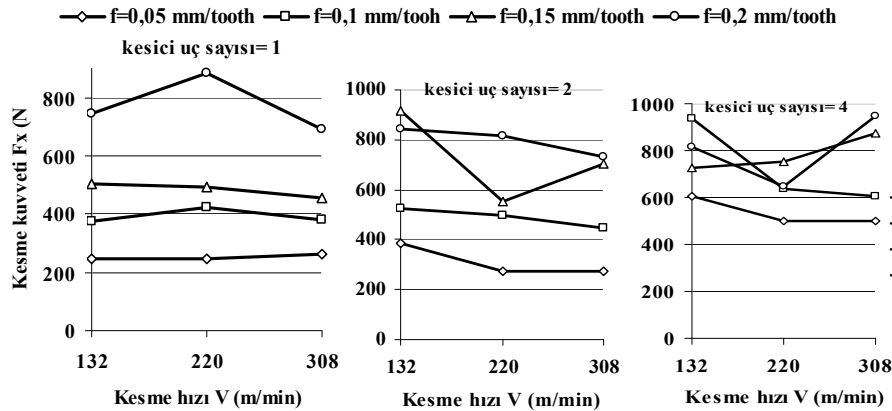
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1 Kesme Kuvveti Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of Results of Cutting Force)

Kesme hızlarının artması ile kesme kuvvetlerinin azaldığı bilinmektedir. Şekil 4a ve Şekil 4b incelendiğinde 1, 2 ve 4 adet kesici uç ile yapılan deneilerde kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak



a) 1 mm kesme derinliğinde işleme parametrelerinin kesme kuvvetlerine etkisi (The effect of machining parameters to the cutting forces at the 1 mm cutting depth)



b) 1,5 mm kesme derinliğinde işleme parametrelerinin kesme kuvvetlerine etkisi (The effect of machining parameters to the cutting forces at the 1,5 mm cutting depth)

Şekil 4. İşleme parametrelerinin kesme kuvvetlerine etkisi (The effects of machining parameters to the cutting forces)

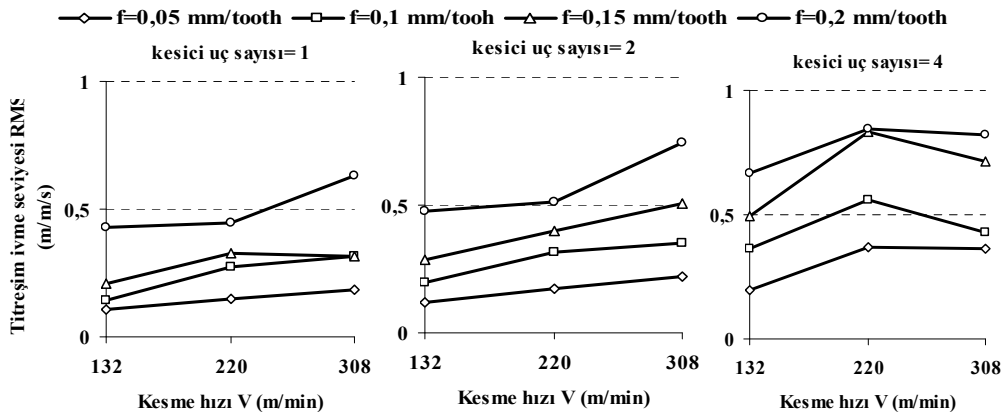
kesme kuvvetlerinin 220 m/min kesme hızında yükseldiği ve artan kesme hızı ile kuvvetlerin düşüşe geçtiği görülmektedir. Bu durum kesme bölgesinde iş parçası ile kesici uç arasında oluşan ısı enerjisi ile açıklanabilir [33]. Kesme hızlarının artması ile kesme bölgesinde oluşan ısı belli bir noktadan sonra daha hızlı artmış ve böylece malzeme daha kolay işlenebilir hale gelerek kesme kuvvetleri azalmıştır. İlerleme hızı ve kesici uç sayısının artışı kesme kuvvetini arttırmıştır. Uç sayısının artışı kesicinin birim zamanda aldığı yolu da arttırmaktadır. Bu artış ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak oluşan “talaş kesit alanı”nın kesme kuvvetini arttıran en önemli faktör oluşu ile açıklanabilir [28, 34, 35].

Literatür araştırmaları esnasında, kesme derinliklerinin sistemde oluşan kesme kuvvetlerini, titreşim ivme seviyelerini ve yüzey pürüzlülük değerlerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Literatür araştırması esnasında karşılaşılan bu duruma paralel olarak Şekil 4a ve Şekil 4b’de görüleceği üzere yapılan deneyler ile kesme derinliğinin sistemde oluşan kesme kuvvetlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Şekil 4a ve Şekil 4b incelendiğinde 132 m/min kesme hızı ve 1, 2 ve 4 adet kesici uç ile yapılan deneylerde

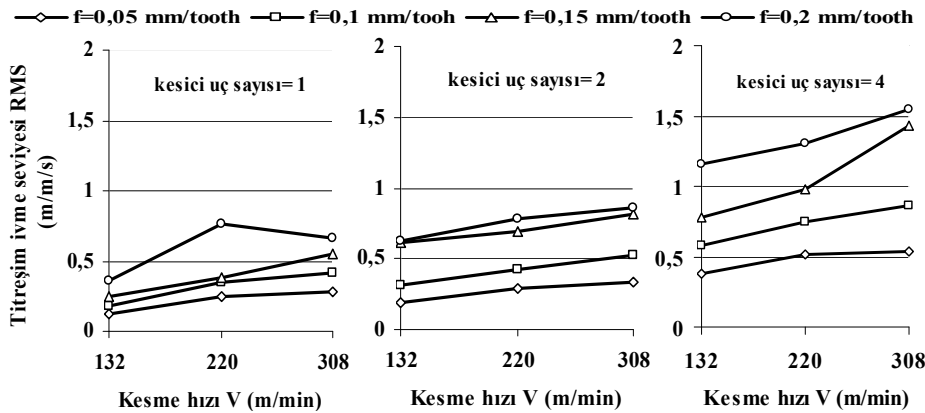
kesme derinliğinin artması ile kesme kuvvetlerinin artmasına paralel olarak kesici uç sayısı ve ilerleme miktarı arttıkça da sistemdeki kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Kesme derinliğinin artması birim zamanda kaldırılan talaş miktarının artmasına neden olmaktadır. Birim zamanda kaldırılan talaş miktarının artması ise sistemin ihtiyaç duyduğu kuvvet gereksinimlerinin artmasına neden olmuştur.

3.2 Titreşim İvme Seviyesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of Results of Vibration Acceleration Level)

Kesme hızlarının artması ile kesici takımın kendi ekseninde dönmesinden kaynaklanan radyal, aksel ve teğetsel kuvvetler sistemdeki titreşim ivme seviyelerini arttırmıştır. Şekil 5a ve Şekil 5b 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 arttırmıştır. Bu durumun sebebi ise artan kesme hızları ile kesici takım ile iş parçası arasında birim zamanda meydana gelen sürtünmenin artması ve boşta geçen zamanın



a) 1 mm kesme derinliğinde işleme parametrelerinin titreşim ivme seviyesine etkisi (The effect of machining parameters to the vibration acceleration level at the 1 mm cutting depth)



b) 1,5 mm kesme derinliğinde işleme parametrelerinin titreşim ivme seviyesine etkisi (The effect of machining parameters to the vibration acceleration level at the 1,5 mm cutting depth)

Şekil 5. İşleme parametrelerinin titreşim ivme seviyelerine etkisi (The effects of machining parameters to the vibration acceleration levels)

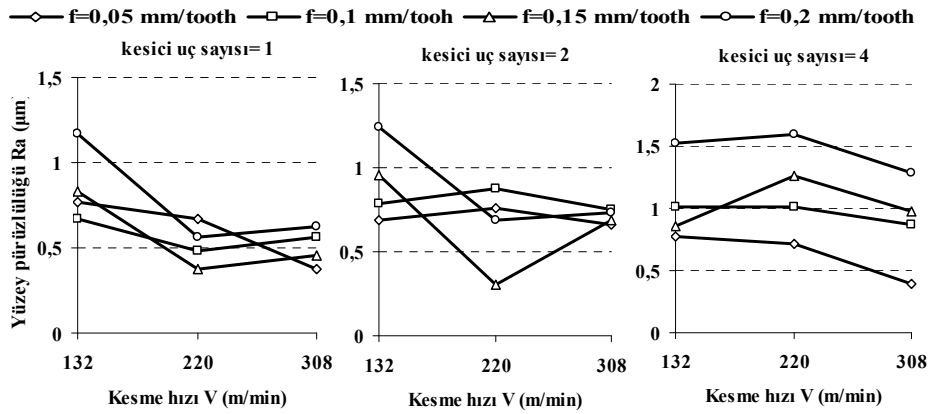
azalması olarak yorumlanmıştır. Şekil 5a ve Şekil 5b birlikte değerlendirildiğinde ilerleme miktarlarının artması ile titreşim ivme seviyelerinde bir artış olduğu görülmektedir. Her üç kesme hızında da ilerleme miktarlarının artması titreşim ivme seviyelerini arttırmıştır. Bu artış ilerleme miktarlarının artması ile takım tezgâhının 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 5a ve Şekil 5b 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 ve 4 adet kesici diş sayısı ile yapılan deneylerde, kesici diş sayısının artması ile titreşim ivme seviyelerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Kesici uç sayısının artışı, malzeme ve kesici takım arasında

birim zamandaki teması da arttırmıştır. Bu artış birim zamanda oluşan kesme frekansını ve buna bağlı olarak oluşan sürtünmeyi de artırarak titreşim ivme seviyesinin artmasına neden olmuştur.

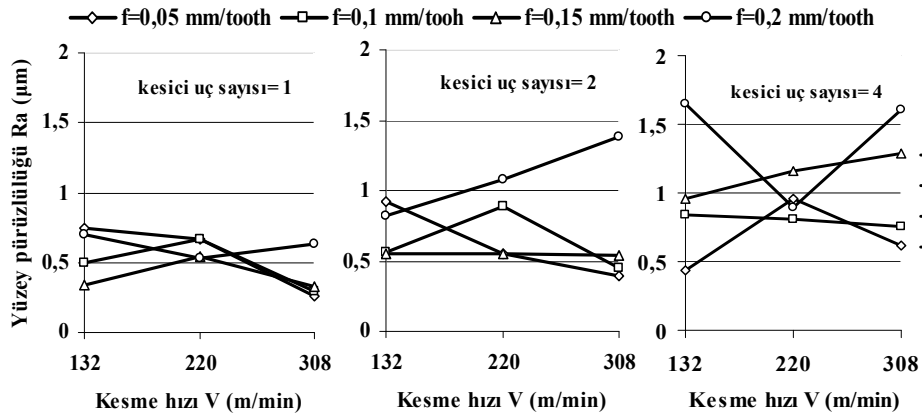
Yine kesme derinliğinin artması, birim zamanda kesici diş başına düşen talaş miktarını artırarak kesici takım ile iş parçası malzemesi arasındaki temas alanının genişlemesine ve bu durumun sonucu olarak da Şekil 5a ve Şekil 5b' de görüldüğü gibi sistemdeki titreşim ivme seviyelerinin yükselmesine neden olmuştur.

3.3 Yüzey Kalitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of Results of Surface Quality)

Frezeleme işlemleri esnasında yüksek kesme hızları ve düşük ilerleme oranlarıyla birlikte kesici takıma birim zamanda düşen talaş miktarının azalacağı ve bu azalmanın da yüzey kalitesinde iyileşmeye neden olacağı bilinmektedir [36]. Nitekim Şekil 6a ve Şekil 6b'de kesme hızı artışı ve ilerleme oranının



a) 1 mm kesme derinliğinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (The effect of machining parameters to the surface roughness at the 1 mm cutting)



b) 1,5 mm kesme derinliğinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (The effect of machining parameters to the surface roughness at the 1,5 mm cutting depth)

Şekil 6. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (The effects of machining parameters to the surface roughness)

azalmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinde bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Fakat kesici uç sayısı=2, $f=0,2$ mm/tooth ve kesici uç sayısı=4, $f=0,15$ mm/tooth deney şartlarında bu bilgilerin aksine yüzey pürüzlülük sonuçları elde edilmiştir. Kesme hızı artışı aynı zamanda takım aşınmasını da arttırmaktadır. Kesici takımın aşınma miktarındaki artış talaş kaldırma esnasında işlenen yüzeyin bozulmasına neden olabilmektedir [37]. Ayrıca artan takım aşınması titreşim genliğini de arttırmakta [4] bu da yüzey pürüzlülüğünü olumsuz olarak etkilemektedir. 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 değerleri de artmıştır.

Kesme derinliğinin yüzey kalitesini etkilediği bilinmektedir. Talaş derinliğinin artması ile kesici ucun birim zamanda kaldıracağı talaş miktarının artmasından dolayı yüzey pürüzlülük değerlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 6a ve Şekil 6b'de verilmiştir. Şekil 6a ve Şekil 6b'de görüldüğü gibi kesme derinlikleri yüzey kalitesini önemli miktarlarda etkilemektedir. Şekil 6b'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. 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 açıklanabilir.

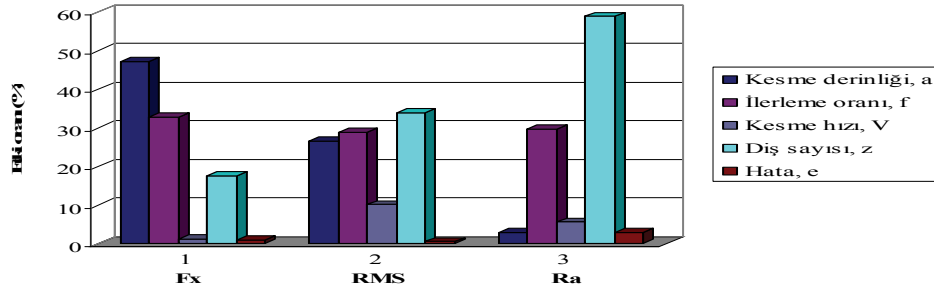
3.4 Deneysel Sonuçlarının İstatistiksel Analizi ve Matematiksel Modeller (The Statistical of Analysis of Experiment Results and Mathematical Models)

Bu bölümde, deneysel sonuçlarının (kesme kuvveti, titreşim ivme seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü), işleme parametrelerinden (kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı, kesici uç sayısı) hangi oranlarda etkilendiği araştırılmıştır. Bunun için Minitab 16.0 paket programı yardımıyla ANOVA (Varyans Analizi) analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 3 ve Şekil 7'de özetlenmiştir. Tablo 3'de verilen varyans analizi sonuçlarına göre deneylerde kesme kuvvetinin %47,3 ile en çok kesme derinliğinden etkilendiği görülmüştür. Daha sonra kesme kuvvetinin %32,9 ile ilerleme, %17,6 ile kesici diş sayısı ve %1,3 ile kesme hızından etkilendiği tespit edilmiştir. Kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisinin anlamsız olduğu ($P<0,05$) varyans analizinde ortaya çıkmıştır. Deneylerde titreşim ivme seviyesinin %34 ile en çok kesme derinliğinden etkilendiği bulunmuştur. Daha sonra titreşim ivme seviyesinin %28,8 ile ilerleme hızı, %26,6 ile kesme derinliği ve %10,1 ile kesme hızından etkilendiği görülmüştür. Ayrıca tüm işleme parametrelerinin titreşim seviyesi üzerindeki etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Deneylerde yüzey pürüzlülüğünün ise %58,9 ile en çok kesici diş sayısından etkilendiği görülmüştür. Daha sonra yüzey kalitesinin, %29,7 ile ilerleme hızı, %5,6 ile kesme hızı ve %2,9 ile kesme derinliğinden etkilendiği tespit edilmiştir. Kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin $P<0,05$ anlamlılık düzeyinde önemsiz olduğu varyans analizi testiyle ortaya çıkmıştır.

Tablo 3. Varyans Analizi (ANOVA) (Analysis of Variance)

Faktörler	SD	KT	KO	F Değeri	P	YD	
Kesme Kuvveti (Fx)							
a	Kesme derinliği	1	568889	568889	54,56	0,000	%47,3
f	İlerleme hızı	3	1185301	395100	37,90	0,000	%32,9
V	Kesme hızı	2	32416	16208	1,55	0,219	%1,3
z	Kesici diş sayısı	2	422371	211186	20,26	0,000	%17,6
	Hata	63	656836	10426	-	-	%0,9
	Toplam	71	2865814	-	-	-	100
Titreşim İvme Seviyesi (RMS)							
a	Kesme derinliği	1	0,76364	0,76364	53,57	0,000	%26,6
f	İlerleme hızı	3	2,47972	0,82657	57,99	0,000	%28,8
V	Kesme hızı	2	0,58157	0,29079	20,40	0,000	%10,1
z	Kesici diş sayısı	2	1,95408	0,97704	68,54	0,000	%34
	Hata	63	0,89805	0,01425	-	-	%0,5
	Toplam	71	6,67707	-	-	-	%100
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)							
a	Kesme derinliği	1	0,05791	0,05791	1,15	0,288	%2,9
f	İlerleme hızı	3	1,76471	0,58824	11,64	0,000	%29,7
V	Kesme hızı	2	0,23622	0,11811	2,34	0,105	%5,6
z	Kesici diş sayısı	2	2,33728	1,16864	23,12	0,000	%58,9
	Hata	63	3,18408	0,05054	-	-	%2,9
	Toplam	71	7,58019	-	-	-	%100

SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması, P: Anlamlılık < 0,05, YD: Yüzde dağılımı



Şekil 7. ANOVA analizi sonuçlarının grafiksel gösterimi (The graphical representation of ANOVA analysis results)

Tablo 4’de kesme kuvveti modeli için yapılan ikinci dereceden çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen model sabiti ve değişkenlerin katsayılar tablosu verilmiştir. Geliştirilen istatistik modelin belirlilik katsayısı $R^2=0,92$ olarak bulunmuştur. Başka bir deyişle bağımsız değişken ve bu değişkenlerin etkileşimlerinin, kesme kuvvetini açıklama oranı %92 seviyesinde tespit edilmiştir. Kesme kuvveti için geliştirilen model Denklem 1’de verilmiştir. Kesme kuvveti modelinde en etkili değişkenlerin $P<0,05$ anlamlılık düzeyinde $a*f$, $a*z$, $f*z$ parametrelerinin olduğu ortaya çıkmıştır.

$$F_x = -274,005 + 2075,56 * a * f + 71,2381 * a * z - 397,143 * f * z \quad (1)$$

Tablo 4. Kesme kuvveti için model sabiti ve değişkenlerin katsayıları tablosu (Table of model constant and variable of coefficients for cutting force)

Faktör	Katsayı	SE Katsayı	T	P
Sabit	-274,01	306,25	-0,89	0,375
a	20,31	190,27	0,10672	0,915
f	1511,22	1640,11	0,92142	0,361
V	1,47	1,59	0,92	0,361
z	129,82	82,52	1,57	0,121
a*f	2075,56	783,42	2,65	0,010
a*V	-0,41	0,61	-0,67	0,503
a*z	71,24	35,11	2,03	0,047
a ²	0,00	0,00	0,0000	-
f*V	0,76	2,73	0,28	0,782
f*z	-397,14	157,03	-2,53	0,014
f ²	-4233,33	4379,46	-0,96663	0,338
V*z	0,03	0,12	0,22	0,828
V ²	-0,00	0,00	-1,03	0,307
z ²	-22,56	11,83	-1,90	0,061

Tablo 5’de titreşim ivme seviyesi için model sabiti ve değişkenlerin katsayılar tablosu verilmiştir. Geliştirilen istatistik modelin belirlilik katsayısı $R^2=0,951$ (%95,1) olarak bulunmuştur. Titreşim ivme seviyesi için geliştirilen model Denklem 2’de verilmiştir. Ayrıca titreşim ivme seviyesi modelinde en etkili değişkenlerin $P<0,05$ anlamlılık düzeyinde sabit değer ve a, f, z, a*f, a*V, a*z, f*V, f*z parametrelerinin olduğu görülmüştür.

$$RMS = 0,55100 - 0,57576 * a - 3,25964 * f - 0,25791 * z + 2,39244 * a * f + 0,00129 * a * V + 0,17326 * a * z + 0,00538 * f * V + 0,74214 * f * z \quad (2)$$

Tablo 5. Titreşim ivme seviyesi için model sabiti ve değişkenlerin katsayıları tablosu (Table of model constant and variable of coefficients for vibration acceleration level)

Faktör	Katsayı	SE Katsayı	T	P
Sabit	0,55100	0,24998	2,20	0,031
a	-0,57576	0,15528	-3,70798	0,000
f	-3,25964	1,33849	-2,43531	0,018
V	0,00064	0,00130	0,49248	0,624
z	-0,25791	0,06735	-3,82949	0,000
a*f	2,39244	0,63935	3,74199	0,000
a*V	0,00129	0,00050	2,59861	0,012
a*z	0,17326	0,02866	6,04619	0,000
a ²	0,00000	0,00000	0,00000	-
f*V	0,00538	0,00222	2,41707	0,019
f*z	0,74214	0,12816	5,79097	0,000
f ²	2,68333	3,57408	0,75078	0,456
V*z	0,00014	0,00010	1,36867	0,176
V ²	-0,00000	0,00000	-1,87401	0,066
z ²	0,00981	0,00965	1,01600	0,314

Tablo 6’da yüzey pürüzlülüğü için model sabiti ve değişkenlerin katsayılar tablosu verilmiştir. Geliştirilen istatistik modelin belirlilik katsayısı $R^2=0,89$ (%89) olarak bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen model Denklem 3’de verilmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü modelinde en etkili değişkenlerin $P<0,05$ anlamlılık düzeyinde sabit değer ve a, f, f*z, f² parametrelerinin olduğu görülmüştür.

$$R_a = 2,36987 - 0,802403 * a - 8,95536 * f + 1,49795 * f * z + 24,2 * f^2 \quad (3)$$

Tablo 6. Yüzey pürüzlülüğü için model sabiti ve değişkenlerin katsayıları tablosu (Table of model constant and variable of coefficients for surface roughness)

Faktör	Katsayı	SE Katsayı	T	P
Sabit	2,3699	0,64904	3,65	0,001
a	-0,8024	0,40324	-1,98989	0,049
f	-8,9554	3,47593	-2,57639	0,013
V	0,0054	0,00338	-1,60520	0,114
z	-0,1422	0,17490	-0,81331	0,419
a*f	0,5422	1,66033	0,32657	0,745
a*V	0,0023	0,00129	1,77333	0,081
a*z	0,0502	0,07442	0,67508	0,502
a ²	0,000	0,000	0,000	-
f*V	0,00504	0,00578	0,94255	0,350
f*z	1,4980	0,33281	4,50097	0,000
f ²	24,2000	9,28153	2,60733	0,012
V*z	0,0004	0,00026	1,65008	0,104
V ²	-0,00000	0,00001	0,03090	0,975
z ²	-0,0112	0,02506	-0,44665	0,657

Her üç istatistiksel modelin uygunluğu varyans analizi kullanılarak test edilmiş ve modellerin P değerine bağlı olarak %95 güven aralığı seviyesinde uygun ve kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSION)

Bu çalışmada elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Kesme kuvvetinin en düşük olduğu deney 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 olduğu görülmüştür.
- Kesme kuvvetini en çok etkileyen işleme parametreleri sırasıyla kesme derinliği, ilerleme hızı ve kesici diş sayısı olmuştur.
- 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. Çalışmada titreşim ivme seviyesini en çok etkileyen işleme parametreleri sırasıyla, kesici uç diş sayısı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme hızı olduğu bulunmuştur.
- İlerleme miktarları açısından oluşan titreşim ivme seviyeleri dikkate alındığında ilerleme miktarlarındaki artışlar titreşim ivme seviyelerini olumsuz yönde etkilemiştir.
- Kesme hızları, kesme derinlikleri ve kesici uç sayısının artması ile titreşim ivme seviyelerinde de artış olduğu görülmüştür.
- Bu çalışmada yapılan yüzey pürüzlülük değerlendirmelerinde en düşük yüzey pürüzlülük değerlerine 308 m/min kesme hızı ve 0.05 mm/tooth ilerleme miktarlarında ulaşılmıştır. İlerleme miktarlarındaki artış yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli miktarda artışa yani yüzey kalitesinde azalmaya neden olmuştur. Yüzey pürüzlüğünü en çok etkileyen işleme parametreleri ise sırasıyla kesici diş sayısı ve ilerleme hızı olmuştur.
- Kesme hızlarının artması ve düşük ilerleme miktarları ile yüzey pürüzlülük değerlerinde bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir.
- Artan titreşim ivme seviyeleri, yüzey pürüzlülük değerlerinin de artmasına neden olmuştur. Bu durumun nedeni ise titreşim frekansları ile kesme frekanslarının doğru orantılı olarak artması ya da

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

- Kesici uç sayısının artması ile yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır. Bu durum kesici uç sayısının artması ile kesici takım ve iş parçası arasında oluşan titreşim frekansına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin artması olarak açıklanmıştır.
- Kesme kuvveti, titreşim ivme seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen matematiksel modellerin %95 güven aralığı seviyesinde olduğu ve farklı işleme parametreleri kullanılarak yeni sonuçların ek bir zamana ve maliyete ihtiyaç kalmadan elde edilebileceği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yılmaz, V., “Frezeleme Uygulamalarında İşleme Parametrelerinin Sebep Olduğu Titreşimlerin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
2. Kalpakjian, S., “Manufacturing Processes for Engineering Materials Second Edition”, Addison, 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”, **Journal of Materials 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”, **2DT&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 nonlineer analizi ve tirlamanın 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. Choudhury, S. K., Sharath, M.S., “On line control of machine tool vibration during turning”, **Journal of Materials Processing Technology**, 47:251, 1995.

10. 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.
11. Rashid, A., Nicolescu, M. C., "Design and implementation of tuned viscoelastic dampers for vibration control in milling", **International Journal of Machine Tools Manufacture**, 48:1036-1053, 2008.
12. Tatar, K., Gren, P., "Measurement of milling tool vibrations during cutting during laser vibrometry", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 48:380-387, 2008.
13. 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.
14. 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.
15. Zheng, L., Liang, S. Y., "Identitication of cutter axis tilt in end milling", **ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering**, 119: 178-185, 1997.
16. Tobias. S. A., "Machine-tool vibration", **Blackie Glasgow**, 9: 217-238, 1965.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Doolan, P., Burney, F. A., Wu, S. M., "Computer Design of A multipurpose Minimum Vibration Face Milling Cutter", **International Journal of Machine Tool Design Research**, 16:187-192, 1976.
21. 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.
22. Ko, T. J., Cho, D. W., "Cutting state monitoring in milling by a neural network", **International Journal of Machine Tools Manufacture**, 34 (5): 659-676, 1994.
23. Hashimoto, M., Marui, E., Kato, S., "Experimental resarch on cutting force variation during primary chatter vibration occuring in plain milling operation", **International Journal of Machine Tools Manufacture**, 36 (2): 183-201, 1996.
24. Lang, J. L., Tarnag, Y. S., "A study of the active vibration control of a cutting tool", **Journal Materials Processing Tech**, 95: 78-82, 1999.
25. Özcan, E., "CNC tezgahlarda kullanılan kesici takımlarda takım aşınmasının kesme performansına dinamik etkileri", Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8-25, 2001.
26. 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.
27. Toh, C. K., "Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel", **Journal of Sound and Vibration**, 278:101-115, 2004.
28. 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.
29. 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 paralel boundaries", **Journal of Material Processing Technology**, 82: 61- 77, 1998.
30. 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.
31. 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.
32. 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.
33. Çiftçi, İ., "Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğünün tayini ders notları", Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük, 1-6, 2004.
34. Şeker, U., "Makine eğitimi ders notları", Gazi Üniversitesi, Ankara, 5-8, 2003.
35. Çakır, M. C., "Modern talaşlı imalatın esasları", Ceylan Matbaacılık, Bursa, 1999.
36. Bouzid Sai, W., Ben Salah, N., Lebrun, J. L., "Influence of machinig by finish milling on surface characteristics", **Journal Machine Tools and Manufacturing**, 41: 443-450, 2001.
37. Özçatalbaş, Y., "Kesici takım aşınması ve iş malzemesi mekanik özelliklerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisi", **Politeknik**, 4:47-52, 2002.