



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Ti6Al4V Malzemesinin Frezelenmesinde Takım Titreşiminin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi

Okan ORAL^{a,*}, Oğuz ÇOLAK^b, Mustafa BAYHAN^c

^a Mekanik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

^c Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: okan@akdeniz.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.533362

ÖZET

Talaş imalatında önemli bir alan olan frezeleme işlemleri çok yönlü bir imalat biçimi olup endüstride oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Frezeleme işleminin istenilen hassasiyetle yapılamaması malzeme üzerinde bazı mekanik sorunlara ve hatta malzeme kayıplarına yol açmaktadır. Ekonomik değeri yüksek olan malzemenin atıl duruma gelmesi zaman, para ve iş gücü kaybına neden olmaktadır. Hata tespit ve tahmini, ürün kalitesini yükseltmek, kullanılan malzeme masraflarını azaltmak ve zamandan tasarruf sağlamak için önemli bir işleve sahiptir. Yapılan bu çalışmada, frezeleme işlemi sırasında, kesici takımında oluşan mekanik titreşimlerin yüzey kalitesi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan testlerde titanyum (Ti6Al4V) iş parçası kullanılmıştır. Test parametreleri, 4 farklı seviyede kesme hızı (Vc m/dk), 4 farklı seviyede ilerleme oranı (f mm/diş) ve sabit kesme derinliği (ap/mm) alınarak tam faktöriyel yöntemi ile belirlenmiştir. Testlerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri için regresyon analizleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, titreşimin ve ilerleme oranının artışı ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum kesici takımında oluşan titreşimin kesilen iş parçası yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Kesme hızı ve ilerleme oranı miktarlarına göre; yüzey pürüzlülük değeri aralığı 0,33-0,66 µm aralığında değişim göstermiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin en küçüğü, ilerleme hızının en az olduğu değerlerde görülmüştür. En büyük Ra değeri ilerlemenin en fazla olduğu değerlerde elde edilmiştir. Kesme hızının 50 m/dk, ilerleme hızının 0,10 mm/diş parametrelili test yapılırken kesici takımın deforme olduğu görülmüştür. Bu durumun yüzey pürüzlülük değerlerini olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Talaşlı İmalat, Ti6Al4V, Yüzey Pürüzlülüğü, Regresyon Analizi

Investigation of the Effect of Tool Vibration on Surface Roughness in the Milling of Ti6Al4V Material

ABSTRACT

Milling operations, which is an important area in machining manufacturing, are a versatile form of manufacturing and are widely used in the industry. Failure to achieve the desired precision of the milling process leads to some mechanical problems and even material losses on the material. The deterioration of the material with high economic value causes loss of money and work power. Fault detection and forecasting is important to improve product quality, reduce material costs and save time. In this work, the effects on the surface quality of the mechanical vibrations occurring in the cutting tool during the milling process have been experimentally investigated. Titanium (Ti6Al4V) workpiece was used in the experiments. The test parameters were determined by using full factorial method by taking cutting speed (Vc m / min), feed rate (f mm / thread) and constant cutting depth (ap/mm) at 4 different levels. Taking these parameters into consideration, regression analyzes were performed for the mean surface roughness values. When the results are examined, it is observed that the average

surface roughness values increase with the increase of the vibration and the feed rate. This clearly demonstrates that the vibration of the cutting tool has a significant effect on the surface roughness of the cut workpiece. The smallest surface roughness values were observed at the lowest feed rate. The highest Ra value was obtained from the values with the highest progress. When the test was carried out, the cutting tool was deformed with a feed rate of 50 m / min and 0.10 mm / thread. This situation is thought to affect the surface roughness values negatively.

Keywords: Machining, Ti6Al4V, Surface Roughness, Regression Analysis

I. GİRİŞ

Günümüzde talaşlı üretim yöntemleri otomotiv ve havacılık endüstrisi başta olmak üzere küresel ekonominin gelişmesinde başrol aktörlerindedir. Talaşlı imalatta yapılan çalışmaların amaçları genelde, kesme tekniklerini geliştirip verimliliği artırarak maksimum üretim hacmine ulaşabilmek, yüksek hassasiyette uzun ömürlü kullanışlı parçalar üretebilmek ya da mevcut imkânlarını en uygun şekilde kullanarak farklı ürünlerin imalat oranlarını yükseltebilmektir. Talaşlı imalatta önemli bir alan olan frezeleme işlemleri çok yönlü bir imalat biçimi olup endüstride oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Frezeleme işlemleri dönen bir mil üzerine bağlanmış kesici takımın, iş parçası üzerinden talaş kaldırması ile gerçekleştirilir. Frezelemede kullanılan kesici takımın dış geometrisi ve kesme ağızlarının geometrisine bağlı olarak, aynı anda birçok noktadan kesme işlemi gerçekleştiği için, oldukça karmaşık bir kesme geometrisine sahiptir [1, 2]. Kompleks parçaların talaşlı imalatı esnasında yüksek kesme hızı ile talaş kaldırma oranı sebebiyle oluşan kuvvetler kesici takımlarda düzensiz titreşimler oluşturmaktadır. Takımlardaki bu titreşim işleme esnasında kesici takımın kırılmasına, işleme kararlılığının ve yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olur. Kararlı bir işleme stratejisinin geliştirilebilmesi için takım titreşiminin takım ve tezgâh titreşim modellemesinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir [3, 4]. Bunun için takım tezgah ikilisinin modal analizleri yapılarak analitik kararlılık bölgelerinde işleme çözümleri sunulmuştur [3].

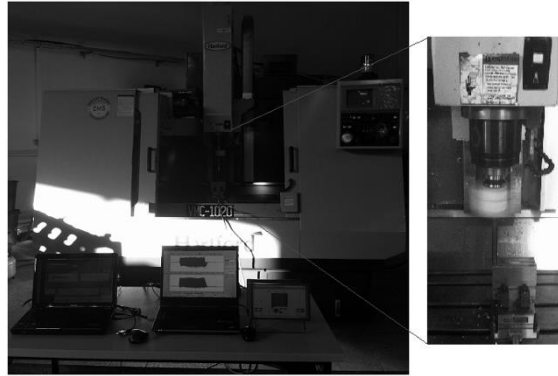
Tsai vd. [5], frezeleme işleminde işlenmiş parçaların yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için, kesme işlemi esnasında oluşan titreşimleri, titreşim sensörleri yardımıyla kaydederek bir bilgisayarda toplamış ve bu verileri analiz ederek sinir ağı modeli oluşturmuşlardır. Elde edilen verilerin bir kısmı sinir ağlarının eğitimi için bir kısmı da test seti için kullanılarak öğreticili yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Bu yapay sinir ağı ile yüzey pürüzlülüğünün %96 doğrulukta tahmini yapılmıştır. Lou and Chen [6], çalışmalarında freze ile işleme esnasında oluşan yüzey pürüzlülüğü ile titreşim sinyalleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Takım ve iş parçasındaki titreşimler ölçülmüştür. Elde edilen verilerin analizinde bulanık mantık kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmaya göre devir sayısı, talaş derinliği ve titreşim ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bulanık mantık ile veriler işlenerek değerlendirilip deneysel veriler ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak benzer karakteristik gösterdiği tespit edilmiştir. Lee vd. [7], talaşlı imalatta yüksek hızlarda oluşan kesme kuvvetlerinin sebep olduğu titreşimleri incelemişlerdir. Yapılan testlerden elde edilen veriler geliştirilen bir yazılım ile analiz edilmiş ve parça üzerindeki yüzey pürüzlülük değerleri ile karşılaştırılmıştır. İncelemenin sonucu olarak işleme esnasında oluşan titreşimlerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkin bir parametre olduğu anlaşılmıştır. Ertekin vd. [8], yaptıkları çalışmada CNC freze işlemlerini çoklu sensör verileri kullanarak, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını değişik çalışma koşullarında incelemişlerdir. Çalışmalarında, dinamometre, titreşim sensörü ve AE sensörü kullanmışlardır. Üç farklı malzemenin farklı koşullarda işlenmesi ile yüzey pürüzlülüğünün; işleme zamanına bağlı olarak kesici takımın aşınma miktarı ile nasıl değiştiği izlenmiştir. Sensör verileri ve işleme şartları regresyon analizinde değerlendirilerek yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasını en doğru biçimde ulaşacak fonksiyon elde edilmiştir. AE emisyon sinyalleri ile oluşturulan analiz %99 regresyon oranında takım aşınmasını tahmin edebilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü içinse dinamometre ve AE sinyalleri birlikte en iyi regresyon oranını vermişlerdir. Kara vd. [9], deneysel çalışmalarında DIN 1.2738 kalıp çeliğinin sert tormalama işleminde kullanılan işleme parametrelerinin performansını incelemeyi ve optimum işleme koşullarını tanımlamayı amaçlamışlardır. Deneyler, Taguchi L18 ortogonal dizisi ile yapılmış, deneysel sonuçların değerlendirilmesi, sinyal / gürültü oranına dayandırılmıştır. Kontrol faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü ve

yan yıpranma üzerindeki etki seviyeleri yapılan varyans analiziyle belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar için iki farklı çoklu regresyon analizi (doğrusal ve ikinci dereceden) yapılmıştır. İkinci dereceden regresyon modeli ile daha yüksek bir korelasyon katsayısı (R^2) elde edilmiştir. Deneysel sonuçlarda, genel olarak hem yüzey pürüzlülüğü hem de yan yıpranma açısından TiAlN kaplı takım ile daha iyi sonuçlar alındığı görülmüştür.

Bu çalışmada frezeleme işlemi sırasında, kesici takımda oluşan mekanik titreşimlerin titanyum (Ti6Al4V) iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkileri deneysel olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmada, her işleme parametresi için titreşimler ölçülmüştür. Ayrıca işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğü, yüzey pürüzlülük test cihazıyla büyük bir hassasiyetle ölçülmüştür. Süreci etkileyen kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme oranı ve kesme anında oluşan titreşimin kalite karakteristiği olan yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri incelenmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın testleri elde edilen parametrelerle Süleyman Demirel Üniversitesi CAD/CAM araştırma ve uygulama merkezinde Hartford VMC1020 CNC freze tezgâhında yapılmıştır (Şekil 1). CNC freze tezgâhı 4 eksenlidir. Tezgâh tablası x ve y ekseninde ilerlerken, iş mili z ekseninde hareket etmektedir. Tezgâh tablası boyutları x ekseninde 1020mm, y ekseninde 500mm'dir. Tezgâh magazin kapasitesi 20 adet takım bağlamaya sınırlıdır. İş milinin en büyük dönme hızı 6000 dev/dk'dır.



Şekil 1. Test ve değerlendirmelerin yapılması

Bu çalışmada kullanılan iş parçası malzemeleri, uzay ve havacılık sanayisinde yaygın olarak kullanılan titanyumdur (Ti-6Al-4V). Ti-6Al-4V alaşımının sahip olduğu düşük ısı iletkenliği ve elastisite modülü nedeniyle işlenebilirliği zordur. Ti6Al4V alaşımının; Tablo 1'de kimyasal bileşimi, Tablo 2'de mekanik özellikleri görülmektedir [10].

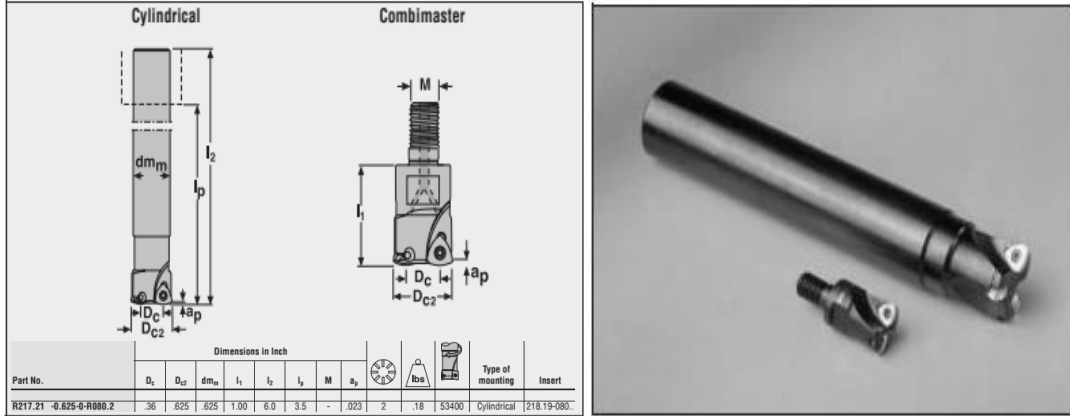
Tablo 1. Ti6Al4V alaşımının kimyasal bileşimi (%).

Kimyasal Bileşim							
Alaşım Tipi	N	C	H	Fe	O	Al	V
Ti-6Al-4V	0,05	0,08	0,015	0,40	0,20	5,50	3,50

Tablo 2. Ti6Al4V alaşımının mekanik özellikleri.

Mekanik değerler		
Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Uzama (%)
900-1100	830	10

Testlerde kullanılan kesici takım Seco 30179 ((Ti, Al) N-TiN) kaplamalı R217.21-1.00-0-R1252HA (Şekil 2) uç her deneyde değiştirilmiştir.



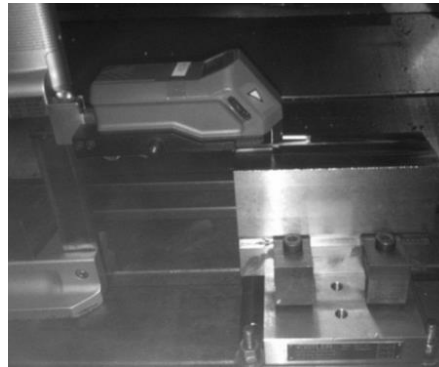
Şekil 2. Testlerde kullanılan takımın ve özellikleri

Kopyalama freze takımı, takım tutucuya Seco Easy Shrink 15 makinası ile bağlanmıştır. Kesici takımların termal yöntemle (Sıkı Geçme) ile takım tutucuya monte edilmesi Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Kesici takımların sıkı geçme yöntemiyle takım tutucuya yerleştirilmesi

Testler için titreşim sensörü olarak PCB Piezotronics'e ait PCB 353B31 serisi 100g modeli kullanılmıştır. Titreşim sensöründen ve dinamometreden gelen veriler sinyal düzenleyiciden sonra veri toplama kartı olan DAQ 6062E kullanılmıştır. Cut-Pro programı ile veriler alınarak sonuçlar üretilmiştir. İşlenen parça üzerinde oluşan pürüzlülüklerin ölçülmesinde 0,01 µm hassasiyette ölçüm yapabilen, elmas uçlu Hommel Werke firmasının T 500 yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Yüzey pürüzlülük cihazı

Deneyde kullanılan parametreler, 4 farklı seviyede kesme hızı (V_c m/dk), 4 farklı seviyede ilerleme oranı (f mm/diş) ve sabit kesme derinliği (a_p /mm) alınarak tam faktöriyel yöntemi ile belirlenmiştir. Deneysel çalışmada, her işleme parametresi için titreşimler sensörle ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Ayrıca, işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülerek elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır. Eksenel kesme derinliği (a_p) 1 mm olarak alınmıştır.

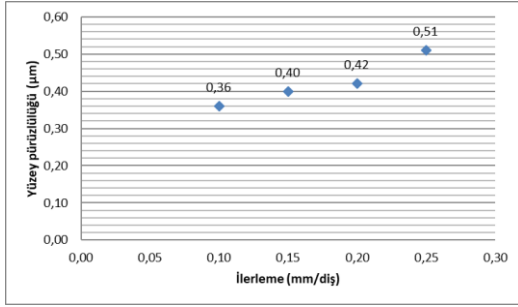
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bir sistemde titreşimin ölçülebilmesindeki en önemli parametre titreşimin frekansı ve ivmesidir. Titreşim genliği ve açısı olduğu için vektör olarak düşünülmeli ve uzayda bir kartezyen koordinat sistemine iz düşümleri düşürülerek bileşenlerine ayrılmalıdır. Bu vektörel büyüklükler genlik yani noktanın yer değiştirmesi, hız ve ivme olarak düşünülmelidir [11]. Titreşim sensörleri, makina yapısının veya iş parçasının mekanik titreşimlerini ölçerler. Kesme işlemlerinde kullanılan titreşim sensörlerinin uygunluğu sensör konumuna ve normal titreşim sinyallerindeki hata sinyalinin bağlı büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Titreşim sensörleri genellikle periyodik sinyalleri ölçmek için uygundur. Tablo 3’de testlerde kullanılan parametreler ile yapılan testlerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Testlerde kullanılan takımın efektif çapı 24,5mm, diş sayısı 1’dir. Testler sonrası ortalama R_a yüzey pürüzlülük değerleri yine Tablo 3’ de verilmiştir.

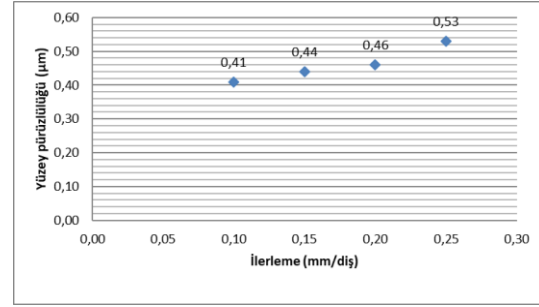
Tablo 3. Testlerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri

Deney Sıra No	V_c [m/dk] Kesme Hızı	f [mm/diş] İlerleme Oranı	a_r [mm] Radyal Kesme Derinliği	R_{a_ort} [μm] Yüzey Pürüzlülüğü
1	35,00	0,10	16,50	0,42
2	35,00	0,15	16,50	0,36
3	35,00	0,20	16,50	0,42
4	35,00	0,25	16,50	0,51
5	40,00	0,10	16,50	0,46
6	40,00	0,15	16,50	0,44
7	40,00	0,20	16,50	0,41
8	40,00	0,25	16,50	0,53
9	45,00	0,10	16,50	0,33
10	45,00	0,15	16,50	0,48
11	45,00	0,20	16,50	0,56
12	45,00	0,25	16,50	0,60
13	50,00	0,10	16,50	0,47
14	50,00	0,15	16,50	0,57
15	50,00	0,20	16,50	0,60
16	50,00	0,25	16,50	0,66

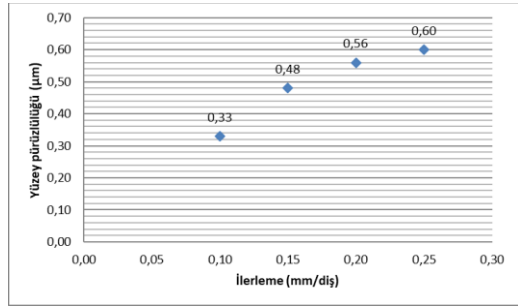
Yapılan deneylerde sabit kesme hızında, ilerleme oranının artışıyla yüzey pürüzlülük değerinin artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 5). Tüm kesme parametrelerinde yüzey pürüzlülüğündeki artışın yakın oranda eğimli olduğu görülmektedir. Kesme hızı ve ilerleme oranı miktarlarına göre; yüzey pürüzlülük değeri aralığı 0,33-0,66 μ m aralığında değişim göstermiştir. Kesme hızı 50 m/dk ve ilerleme hızı 0,25 mm/diş parametre değerleri olarak belirlenen deneyde yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerinin 0,66 μ m olarak en yüksek değerde olduğu, kesme hızı 45 m/dk ve ilerleme hızı 0,10 mm/diş olarak belirlenen deneyde ise R_a değerinin 0,33 μ m olarak en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir. İlerleme hızının en düşük olduğu parametrede R_a değerlerinin en düşük, ilerleme hızının en yüksek olduğu parametrede en büyük R_a değeri elde edilmiştir. Kesme hızı 50 m/dk, ilerleme hızı 0,10 mm/diş parametrelili deney sırasında takım üzerindeki kaplama tabakasının bir miktar kalktığı görülmüştür. Bu durumun yüzey pürüzlülük değerlerini olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.



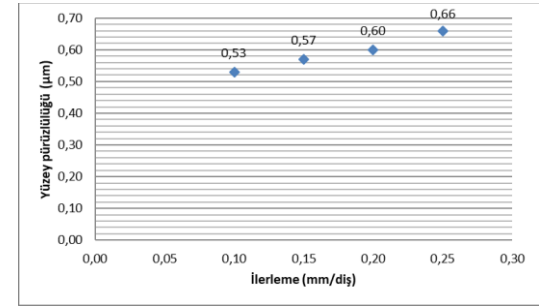
a) Kesme Hızı (V_c)=35,00 m/dk



b) Kesme Hızı (V_c)=40,00 m/dk



c) Kesme Hızı (V_c)=45,00 m/dk



d) Kesme Hızı (V_c)=50,00 m/dk

Şekil 5. (a), (b), (c), (d) Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranına göre değişimi

Test sonuçları incelendiğinde ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmektedir. Şan [12], çalışmasında talaşlı imalatta ilerleme ve kesme hızının Ra değerindeki değişimine etkisini test etmiştir. Çalışma sonucunda Ra değerinin artışı, ilerleme hızının kesme hızının etkisinden daha önemli olduğunu doğrulamış ve ilerleme ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğru orantılı bir ilişki olduğunu açıklamıştır. Kıvak [13], kuru ve ıslak kesme koşulları altında bir Ti-6Al-4V alaşımının delme işlemi sırasında takım aşınması, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırdığı çalışmasında; kesme hızındaki artışla birlikte Ra değerlerindeki düşüş olduğunu tespit etmiştir.

Yapılan bu çalışmada ayrıca talaş kırıcı formuna sahip kesici takım kullanılan testlerde elde edilen verilerle bağlı titreşim ivmesi (RMS) ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) arasındaki ilişki de açıklanmıştır. Bu ilişkiyi açıklamak için elde edilen veriler SPSS programı kullanılarak regresyon analizinde değerlendirilmiştir. Önce kesme parametrelerinden ilerleme oranı dikkate alınmış ve talaş kırıcı formu için ilerleme oranına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim regresyon analizi yapılarak açıklanmıştır.

Tablo 4. Regresyon modelin anlamlılığı tablosu

ANOVA					
Model	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması	F	p
1	0,050	1	0,050	8,864	0,010
	0,079	14	0,006		
	0,129	15			

Tablo 4'de yapılan Regresyon analizi sonunda elde edilen sonuçlara göre aşağıda kurulmuş olan model denkleminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p=0,010$).

Tablo 5. Model denkleminin tablosu

Model	Katsayılar		t	p	95.0% Güven aralığı (katsayılar için- B)		
	B	Standart hata			Alt sınır	Üst sınır	
1	Sabit	0,314	0,062	5,085	0,001	0,181	0,446
	İlerleme oranı	1,000	0,336	2,977	0,010	0,280	1,720

Tablo 5'ye göre ilerleme oranı için kurulan model denklemi, Denklem 1'de gösterilmektedir.

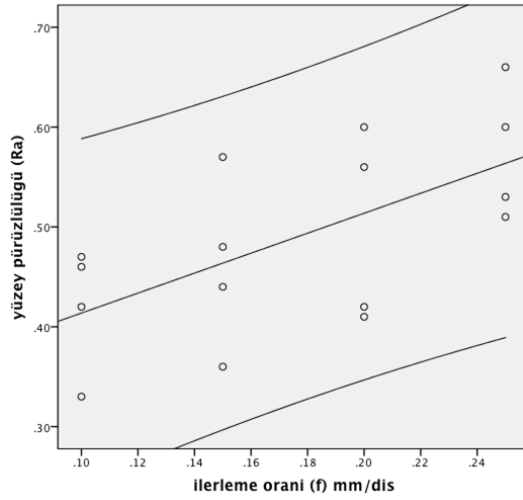
$$y=0.314+1 * x1 \quad (1)$$

Denklem 1'de y değeri yüzey pürüzlülüğünü, x1 değeri ilerleme oranını temsil etmektedir.

Tablo 6. Belirtme katsayısına ilişkin değerler

Model	R	R2	Adj R2	Std Tahmini Hata
1	0,623	0,388	0,344	0,075

Tablo 6'de görüldüğü üzere yüzey pürüzlülüğünün %34'ü ($R^2=$ belirtme katsayısı) ilerleme oranı tarafından açıklanmaktadır. İlerleme oranının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde artış olmaktadır ($r=0,62$, $p=0,005$). Şekil 6'da ilerleme oranına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim güven aralıkları alınarak gösterilmektedir.



Şekil 6. İlerleme oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Ayrıca titreşim sensörü ile elde edilen veriler (titreşim_RMS) ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki değişim regresyon analizi ile açıklanmıştır. Elde edilen test sonuçlarını değerlendirmek için yapılan regresyon analizi sonuçları aşağıda açıklanmaktadır.

Tablo 7. Belirtme katsayısına ilişkin değerler

Model	R	R2	Adj R2	Std. Tahmini Hata
1	0,520	0,271	0,219	0,08197

Tablo 8. Model denkleminin anlamlılığı

Model	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması	F	p
1 Regresyon	0,035	1	0,035	5,197	0,039
Artık	0,094	14	0,007		
Toplam	0,129	15			

Tablo 7-8'de yapılan Regresyon analizi sonunda elde edilen sonuçlara göre model denkleminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur (p=0,039).

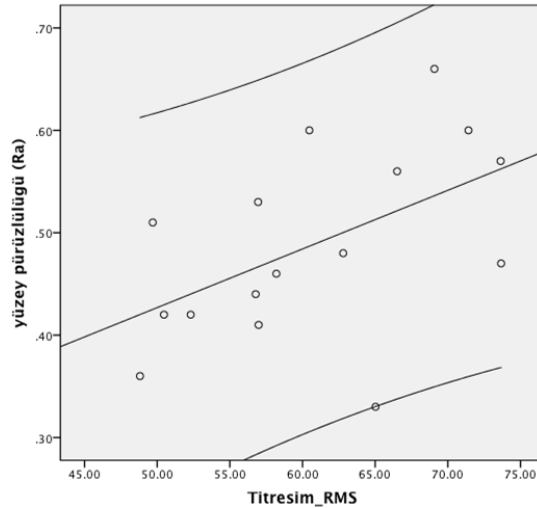
Tablo 9. Model denklem tablosu

Model	Standart olmayan katsayılar		Standart katsayılar	t	Sig.
	B	Std. Hata	Beta		
1 Sabit	0,141	0,154		0,912	0,377
RMStitresim	0,006	0,003	0,520	2,280	0,039

Tablo 9'a göre titreşim_RMS için kurulan model denklemini, Denklem 2'de gösterilmektedir;

$$y = -0,141 + 0,006 * x_2 \quad (2)$$

Denklem 2'de y değeri yüzey pürüzlülüğünü, x₂ değeri titreşim_RMS değerini temsil etmektedir.



Şekil 7. Titreşimin Yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etki oluşturan sebeplerden biri olan titreşim miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 7'de görülmektedir. Titreşim ivmesinin artan değerleri ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerleri de artış göstermiştir. Bu durum titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki olumsuz etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Elde edilen grafiklerde kesme hızının artışı ile titreşimin (RMS) arttığı hesaplanan değerlerden görülmektedir.

IV. SONUC

Yapılan bu çalışmada, frezeleme işlemi sırasında, kesici takımında oluşan mekanik titreşimlerin yüzey kalitesi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yüzey kalitesinin belirlenmesinde en çok dikkate alınan; iş parçasının işlenen yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğüdür. Takım tezgahlarının, kesici takım tutucusu ve diğer bağlama aparatlarının rijit olması mevcut teknoloji ile mümkün

olmadığından, talaş kaldırma süresince titreşimin oluşması hala üzerinde çalışılan bir araştırma konusudur. Deneyler sonucunda kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri için SPSS programı kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır. Böylelikle, elde edilen titreşim ivmesi (RMS) ile ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır. Önce kesme parametrelerinden ilerleme oranı baz alınarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim, ardından takım tutucu başlıkta oluşan titreşim oranı baz alınarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim açıklanmıştır. Analiz sonunda elde edilen sonuçlara göre kurulmuş olan her iki model denkleminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p=0,001$, $p=0,039$). Buna göre, yüzey pürüzlülüğünün bir kısmı ilerleme oranı tarafından açıklanmaktadır. İlerleme oranının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde artış olmaktadır ($r=0,62$, $p=0,005$). Yüzey pürüzlülüğünün bir kısmı titreşim tarafından açıklanmaktadır. Titreşim değerinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde artış görülmektedir. ($r=0,52$, $p=0,001$). Elde edilen grafiklerde, literatürü doğrular şekilde kesme hızının artışı ile titreşimin (RMS) arttığı hesaplanan değerlerden görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen titreşim verilerinin, oluşan parça yüzey pürüzlülükleri ve işleme kararlılığının analizi ile üretim sürecinin iyileştirilmesine yönelik çözüm önerilerinin sunulmasında faydalı olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: SDU-BAP 2637-D-11).

V. KAYNAKLAR

- [1] O. Çolak, “CNC freze tezgahı için kesme parametrelerinin akıllı yöntemlerle elektronik ortamda optimizasyonu,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2006.
- [2] B. Özçelik, E. Kuram ve A. Sert, “Düzlem yüzey frezelemede takım tutucuları ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi,” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 1-13, 2011.
- [3] Y. Altıntaş ve M. Eynian, “Chatter Stability of General Turning Operations with Process Damping,” *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, c. 131, s. 4, ss. 10, 2009.
- [4] O. Oral, “Çok eksenli işleme merkezleri için akıllı takım sistemi tasarımı ve kontrolü”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2013.
- [5] Y. H. Tsai, J. C. Chen, ve S. J. Lou, “An in-process surface recognition system based on neural networks in end milling cutting operations,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, c. 39, s. 4, ss. 583-605, 1999.
- [6] S. J. Lou, ve J. C. Chen, “In-process surface roughness recognition (issrr) system in end-milling operations,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 15, s. 3, ss. 200-209, 1999.
- [7] Y. Lee, C. Kang, H. Jeong, W. Lee ve S. Kim, “Simulation of surface roughness and profile in high speed end milling”, *Journal of Material Processing Technology*, c. 113, s. 3, ss. 410-415, 2001.
- [8] Y. M. Ertekin, Y. Kwon ve T. Tseng, “Identification of common sensory features for the control of CNC milling operation under varying cutting conditions,” *Int. J. of Machine Tool and Manufacturing*, c. 43, s. 9, ss. 897-904, 2003.

- [9] K. Fuat ve B. Öztürk. "Comparison and optimization of PVD and CVD method on surface roughness and flank wear in hard-machining of DIN 1.2738 mold steel," *Sensor Review* c. 39. s. 1 ss. 24-33, 2019.
- [10] A. Jawaid, S. Sharif ve S. Koksai, "Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy," *Journal of Materials Processing Technology*, c. 99, s. 3, ss. 266-274, 2005.
- [11] Mitsubishi. (2019, 02 Şubat). *Materials Kobe Tolls. General Katalogue* [Çevrimiçi]. Erişim: http://www.mitsubishicarbide.com/en/download/catalog_top/catalog
- [12] S. Şan, "Mikroalaşımli çeliklerin işlenebilirliğinin takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Türkiye, 2007.
- [13] T. Kıvak, ve U. Şeker. "Effect of cryogenic treatment applied to M42 HSS drills on the machinability of Ti-6Al-4V alloy," *Materials and Technology* c. 49, s. 6, ss. 949-956, 2015.