

## FREZELEME UYGULAMALARINDA KESİCİ UÇ SAYISININ TİTREŞİM VE KESME KUVVETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Volkan YILMAZ<sup>a</sup>, Hakan DİLİPAK<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü,  
Tel:03122028600 [volkan@gazi.edu.tr](mailto:volkan@gazi.edu.tr) ANKARA/TÜRKİYE

<sup>b</sup> Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü,  
Tel:03122028677 [hdilipak@gazi.edu.tr](mailto:hdilipak@gazi.edu.tr) ANKARA/TÜRKİYE

### Özet

Bu çalışmada, frezeleme uygulamaları esnasında kullanılan kesici uç sayısına bağlı olarak farklılık gösteren, titreşim ve kesme kuvveti değerleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, deney numunesi olarak hazırlanmış 72 adet AISI 1050 paslanmaz çelik malzeme, 132 m/dk, 220 m/dk, 308 m/dk kesme hızları, 0,05 mm/diş, 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş, 0,2 mm/diş ilerleme miktarları, 1 ve 1,5 mm kesme derinlikleri ve 1, 2 ve 4 adet kesici uç sayıları kullanılarak frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. FANUC kontrol ünitesine sahip 'Johnford VMC-550' sanayi tipi CNC freze tezgâhında gerçekleştirilen frezeleme işlemleri esnasında meydana gelen titreşim değerleri, Commtest VB 3000 titreşim ölçme cihazı ile ve oluşan kesme kuvveti değerleri ise KİSTLER 9257B tipi dinamometre ile ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda, frezeleme işlemlerinde kullanılan kesici uç sayısının, titreşim ve kesme kuvveti değerlerini etkilediği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Titreşim, kesme kuvveti, frezeleme, kesici uç sayısı

### Giriş

Talaş kaldırma işlemlerinde göz önünde bulundurulacak temel faktörler arasında en düşük maliyet ve istenilen kalitede makine parçası elde etmek yer almaktadır. Bu iki unsur, işleme parametrelerine bağlı olarak doğrudan etkilenmektedir. İşleme parametreleri; takım tezgâhı ile talaş kaldırma işlemleri için gerekli olan kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kesici uç sayısı, vb. faktörleri kapsamaktadır. Her bir işleme parametresi, hem meydana gelen titreşimler ve hem de iş parçasının boyutsal tamlığı ve yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

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 açısıyla birlikte 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. Talaşlı imalat işlemleri esnasında oluşan titreşimler karmaşık bir yapıya sahiptir ve bu titreşimler genel olarak zorlamalı titreşim ve kendinden tahrikli titreşim olarak ikiye ayrılmaktadır [1]. Titreşimler meydana geldikleri takım tezgâhlarının rijitliklerine göre de farklılık göstermektedir [2]. Takım-iş parçası ara yüzeyinde fiziksel temasın varlığından ve takım tezgâhlarının hareketli elemanlarından (motor, dişli kutusu, kızak kayıt sistemleri vb.) kaynaklanan titreşimler, kesici uçta etkisini göstererek yüzey kalitesini ve işleme performansını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca kesici takım titreşimleri, işlenen parça yüzeyinde kötü yüzey kalitesi oluşmasına yol açmakta, ölçü tamlığına zarar vermekte, kesici takımın çabuk aşınmasına ve kırılmasına sebep olmakta ve daha da önemlisi takım tezgâhının hareket elemanlarının ömürlerini düşürmektedir [3-7]. Bu olumsuzlukların genel sonucu olarak, kesici takımda oluşan titreşimler, işlenen yüzeylerin kalitesini ve tezgâh verimini de olumsuz etkilemektedir [8]. Oluşan bu titreşimlerin en az seviyeye indirilmesi gerekli olduğundan, frezeleme çakısı üzerindeki diş aralıklarının değiştirilmesiyle titreşim seviyelerinin düşürüldüğü gözlenmiştir [9]. Ayrıca, işleme parametrelerinin değiştirilmesiyle, kesme işlemi esnasında meydana gelen BUE ile (talaş yapışmasının) yüzey kalitesi olumsuz yönde etkilenmiş ve kesici takıma etkiyen dinamik kuvvetler artmıştır [10].

İmalat sanayinde çok fazla kullanılan AISI 1050 sade karbonlu çelik iş parçasının freze tezgâhında değişik işleme parametreleri altında işlenmesi esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri ve titreşim değerlerinin belirlenmesi, işlenebilirlik açısından önemli görülmüştür. Frezeleme işlemi vuruntulu bir talaş kaldırma operasyonu olması dolayısıyla, titreşimlerin yüksek derecelerde olması normal karşılanmaktadır. Meydana gelen bu yüksek derecedeki titreşimler, doğal olarak birçok olumsuzluğu da beraberinde getirmektedir. Frezeleme işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ölçü tamlıkları, kesici takım ömürleri, yüzey pürüzlülük değerleri ve verimlilik açısından titreşimlerin etkisi göz önüne alınmalıdır. Yapılan bu çalışmada, frezeleme uygulamalarında kesici uç sayısının, kesme derinliğinin, ilerleme değişiminin ve kesme hızındaki artışın titreşim ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2. Malzeme ve Metot

Yapılan bu çalışmada, AISI 1050 sade karbonlu çelik malzemeler 100x50x20 mm boyutlarına getirilmiş, ardından taşlama işlemine tabi tutulmuş ve böylece dış yüzeyden kaynaklanan olumsuzluklar giderilmiştir. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir. Deneyler esnasında her bir deney için ayrı malzeme işlenmiştir.

Çizelge 1. AISI 1050 Deney malzemesinin kimyasal bileşimi

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

Deneyler ISO 8688-1 ve 8688-2'de belirtilen deney şartlarına uygun olarak Fanuc kontrol ünitesine sahip Johnford VMC-550 CNC freze tezgâhında gerçekleştirilmiş ve deneylerde Bering marka TPKN 2204 PDR PK6030 TiN kaplı karbür kesici uç (Resim 1) ile Takımsaş marka FKR 2017 0080 kodlu takım tutucu kullanılmıştır.



Resim 1. TPKN 2204 PDR PK6030 TiN kaplı karbür kesici uç

Deneyler esnasındaki titreşim frekans değerleri Commtest VB 3000 titreşim ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Titreşim ölçme cihazının teknik özellikleri Çizelge 2'de ve titreşim sensörünün (ivme metre) teknik özellikleri ise Çizelge 3'de verilmiştir. Titreşimler tek yönlü olarak ölçülmüştür. Titreşim ivme seviyeleri (RMS) her deneyde ayrı ayrı ölçülmüştür.

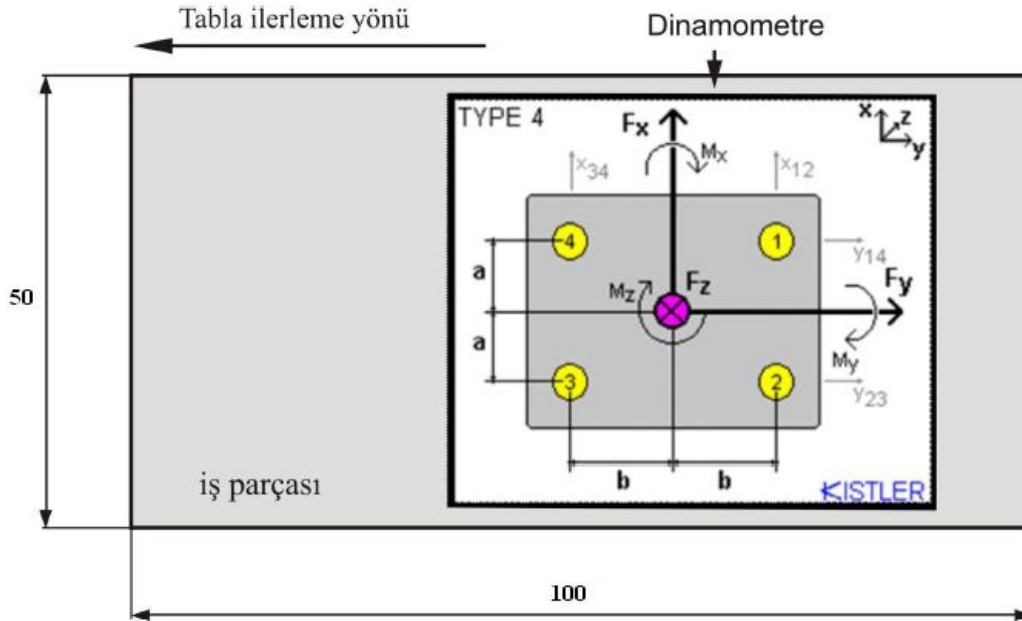
Çizelge 2. Commtest VB 3000 titreşim ölçme cihazının teknik özellikleri

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

Çizelge 3. Titreşim sensörü teknik özellikleri

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

Kesme işlemleri esnasında kuvvetler KISTLER 9257B tipi dinamometre kullanılarak elde edilmiştir. Dinamometre ve freze tezgâhı üzerindeki kuvvet yönleri Şekil 1'de, dinamometrenin teknik özellikleri ise Çizelge 4'de verilmiştir.

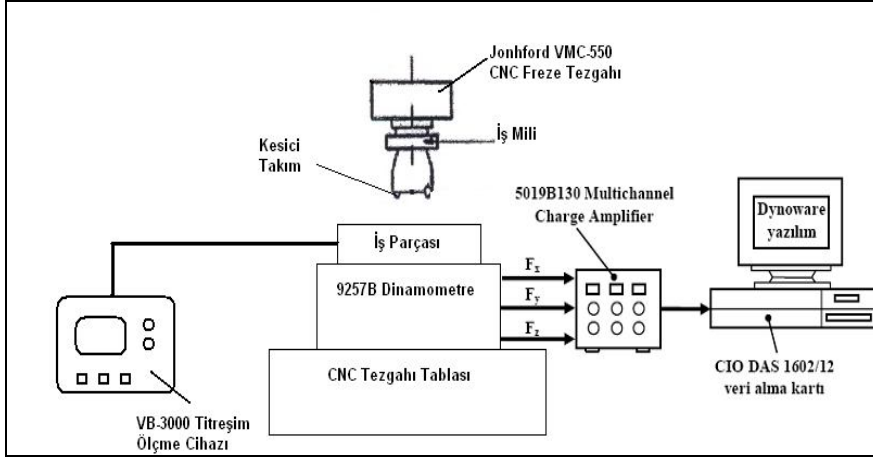


Şekil 1. Dinamometrenin pozitif yöndeki eksen ve moment yönleri

Çizelge 4. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri

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

Deneylerde kullanılan işleme parametreleri ise Çizelge 5'da yer almıştır. Gerçek deneylere geçilmeden önce çok sayıda deneme yapılmış ve deneylerin tamamı 3'er defa tekrar edilmiştir. Deney düzeneği Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi

Çizelge 5. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri

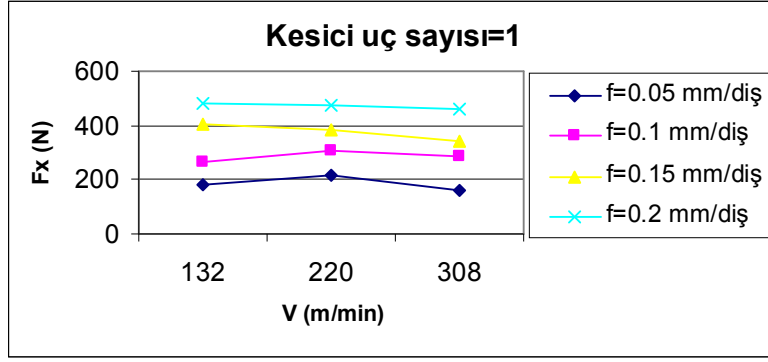
Kesme derinliği, a, mm	İlerleme miktarı, f, mm/diş	Kesme hızı, V, m/dk	Kesici uç sayısı, Z, Adet
1	0,05	132	1
1,5	0,1	220	2
	0,15	308	4
	0,20		

Deney düzeneği Şekil 2'de gösterildiği gibi kurulmuştur. KİSTLER 9257 B kuvvet ölçüm cihazı freze tezgâhı tablasına bir komperatör yardımı ile paralel ve rijit bir şekilde monte edilmiştir. Daha sonra dinamometre üzerine gömme başlı vida yardımı ile daha önceden deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan AISI 1050 çelik iş parçası bağlanılmış ve iş parçasının üzerine ise VB 3000 titreşim ölçme cihazının mıknatıslanma özelliğine sahip titreşim ölçme sensörü bağlanmıştır.

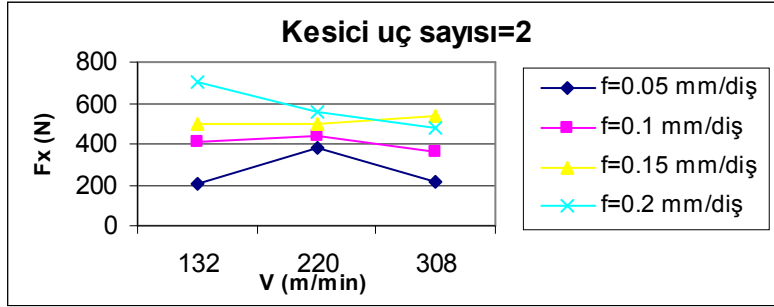
CNC freze tezgâhında işleme parametrelerinden olan kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği için gereken ayarlamalar yapılmış ve sistem hazır hale getirilmiştir. Deney düzeneği ilk başta yüksüz olarak çalıştırılmış ve sistem ayrıntılı bir şekilde kontrol edilmiş, kontrol işlemleri esnasında boş vaziyette çalışan freze takım tezgâhının kuvvet ve titreşim ivme seviyeleri kayıt altına alınmış, sistemin kalibrasyonu yapılmış ve daha sonra yukarıda verilen işleme parametrelerine göre iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Her bir işlem sırasında kesme kuvveti, titreşim ivme seviyeleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deneylerde her bir işlem için ayrı kesici takım kullanılarak toplam 216 adet deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

### 3. Deney Sonuçları Ve Tartışma

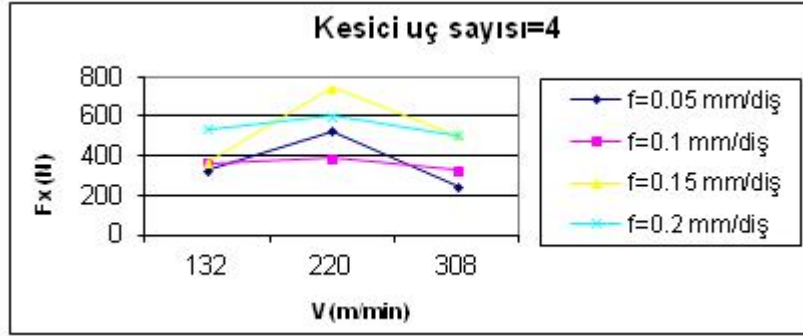
Deney sonuçlarının, farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvveti ( $F_x$ ) değerleri Şekil 3-Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 1 adet kesici uç ile kesme kuvvetlerindeki değişim



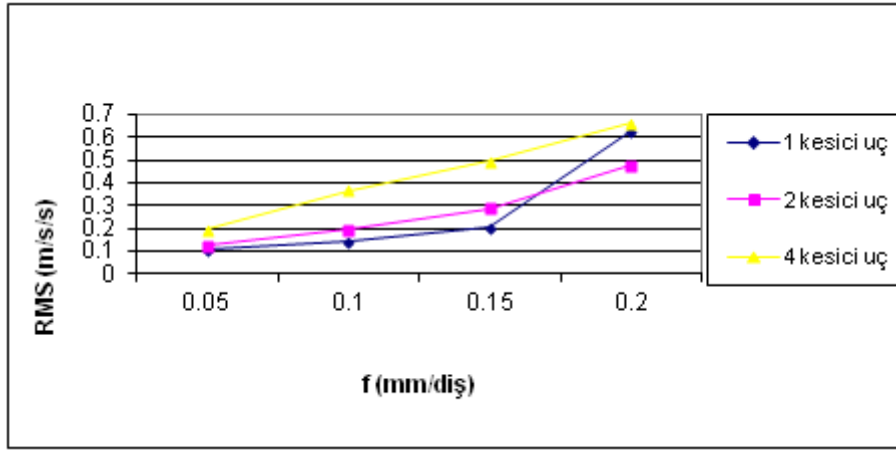
Şekil 4. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 2 adet kesici uç ile kesme kuvvetlerindeki değişim



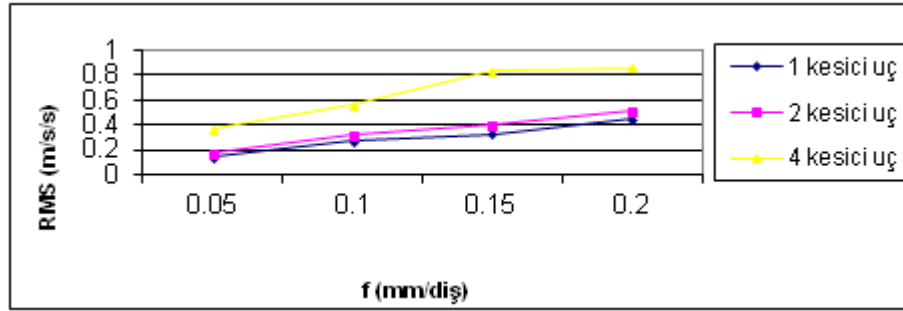
Şekil 5. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak 4 adet kesici uç ile kesme kuvvetlerindeki değişim

Kesme hızlarının artması ile kesme kuvvetlerini azaldığı bilinmektedir [8, 11, 12]. Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde 1 adet, 2 adet ve 4 adet kesici uç ile yapılan deneylerde kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetlerinin 220 m/dk kesme hızında yükseldiği ve artan kesme hızı ile kuvvetlerin düşüşe geçtiği görülmektedir. Yapılan işlemler esnasında kesme kuvvetlerinin işleme parametreleri ile freze çakısının kendi eksenini etrafında dönmesinden doğan radyal, aksenal ve tegetsel kuvvetlerden dolayı değiştiği gözlenmiştir. Bu durum kesme bölgesinde iş parçası ile kesici uç arasında oluşan ısı enerjisi ile açıklanabilir [13]. Kesme hızlarının artması ile kesme bölgesinde oluşan ısı artmış ve böylece malzeme daha kolay işlenebilir hale gelmiştir.

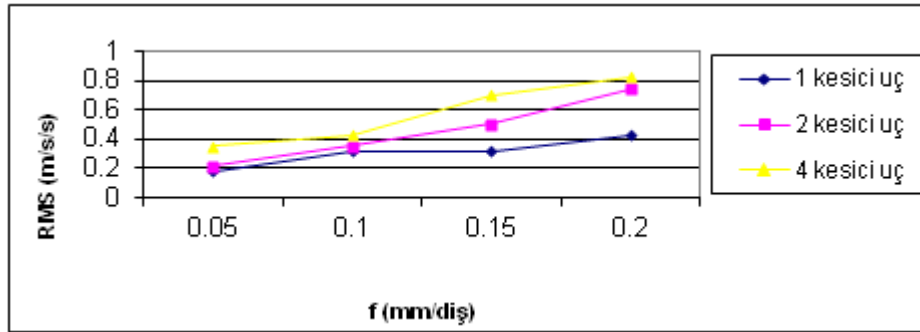
Frezeleme işlemlerinde kesici diş sayısının titreşim ivme seviyeleri üzerine etkileri Şekil 6 – Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 6. 132 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



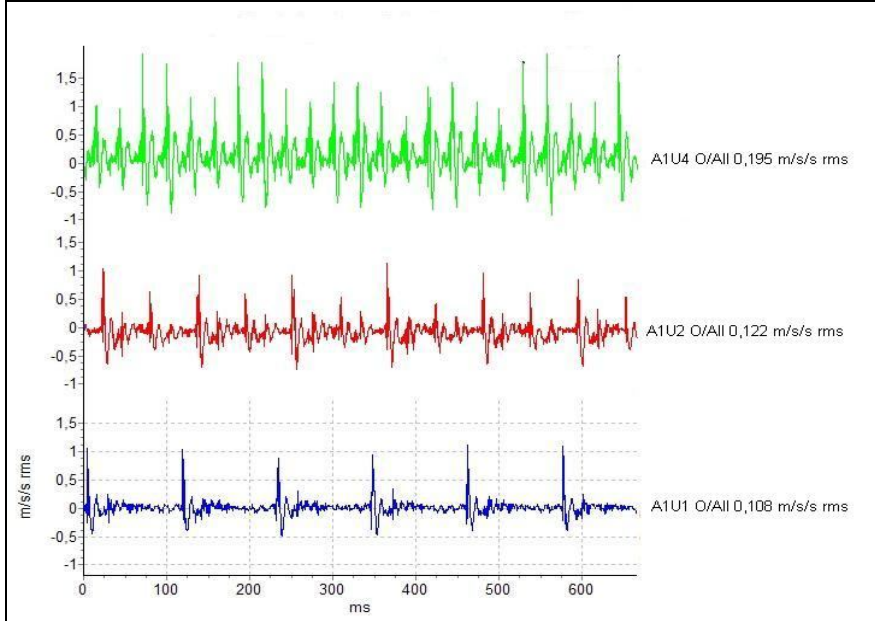
Şekil 7. 220 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim



Şekil 8. 308 m/dk kesme hızında ilerleme ve kesici uç sayısına bağlı olarak titreşim ivmesindeki değişim

Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8 kesici uç sayısına göre incelendiğinde kesici uç sayısının artması veya azalması durumunda titreşim ivme seviyelerinde değişiklik olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, 132 m/dk, 220 m/dk, 308 m/dk kesme hızı, 0,05 mm/diş, 0,1 mm/diş, 0,15 mm/diş, 0,2 mm/diş ilerleme, 1,0 mm, 1,5 mm kesme derinliği ve 1 adet, 2 adet, 4 adet kesici diş sayısı ile yapılan deneylerde, kesici diş sayısının artması ile titreşim ivme seviyelerinin de paralel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu artıştaki sebebinin ise, kesici diş sayısının artması ile kesici takım ve iş parçası malzemesi arasında oluşan kesme frekanslarının artmasıyla sistemdeki titreşim frekanslarının da artması olduğu düşünülmektedir. Kesici uç sayısının artması ile deney malzemesi ve kesici takım arasındaki temas uzunluğu artmaktadır ve bu artış sistemdeki kesme frekansı ile birlikte titreşim frekansını da

arttırmaktadır. Bununla birlikte, kesici uç sayısının artması ile titreşim (dalgaform) grafikleri de Şekil 9'da görüldüğü gibi karmaşık hale gelmektedir, yani; sistemde meydana gelen vurunular da artmaktadır. Karmaşık hale gelen titreşim ivme seviye grafikleri ile kesme frekans değerlerinin de arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 9. 132 m/dk kesme hızı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı, 1 mm kesme derinliği ile 1 adet, 2 adet ve 4 adet kesici uçla yapılan deneylerde titreşim frekansları

## Sonuçlar

AISI 1050 sade karbonlu çeliğin farklı işleme parametreleri ile frezeleme işlemleri esnasında elde edilen kesme kuvveti ve titreşim ivme seviyeleri ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

308 m/dk kesme hızı, 0,2 mm/diş ilerleme miktarı, 1,5 mm kesme derinliği ve 4 adet kesici uç sayısı parametreleri ile yapılan deneyde elde edilen kesme kuvveti en yüksek değere ulaşmıştır.

1 mm kesme derinliği için en yüksek kesme kuvveti 220 m/dk kesme hızında 0,15 mm/diş ilerleme miktarında ve 4 kesici uç ile yapılan deneyde ortaya çıkmıştır.

En düşük kesme kuvveti değerinin, 308 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında, 1 mm kesme derinliğinde ve 1 kesici uç ile yapılan deneyde oluştuğu görülmüştür.

Yapılan deneylerde kesici diş sayısı arttıkça takım tezgahının kuvvet gereksinimlerinin de arttığı görülmüştür.

Kesici diş sayısının artması esas kesme kuvveti bileşeni değerini de arttırmaktadır.

Yine bu çalışmada kesici uç sayısına göre yapılan değerlendirmelerde kesici uç sayısının titreşim ivme seviyelerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

4 kesici uç ile yapılan deneylerin tümünde 1 kesici uçla yapılan deneylere göre titreşim ivme seviyelerinde istisnasız bir artış olmuştur. Bu durum ise kesici uç sayısının artmasıyla kesici takım ve iş parçası arasındaki titreşim frekansının artması ile açıklanmıştır.

Kesici diş sayısına bağlı olarak bu çalışmada en düşük titreşim ivmesi (RMS) değeri; 1 adet kesici uç sayısı, 0,05 mm/diş ilerleme, 132 mm/dk kesme hızı ve 1 mm kesme derinliği ile elde edilmiştir.

Kesici diş sayısına göre en yüksek titreşim ivmesi (RMS) değeri; 4 kesici uç sayısı, 0,2 mm/diş ilerleme, 308 mm/dk kesme hızı ve 1,5 mm kesme derinliği ile elde edilmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Ay, M., "CNC Freze Tezgaahında Frezeleme Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Ve Titreşimlerin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1-3, 30-33, 48-50 (2003).
- Kalpajian, S., "Manufacturing Processes for Engineering Materials Second Edition", *Addision, Wesley*, 42-75 (1991).
- Sadettin, O., Ali Osman, E., Necip, C., Ersan, A., "Tool Wear Evaluation By Vibration Analysis During End Milling Of AISI D3 Cold Work Tool Steel With 35 HRC Hardness", *NDT&E International*, 121-126 (2006).
- Taşkesen, A., Ercan, Y., "Dik Kesme İşlemi Sırasında Takım Tezgaahı Titreşimlerinin Ve Kararlılığının Bir Serbestlik Dereceli Kesme Modeli İle Nonlinear Analizi Ve Tırlamanın Tahmini", *11. Makina Teorisi Sempozyumu*, Ankara, 503-515 (2003).
- 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).
- Yellowley, I., "A Simple Predictive Model of Orthogonal Metal Cutting", *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 27:357-365 (1987).
- 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).
- 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).
- Doolan, P., Burney, F. A., Wu, S. M., "Computer Design of A multipurpose Minimum Vibration Face Milling Cutter", *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, 16:187-192 (1976).
- A. H. El-Sinawi, K. Reza, "Improving Surface Roughness İn Turning Using Optimal Control Of Tool's Radial Position", *Journal of Materials Processing Technology*, 167(1): 54-61 (2005).
- Beauchamp, Y., Thomas, M., Youssef, J. Masounave, A.Y., "Investigation Of Cutting Parameter Effects On Surface Roughness İn Lathe Boring Operation By Use Of a Full Factorial Design", *Computers and Industrial Engineering*. 31:645-651 (1995).
- 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).
- 13.Çiftçi, İ., "Talaşlı İmalatta Yüzey Pürüzlülüğünün Tayini Ders Notları", *Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 1-6 (2004).