

Alüminyum Frezelemede İlerleme Hızının Titreşime Etkisinin İncelenmesi

Burak ÖZDEMİR^{1*}, Erkan BAHÇE², Mehmet Sami GÜLER³

Öz

Bu çalışmada, frezeleme işleminde ilerleme hızı parametresinin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla Al7075 malzemesi diğer işleme parametreleri sabit tutularak 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 ve 0.3 mm/dev ilerleme hızları ile frezelenmiştir. Her bir ilerleme değeri için parça boyunca kanal frezeleme yapılmıştır. Frezeleme sırasında iş parçasında bağlı cihaz ile titreşim ölçülmüştür. Titreşim değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve ilerlemenin titreşime etkisi tartışılmıştır. Titreşim ölçümünden elde edilen verilere göre genel olarak, sabit devirde ilerlemenin artışı titreşimi azaltmıştır. Takımın kesme kabiliyetinin azalması ile verilerin standart sapması artmış ve daha düzensiz bir titreşim seyri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar frezelemede optimum ilerleme değeri belirleme çalışmalarına destek olacak niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Frezeleme, İlerleme hızı, Titreşim.

Investigation of the Effect of Feed Rate on Vibration in Aluminum Milling

Abstract

In this study, the effects of the feed rate parameter in the milling process were investigated. For this purpose, Al7075 material was milled with feed rates of 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 and 0.3 mm/rev, keeping other machining parameters constant. Milling was done along the part for each feed value. Vibration was measured with the connected device on the workpiece during milling. Vibration values were evaluated statistically and the effect of progress on vibration was discussed. According to the data obtained from the vibration measurement, in general, the increase in the feed at constant speed reduced the vibration. With the decrease in the cutting ability of the tool, the standard deviation of the data increased and a more irregular vibration pattern was detected. The results obtained will support the processes of determining the optimum feed value in milling.

Keywords: Milling, Feed Rate, Vibration.

¹Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Hekimhan MES MYO, Malatya, Türkiye, burak.ozdemir@ozal.edu.tr

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, erkan.bahce@inonu.edu.tr

³Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Ordu, Türkiye, mehmetmetsamiguler@yandex.com

¹<https://orcid.org/0000-0002-5870-0398>

²<https://orcid.org/0000-0001-5389-5571>

³<https://orcid.org/0000-0003-0414-7707>

1. Giriş

Kanal frezeleme, takımın aksenel ve radyal kesici kenarlarını iş parçasına daldırarak yaptığı talaşlı imalat yöntemidir. Bu imalat yönteminde takım olarak çoğunlukla parmak freze kullanılmaktadır (YUE ve ark., 2019). Bu takımlar, işleme parametreleri, kalınlık ve boylarına göre işleme sırasında titreşimin etkilerine maruz kalmaktadır. İşleme koşullarına bağlı olarak değişen titreşim, iş parçasının kalitesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Kulekci ve ark., 2017). İşleme sonucunda genellikle derin ve dar bir kanal oluşması, kalitesizliği giderme amaçlı taşlama veya ikincil işleme yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle parça standartları tek seferde işleme ile karşılanmalıdır. İş parçasının özelliklerine göre uygun işleme koşullarının seçimi önemli bir araştırma motivasyonudur. Kanal açma sırasında ilerleme, devir, takım çapı ve boyu titreşimi etkileyen parametreler olarak bilinmektedir (Guo ve ark., 2020). Yapılan çalışmalarda ilerlemenin titreşim üzerinde en etkili parametre olduğu sonucuna varılmıştır (Antoniali ve ark., 2010; Bhogal ve ark., 2015; Sasaki ve ark., 1996).

Literatürde konuyla ilgili çalışmalar çoğunlukla farklı malzemeler üzerinde ilerleme, devir, takım çapı gibi parametreler kullanılarak frezeleme yapılmış ve kaliteyi etkileyen yüzey pürüzlülüğü, geometrik doğruluk gibi faktörler incelenmiştir (Khorasani ve ark., 2012; Rashid ve ark., 2006).

Çalışmalarda çoğunlukla frezeleme süresince titreşimde bazı düzensiz seyirler olduğu görülmektedir (Subramanian ve ark., 2013; Toh, 2004). Malzeme yapısı ve takım ısınmasına bağlı olarak değişen bu durum belirgin parametre değişimlerinde benzer değerler etrafında toplanmaktadır. Titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelendiği çalışmalarda, titreşimin artması sonucu takımın kesme kenarının iş parçasına tam tutunamadığı ve çoğunlukla parçayı kesmeden kopardığı belirlenmiştir (Gomes ve ark., 2005; Yang ve ark., 2020). Bu durum yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır. Devirin artışı çizgisel titreşimi azaltıcı bir etki olmasına rağmen takımın çabuk aşınmasına ve salınımının artmasına neden olmaktadır (Jiang ve ark., 2008). Bazı çalışmalarda ilerleme ve devir ile kesme ağzı sayısının titreşime etkisi incelenmiştir. Kesme ağzı sayısının artışı, takımın aynı devirde parçaya daha fazla temas etmesini sağlamak ve denge kurucu bir rol oynamaktadır (Niu ve ark., 2020). Bununla birlikte birim ilerlemede kesilen talaş miktarını artırarak kuvvete bağlı titreşimi azaltmaktadır. (YILMAZ ve ark., 2014) AISI 1050 çelik malzemede kesme derinliği, ilerleme, devir, uç sayısı parametrelerini titreşim ve pürüzlülüğe etkisini incelemiştir. Parametrelerin tümünün artışı titreşimi artırıcı etki göstermiş ve en etkili parametre ilerleme olarak belirlenmiştir. (YILDIZ ve ark., 2018), ilerleme ve devir ile takım çapı ve takım kaplama kalınlığı parametrelerinin titreşim etkisini incelemiştir. Takımı farklı kalınlıklarda TiAlN malzemesi ile kaplamışlardır. Kaplama kalınlığının artışı ile titreşimin azaldığını tespit etmişlerdir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak takımın salınımını artırıcı her türlü etki titreşimi artırdığı görülmektedir. En büyük etkiye sahip olan ilerleme parametresi, takımın kesme ağız noktasından parçaya doğru daha fazla itilmesini sağlayarak tırlama titreşimine neden olmaktadır. Bu çalışmada Al7075 malzemesi aralıkları birbirine yakın 5 farklı ilerleme değeri kullanılarak frezelenmiş ve ilerleme değerlerinin titreşime etkileri incelenmiştir. Bu amaçla düz bir plaka üzerinde sabit çaplı bir takım ile frezeleme işlemi yapılmıştır. İşleme sırasında parça üzerinden titreşim değerleri ölçülmüştür. Her bir ilerleme değeri için elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilerek sonuçlar açıklanmıştır. Bu çalışma, optimum ilerleme değerinin belirlenerek titreşim kaynaklı yüzey hatalarının önlenmesine ve tek seferde doğru işleme yapılmasına katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deney Seti

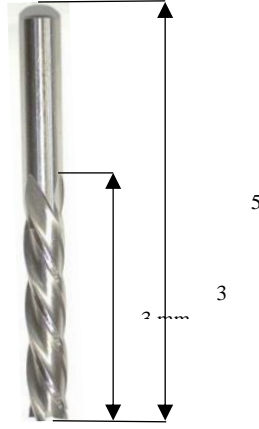
Çalışmada 200*80*10 mm ölçülerinde Al7075 malzemesi kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri tablo 1’de sunulmuştur. Frezeleme işlemi 6 mm HSS 2 ağızlı düz çakı ile yapılmıştır (Şekil 1). Sabit devirde 0.1. 0.15. 0.2. 0.25 ve 0.3 mm/dev ilerleme değerleri kullanılarak parça uzunluğu boyunca yan yana bir hat üzerinde işleme yapılmıştır (Şekil 2).

Tablo 1. Al7075 plakanın kimyasal ve mekanik özellikleri.

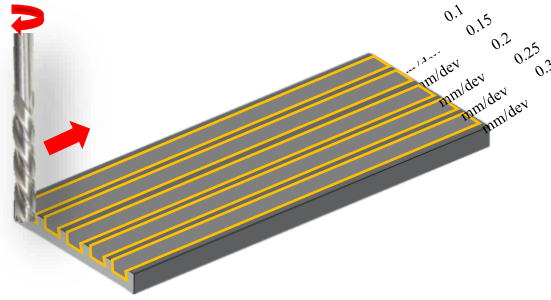
Kimyasal Bileşim (% ağırlık)									
Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others
89.5	0.0567	0.2763	1.4024	0.0108	2.3800	0.2009	6.0294	0.0778	0.0675
Mekanik Özellikler									
Isıl İşlem (Temper)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Akma Direnci (MPa)	Çekme Direnci (%)	Kesme Modülü (MPa)	Elastisite (GPa)				
T651	572	503	11	331	72				

Plaka TAKSAN marka CNC tezgâhta işlenmiştir. Tezgâh 5.5 kw iş mili motoru ve maksimum 8000 rpm işleme hızına sahiptir. Deneylerde soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Titreşim ölçümlerinde, düşük empedansa sahip Kistler 8702B500 tipi ivme ölçer kullanılmıştır. İvme ölçerin teknik özellikleri tablo 2’de gösterilmektedir. İvme ölçer iş miline şekil 3’te görüldüğü gibi monte edilmiştir. İvme ölçerin bilgisayar bağlantısı NI9234 DAQ kart ile sağlanmıştır. Cihaz 0.0000395 sn aralıklarla

sinyal almaktadır. Deneyler esnasında oluşan titreşim verilerini bilgisayar ortamına almak için Labview paket programı kullanılmıştır.



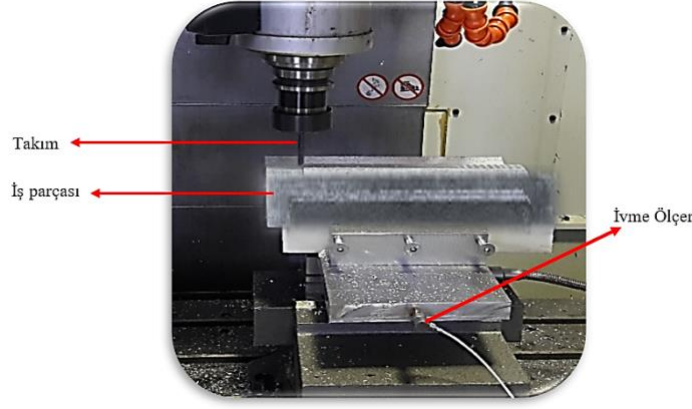
Şekil 1. 6 mm HSS freze çakısı.



Şekil 2. İş parçası frezeleme takım yolları.

Tablo 2. İvme ölçer teknik özellikleri.

Özellikler	Değer
Ölçme Aralığı	$\pm 500g$
Hassasiyet	9.82mV/g
Yatay Hassasiyet	0.2%
Rezonans Frekansı	54.0 kHz
Çalışma Sıcaklığı	-54-120 °C



Şekil 3. Deney seti.

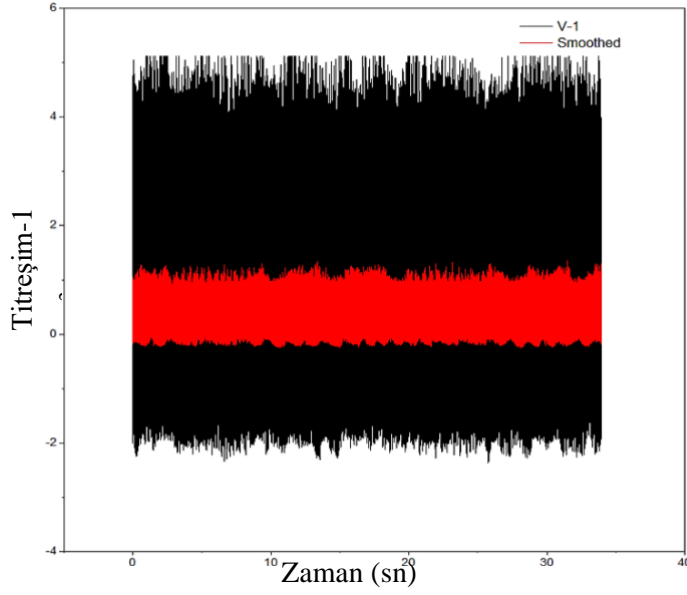
2.2. İstatistiksel Analiz

Titreşim verileri istatistiksel olarak değerlendirilmeden önce bazı sinyal düzenleme yöntemleri ile işlenmiştir. Veriler öncelikle Svaitzky-Golay yöntemi kullanılarak gürültüden arındırılmıştır. Savitzky-Golay filtre yöntemi, her değer için yerel bir polinom regresyon gerçekleştirir ve her veri noktası için yeni, düzeltilmiş bir değer oluşturur. Bu yöntem, en yakın komşu ile ortalama olarak tepe yüksekliği ve genişliği gibi verilerin özelliklerini koruyacak şekilde gürültülü verileri temizlemektedir. Gürültüden arındırılan verilere FFT filtresi uygulanmıştır. Filtreleme, bir sinyalden frekans bileşenlerini seçme işlemidir. FFT filtresi girişteki frekans bileşenlerini analiz etmek için Fourier dönüşümlerini kullanır. Frezelemenin sürekli bir trende sahip olması, malzemenin iç yapısı ve takım özellikleri gibi durumların titreşimde anlık yükselme ve düşmeye sebep olması nedeni ile yüksek frekanstaki titreşim verilerinin sonuçları daha anlamlı olmaktadır. Bu sebeple High Pass (Yüksek Geçiş) FFT sistemi kullanılmıştır. Sinyal düzenleme işlemleri Origin Lab Paket programında gerçekleştirilmiştir.

Ön hazırlığı yapılan titreşim verileri SPSS paket programında istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İlerleme ile titreşim arasındaki korelasyon ve etki değeri istatistiksel olarak araştırılmıştır.

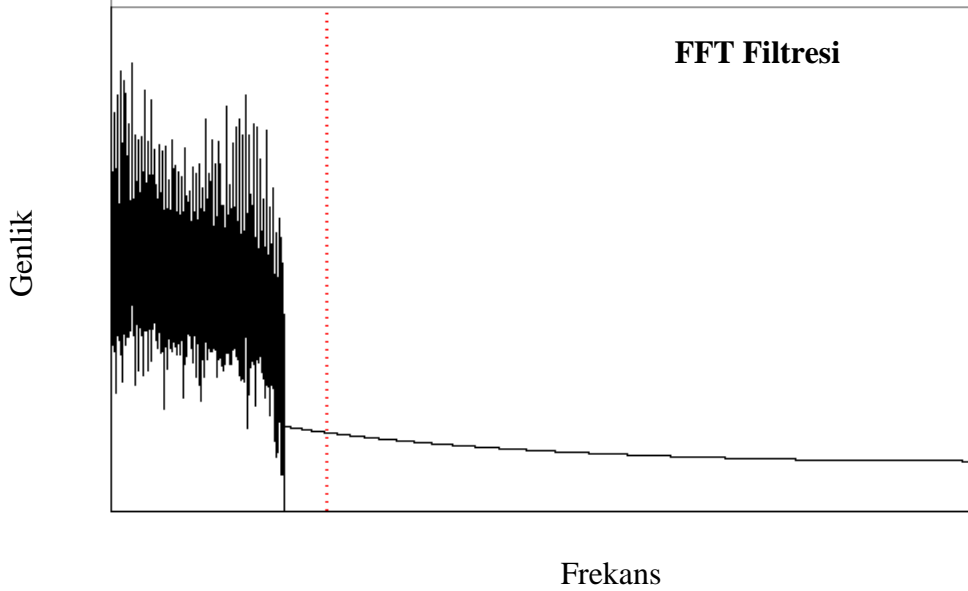
3. Bulgular ve Tartışma

Deneylerde, takımın parça boyunca her bir turunda 870400 titreşim sinyali kaydedilmiştir. Veriler gürültüden arındırılmış ve temel titreşim değerleri süzölmüştür. Şekil 4'te 0.1 mm/dev ilerleme değeri için elde edilen titreşim verilerininin gürültü temizlemesi görülmektedir. Grafikteki kırmızı bölge gürültüden arındırılmış bölgeyi temsil etmektedir.



Şekil 4. Gürültüden arındırılmış titreşim verisi (0.1 mm/dev ilerleme).

Gürültüden arındırılan verilere FFT filtresi uygulanarak en yüksek frekansa sahip titreşim değerleri süzölmüştür. Bu sayede frezeleme bileşenlerinden olan malzeme ve takım kaynaklı anlık ve az sayıdaki iniş ve çıkışlar arındırılmıştır. 0.1 mm/dev ilerleme değeri için FFT filtresi uygulaması sonrasında titreşim verilerinin grafiği Şekil 5'te görölmektedir.



Şekil 5. FFT filtresi sonrası titreşim verileri (0.1 mm/dev ilerleme).

Veri çokluğu nedeniyle deney sonuçlarının analizi için tanımlayıcı istatistiksel değerler kullanılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Tanımlayıcı istatistik verileri.

	İstatistik	
0.1_ilerleme	Ortalama	1.2899325
	Standart Sapma	0.92402647
	Skewness	0.889
	Kurtosis	0.275
0.15_ilerleme	Ortalama	1.2890780
	Standart Sapma	0.91701521
	Skewness	0.868
	Kurtosis	0.204
0.2_ilerleme	Ortalama	1.2887065
	Standart Sapma	0.90938696
	Skewness	0.847
	Kurtosis	0.162
0.25_ilerleme	Ortalama	1.2874560
	Standart Sapma	0.90643015
	Skewness	0.843
	Kurtosis	0.151
0.3_ilerleme	Ortalama	1.2877230
	Standart Sapma	0.91008115
	Skewness	0.855
	Kurtosis	0.180

Titreşim ortalama değeri 0.1 mm/dev ilerlemede en yüksek değerdedir. 0.1-0.30 mm/dev arasında ortalama titreşim değeri azalmaktadır. İlerlemenin artışı kesme kuvvetlerini artırmakta ve takımın iş parçası temas noktasına daha fazla baskı yapmaktadır (Salehi et al., 2015). Bu baskı takımın salınımlarını azaltmaktadır. Takım devrinin her bir kesme noktasında yeterli talaş kaldırmaya yetmesi durumunda kesme gerçekleşmekte, aksi takdirde takımın kesme kuvveti yönünde sehim görülmektedir (Yesilyurt & Ozturk, 2006). 0.25 mm/dev ile 0.3 mm/dev arasındaki titreşim farkı çok düşüktür. Bununla birlikte 0.3 mm/dev ilerlemede standart sapma daha büyüktür. Bu durum titreşim değerleri arasındaki standart hatanın daha yüksek olduğunu göstermektedir. 0.25 mm/dev ilerlemeden sonra takım devrinin kesme yeteneği açısından ilerlemeyi karşılayamadığı ve itme kuvvetinin etkisi ile kesik kesik titreştiği sonucuna varılmaktadır (Shaik & J, 2017).

Tüm ilerleme değerleri için Kurtosis ve Skewness değerleri -1.5 ile +1.5 aralığında olması sebebiyle verilerin normal dağılıma uygun olduğu kabul edilmektedir (Tabachnick & Fidell, 2019). Bu sebeple ilerlemeye göre titreşim verileri arasındaki korelasyon Pearson yöntemi ile analiz edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Korelasyon analizi sonuçları.

		Korelasyon				
		0.1_ilerleme	0.15_ilerleme	0.2_ilerleme	0.25_ilerleme	0.3_ilerleme
0.1_ilerleme	Pearson Korelasyon	1	0.231**	0.080**	-0.048**	-0.088**
0.15_ilerleme	Pearson Korelasyon	0.231**	1	-0.328**	-0.151**	0.491**
0.2_ilerleme	Pearson Korelasyon	.080**	-.328**	1	-0.210**	-0.285**
0.25_ilerleme	Pearson Korelasyon	-0.048**	-0.151**	-0.210**	1	-0.298**
0.3_ilerleme	Pearson Korelasyon	-0.088**	0.491**	-0.285**	-0.298**	1

Korelasyon analizi sonuçlarına göre tüm deneylerde titreşim değerlerinin birbirleri ile olan ilişkileri 0.01 düzeyinde anlamlıdır. 0.25 mm/dev ilerlemede oluşan titreşim değeri diğer deneylerle negatif yönde ilişkilidir. 0.15 mm/dev ilerleme titreşim değerleri 0.1 mm/dev ve 0.3 mm/dev ilerleme titreşim değerleri ile pozitif, diğerleri ile negatif yönde ilişkilidir. 0.3 mm/dev ilerlemedeki titreşim değerleri 0.15 mm/dev ilerleme değerleri ile pozitif, diğerleri ile negatif yönde ilişkilidir. Geriye kalan tüm ilişkiler pozitif yöndedir. En yüksek ilişki 0.491 değeri ile 0.15 mm/dev ile 0.3 mm/dev ilerlemeler arasında gerçekleşmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada frezelemede ilerlemenin titreşim üzerindeki etkisi incelenmiştir. AL7075 malzemesi 0.1-0.15-0.20-0.25-0.30 mm/dev ilerleme değerleri ile sabit devirde bir hat boyunca frezelenmiş ve titreşim ölçümü yapılmıştır. Deney sonuçları istatistiki olarak değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- En yüksek titreşim değeri 0.1 mm/dev ilerlemede, en düşük titreşim değeri 0.3 mm/dev ilerlemede gerçekleşmiştir.
- İlerleme arttıkça kesme kuvvetinin etkisi ile titreşim azalmıştır.
- 0.25 mm/dev ve 0.30 mm/dev ilerlemelerdeki titreşim değerleri birbirine çok yakındır. Fakat 0.30 mm/dev’de standart sapma daha büyüktür. Bu durum deneyde kullanılan devir değerinin 0.3 mm/dev ilerleme değerini kesme kabiliyeti açısından tam beslemediği ve takımı kesme kuvvetinin tersi yönünde zayıf talaş kaldırma davranışı ile ittiğini göstermektedir.
- Tüm deneylerdeki titreşim değerleri arasındaki ilişki anlamlıdır. En yüksek ilişki (0.491) 0.15-0.30 mm/dev ilerleme değerleri arasında gerçekleşmiştir.

Çalışma sonucu incelendiğinde ilerlemenin titreşim üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Çalışma frezeleme işlemlerinde titreşime bağlı yüzey hataları ve takım aşınmasını azaltma yönünde ilerleme parametresinin seçimi ile ilgili literatüre katkı sağlamaktadır.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Antoniali, A. I. S., Diniz, A. E., & Pederiva, R. (2010). Vibration analysis of cutting force in titanium alloy milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50(1), 65-74.
- Bhogal, S. S., Sindhu, C., Dhami, S. S., & Pabla, B. S. (2015). Minimization of surface roughness and tool vibration in CNC milling operation. *Journal of Optimization*, 2015.
- Gomes, S., Renaudin, G., Hagemann, H., Yvon, K., Sulic, M. P., & Jensen, C. M. (2005). Effects of milling, doping and cycling of NaAlH₄ studied by vibrational spectroscopy and X-ray diffraction. *Journal of alloys and compounds*, 390(1-2), 305-313.
- Guo, M., Ye, Y., Jiang, X., & Wu, C. (2020). Comprehensive effect of multi-parameters on vibration in high-speed precision milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108(7), 2187-2195.
- Jiang, H., Long, X., & Meng, G. (2008). Study of the correlation between surface generation and cutting vibrations in peripheral milling. *Journal of Materials Processing Technology*, 208(1-3), 229-238.
- Khorasani, A. M., Saadatkia, P., & Kootsookos, A. (2012). Tool vibration prediction and optimisation in face milling of Al 7075 and St 52 by using neural networks and genetic algorithm. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 12(1-2), 142-153.
- Kulekci, M. K., Uğur, E. Ş. M. E., Ekşi, A. K., Koçoğlu, Z., & YILMAZ, N. F. (2017). En Aw 5754 (Almg3) alüminyum alaşımının frezelenmesi işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 153-160.
- Niu, Q., Jing, L., Wang, C., Li, S., Qiu, X., Li, C., & Xiang, D. (2020). Study on effect of vibration amplitude on cutting performance of SiCp/Al composites during ultrasonic vibration-assisted milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(5), 2219-2225.
- Rashid, A., & Nicolescu, C. M. (2006). Active vibration control in palletised workholding system for milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(12-13), 1626-1636.
- Salehi, M., Albertelli, P., Goletti, M., Ripamonti, F., Tomasini, G., & Monno, M. (2015). Indirect model based estimation of cutting force and tool tip vibrational behavior in milling machines by sensor fusion. *Procedia CIRP*, 33, 239-244.
- Sasaki, K., Masuda, T., Ishida, H., & Mitsuda, T. (1996). Structural degradation of tobermorite during vibratory milling. *Journal of the American Ceramic Society*, 79(6), 1569-1574.
- Shaik, J. H. (2017). Optimal selection of operating parameters in end milling of Al-6061 work materials using multi-objective approach. *Mechanics of Advanced Materials and Modern Processes*, 3(1), 1-11.
- Subramanian, M., Sakthivel, M., Sooryaprakash, K., & Sudhakaran, R. (2013). Optimization of end mill tool geometry parameters for Al7075-T6 machining operations based on vibration amplitude by response surface methodology. *Measurement*, 46(10), 4005-4022.

- Tabachnick, B. G., Fidell, L. S., & Ullman, J. B. (2007). Using multivariate statistics (Vol. 5, pp. 481-498). Boston, MA: pearson.
- Toh, C. K. (2004). Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel. *Journal of Sound and Vibration*, 278(1-2), 101-115.
- Yang, B., Guo, K., Liu, J., Sun, J., Song, G., Zhu, S., ... & Jiang, Z. (2020). Vibration singularity analysis for milling tool condition monitoring. *International Journal of Mechanical Sciences*, 166, 105254.
- Yesilyurt, I., & Ozturk, H. (2007). Tool condition monitoring in milling using vibration analysis. *International journal of production research*, 45(4), 1013-1028.
- YILDIZ, M., & SARUHAN, H. (2018). Experimental Vibration Analysis of Titanium Aluminum Nitride (TiAlN) Coated Milling Cutting Tool Effects on Surface Roughness of AISI 4140 Steel Products. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 745-753.
- YILMAZ, V., Dilipak, H., SARIKAYA, M., YILMAZ, C., & Meral, G. (2014). Frezeleme işlemlerinde titreşimi ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin optimizasyonu. *Teknik Bilimler Dergisi*, 4(1), 37-44.
- Caixu, Y. U. E., Haining, G. A. O., Xianli, L. I. U., Liang, S. Y., & Lihui, W. A. N. G. (2019). A review of chatter vibration research in milling. *Chinese Journal of Aeronautics*, 32(2), 215-242.