

7075 Alüminyum Malzemesinin Frezeleme Yüzey Pürüzlülüğünün Yanıt Yüzey Yöntemi ile İyileştirilmesi

Levent UĞUR 

Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, 05100, Amasya

Geliş / Received: 19/09/2018, Kabul / Accepted: 08/03/2019

Öz

Talaşlı imalat sırasında yüksek kaliteli yüzeyler elde etmek için işlem girdisi kesme parametrelerinin dikkate alınması gerekir. Yanlış seçilen kesme parametreleri, hem kesici takımın çabuk aşınmasına yol açmakta hem de yüzeyin istenilen kalitede olmasını engellemektedir. Bundan dolayı, uygun kesme parametreleri ile teknik resimde tanımlanan kalitede yüzeyler elde etmek için çeşitli deneysel tasarım yöntemlerinin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, sanayinin farklı alanlarında kullanılan Al 7075 malzemesi, kuru işleme şartlarında ve frezeleme yöntemi ile işlenmiştir. İşleme sırasında kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi işleme parametrelerinin iyileştirilmesi, yanıt yüzey metodu ile kombine edilmiş üç seviyeli Box-Behnken deney tasarımı oluşturularak yapılmıştır. Frezeleme sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ölçülerek analiz edilmiş ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametreleri iyileştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye sahip olan parametre olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Box-Behnken, İyileştirme, Yanıt Yüzey yöntemi, Yüzey pürüzlülüğü.

Optimization of Surface Roughness in Milling of 7075 Aluminum Material By Response Surface Method

Abstract

In order to obtain high quality surfaces in machining, the cutting parameters must be taken into account. Incorrectly selected cutting parameters not only result in rapid wear of the cutting tool but also prevent the surface from being of desired quality. Therefore, it is of great importance to use various experimental design methods to obtain cutting surfaces as defined in the technical drawings with appropriate cutting parameters. In this study, Al 7075 material, which is used in different areas of industry, was processed under dry machining conditions and by milling. Improvement of processing parameters such as cutting speed, feed rate and depth of cut used in machining has been done by creating a three-level Box-Behnken experiment design combined with response surface method. Surface roughness (Ra) values resulting in milling were measured and analyzed. The cutting parameters affecting the surface roughness were optimized. In addition, according to the results of the analysis, it was determined that the feed rate has the greatest effect on the surface roughness in machining.

Keywords: Box-Behnken design, Optimization, Response surface methodology, Surface roughness.

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesi ve talaşlı imalat sektörünün büyümesi ile CNC tezgâhlarının kullanımı imalat sektöründe giderek yaygınlaşmaktadır (Anwar, Mirza Jahanzaib, Wasim, & Hussain, 2015). Talaşlı imalat sektöründe farklı talaş kaldırma yöntemleri mevcuttur. Frezeleme işlemi kalıpcılık, havacılık, otomobil, biyomedikal ürünler ve diğer imalat sektörlerinde gereken yüzey

kalitesinin ekonomik bir şekilde elde etmesinden dolayı yaygın olarak tercih edilen talaş kaldırma yöntemlerinin başında gelmektedir (Subramanian, Sakthivel, & Sudhakaran, 2014). Tüm üretim yöntemlerinde olduğu gibi talaşlı imalat sektöründe de ürünün boyut ve geometrik toleranslarının yanında tatmin edici bir yüzey pürüzlülüğüne en düşük maliyet ile ulaşması istenmektedir (Gunay, 2008). Ancak, talaş

kaldırma işleminde yüzey pürüzlülüğüne etki eden kesme hızı, kesme derinliği gibi kesme parametrelerin etkilerinin doğru analiz edilmesi ve bu parametrelerin belirlenmesi, maliyet tasarrufu yönünden üreticiye önemli bir fayda sağlayacaktır (Sukvittayawong & Inasaki, 1991). Yüksek mekanik özelliklerinin yanında hafif olmalarından dolayı alüminyum alaşımları çeşitli sektörlerde ana mühendislik malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sektörlerin başında uzay, havacılık, silah ve savunma sanayi gelmektedir. Ayrıca alüminyum alaşımları roket ve füze sistemlerinde farklı oran ve şekillerde yer almaktadır. (Zhao & Jiang, 2008). Alüminyum alaşımları olarak kullanımının yaygınlaşması sonucu işlenebilirlikleri yaygın bir araştırma konusu olmuştur. Alüminyum alaşımları diğer malzemelerden farklı olarak talaş kaldırma işlemi sırasında sıvama olayı meydana gelmekte ve kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü gibi işlem parametreleri olumsuz etkilenmektedir (Şeker, 2000). Talaşlı imalat sektöründe tercih edilen imalat yöntemleri ile işlenen yüzeyler, doğrudan veya dolaylı olarak kesme parametrelerinden etkilenmektedir. Yanlış belirlenen kesme parametreleri; kesici takımların çabuk aşınması veya yıpranması, iş parçalarının kaybı veya kötü yüzey kalitesi gibi finansal kayıplara neden olmaktadır (Guvercin & Yıldız, 2018). Bu kesme parametreleri çoğunlukla tecrübeye göre veya kesici takım kataloglarına göre belirlenmektedir (Sahoo, 2011). Ancak talaşlı imalat sonucunda yüzey pürüzlülüğünde daha iyi sonuçların elde edilmesi için kesme parametrelerinin iyileştirilmesinin modellenmesi gerekmektedir (Tzeng, Lin, Yang, & Jeng, 2009). Çünkü imalat sektöründe, parçaların yüzey kalitesinin iyi olması üretim kalitesini belirlemektedir. Bundan dolayı parçaların üretiminde yüzey pürüzlülüğünün (Ra) uygun değerini elde etmek için en uygun işleme parametrelerini bulmak üreticilerin öncelikli hedefi olmuştur. Verimliliği makul

maliyetle elde etmek için süreçlerin iyileştirilmesi üzerine üreticiler ve araştırmacılar tarafından birçok deneysel ve istatistiksel çalışma yapılmıştır. Azam ve arkadaşları karbür kaplamalı takım ile düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünü Ra cinsinden tahmin etmek için Yanıt Yüzey Yöntemini (YYY) kullanmışlardır. Çalışma sonucunda ilerleme hızının hassas bir parametre olduğu tespit edilmiştir (Azam, Jahanzaib, Wasim, & Hussain, 2015). Hasan ve arkadaşları Tellurium-Nickel kaplı Tungsten karbür kesici takım ile yumuşak çelikten talaş kaldırarak işleme deneyleri yapmışlardır. Kesme parametrelerinin iyileştirilmesi için Genetik Algoritma (GA) ve YYY'yi de hesaba katarak Ra'yı tahmin etmişlerdir. Bu sayede kalıp boşluğundaki yüzey pürüzlülüğünü 0,412 μm 'den 0,375 μm 'ye düşürerek %10'luk bir iyileştirme gerçekleştirmişlerdir (Öktem, Erzurumlu, & Kurtaran, 2005). Dilbag ve arkadaşları rulman çeliğinin tornalanmasında ilerleme hızının yüzey pürüzlülük değeri Ra'nın en düşük değerinde tutulmasında önemli bir etkisinin olduğunu belirlemişlerdir (Singh & Rao, 2007). Zhang ve arkadaşları yüzey pürüzlülüğü için devir sayısı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi işleme parametrelerini iyileştirme amacıyla Taguchi metodu uygulamışlardır. Devir sayısı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin, tornalama işleminde kesme derinliğinden daha büyük öneme sahip olduğu sonucuna varmışlardır (Zhang, Chen, & Kirby, 2007). Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile negatif, ilerleme hızı ve kesme derinliği ile pozitif bir ilişkisi olduğunu tespit etmiştir (Murat, 2013). Sharma ve arkadaşları titanyum alaşımının farklı kesme, ilerleme hızları ve soğutma sıvısı olmadan farklı yaklaşma açıları ile işleme özelliklerini incelemiş ve kesme hızlarındaki artışla, kesme kuvvetlerinin ve takım ucu sıcaklığının arttığını kaydetmişlerdir (Sharma, Sharma, & Sehgal, 2013). Francis

ve Dubey, tabanca metalinin işlenmesinde yüzeY pürüzlülüğünün Ra cinsinden iyileştirilmesi için Taguchi metodu ve YYY de içeren melez bir yaklaşım önermişlerdir. Bu çalışmada, devir sayısının kesme derinliğini etkileyen en önemli faktör olduğunu gözlemlemişlerdir (Francis & Dubey, 2013). Yukarıda bahsedilen çalışmalara göre frezeleme işleminde yüzeY pürüzlülüğünü iyileştirmek için yanıt yüzeY yönteminin kullanılmasının oldukça verimli olduğu görülmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada, havacılık endüstrisindeki parçaların üretiminde kullanılan bir malzeme olan 7075 Alüminyum alaşımları, CNC tezgâhında frezeleme işleminde sonucunda meydana gelen yüzeY pürüzlülüğünü iyileştirmek için gerekli en uygun kesme parametreleri YYY ile belirlenmiştir.

2. Yanıt yüzeY yöntemi

Yanıt yüzeY yöntemi (YYY) istatistiğe dayalı mevcut yöntemlerden biridir. YYY, yeni bir ürünün veya mevcut ürün tasarımının süreçlerinin geliştirilmesinde ve iyileştirilmesinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Montgomery, 1997). YYY, mümkün olan en az sayıda gözlemlenebilir değer ile yanıt yüzeYindeki en yüksek bağımlı değişkenlerin sayısını elde etmeyi amaçlayan deneysel bir kurulum göstermektedir (Öney & Samanlı, 2017). YYY'nin temel amacı, birçok faktörden oluşan bir tasarımda istenen özellikleri sağlayan bölgeyi ve bu bölgenin en iyi noktasını tahmin etmektir (Öney & Samanlı, 2017). Ayrıca YYY, deneysel modellerin uygunluğuna dayanır ve doğrusal veya kare polinom fonksiyonlarından oluşan bir tahmin modelini oluşturmak için tasarlanmış deneylerin bir dizisini kullanmaktadır (Chu, Fuh, & Yeh, 2014). Çoklu yanıt problemlerinin çözümü, veri elde edildikten sonra modelleme ve iyileştirme olmak üzere iki aşamada değerlendirilmektedir. Problemi tanımlarken, girdi değişkenleri

($X_i, i=1, 2, \dots, k$) ve yanıt değişkenleri ($Y_j, j=1, 2, \dots, r$) olarak kabul edilen özellikler kullanılır (Box & Draper, 2007). Çoklu yanıt yüzeY problemlerinin modellenmesi sürecinde, yanıt değişkenleri ile girdi değişkenleri arasındaki ilişkiyi tanımlamak için uygun bir fonksiyon belirlemek gereklidir. Gerçek tepki fonksiyonu tam olarak bilinmediğinden bağımsız ve tepki değişkenleri arasındaki fonksiyonel ilişki için uygun bir yaklaşım bulunmalıdır. Sistemin yanıt yüzeYinde, bağımsız değişkenin doğrusal bir fonksiyonu olarak iyi bir sonuç veriyorsa, yaklaşım birinci dereceden bir modeldir;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (1)$$

Eğer sistemin yanıt yüzeYinde bir eğrilik varsa, ikinci dereceden bir model daha uygun olabilir;

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2)$$

Bu eşitlikte; y tepki değişkenini, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ bilinmeyen regresyon parametrelerini, x_i, x_j süreç (karar) değişkenlerini ($i=1, 2, \dots, k$) ve ($j=1, 2, \dots, k$), ve ε hata terimini göstermektedir (Montgomery, 1997). YYY'de merkezi kompozit tasarım (MKT) ve Box-Behnken tasarımları en çok tercih edilenlerdendir. Box-Behnken tasarımının, tam faktöriyel deneysel tasarım yöntemine kıyasla daha az sayıda deneysel / sayısal sonuca gereksinimi vardır. Box ve Behnken, ikinci derece model parametrelerinin tahmininde kullanılan üç seviyeli tamamlanmamış çok faktörlü modellerden elde edilen bir tür rotasyonel tasarım yapmaktadır (Guvercin & Yıldız, 2018). Box-Behnken tasarımları, modellerin ikinci dereceden tahmin edilmesinde, sıralı modellerin oluşturulmasında, güven eksikliğinin analiz edilmesinde, bloklara izin verilmesinde ve deney tasarımlarında etkin

bir şekilde kullanılmasına olanak tanıyan bir yanıt yüzeyi yöntemidir. Ayrıca YYY, ihtiyaç duyulan cevabın çeşitli değişkenlerden etkilendiği problemlerin tasarlanması ve analizi için yararlı matematiksel ve istatistiksel teknikler ile sorunun iyileştirilmesini amaç edinmektedir (Yıldız, Ergül, Dirik, & Gezeğin, 2018).

3. Deneysel çalışma

Yapılan çalışmada, ticari olarak temin edilen 20x20x200 mm boyutlarında 7075 Alüminyum alaşımı (Al 7075) kullanılmıştır. Al 7075 malzemesi özellikle havacılık endüstrisinde, kauçuk ve plastik kalıplarda, otomotiv sanayi ve yüksek mukavemet istenilen makine parçalarında tercih edilmektedir. Al 7075 malzemesinin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. 7075 alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Zi+Ti	Diğer	Al
0,5	0,5	1,6	0,3	2,5	5,7	0,25	0,25	0,16	Kalan

Tablo 2. 7075 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri

En Yüksek Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (Brinell)
530 -570	460 -505	6-8	145 -155

Deneyler için her bir iş parçası tezgâh tablasına mengene yardımıyla bağlanarak işlenmiştir. Deneylerde aynı yönlü frezeleme işleminden ve Fanuc OiMD kontrol ünitesine sahip “Sunmill Jhv-710” sanayi tipi CNC freze tezgâhından yararlanılmıştır. CNC freze tezgâhının gücü 7,5 kW olup, tezgâh iş mili 10.000 dev/dak'ya kadar çıkabilmektedir. Frezeleme deneylerinde Toolex marka dört ağızlı 12 mm çapında ve 0,6 mm köşe radyüsüne sahip parmak freze kullanılmıştır. Frezeleme sırasında parmak frezenin bağlanmasında bağlama uzunluğunun çapın üç katı olmasına dikkat edilmiştir.

İşlenmiş yüzeyler üzerinden alınan yüzey pürüzlülüğü ölçümleri "Mitutoyo SurfTest SJ-210 " marka cihaz ile elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümleri (Ra), işlenen yüzeylerin farklı noktalarında alınan üç değer aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, deney tasarımı için Box-Behnken deney tasarımı tercih edilmiştir. İlk

olarak yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametreleri ve seviyeleri belirlenerek Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Kesme parametreleri ve seviyeleri

Kesme Parametreleri	Sembol	Seviye		
		Düşük -1	Merkez 0	Yüksek +1
İlerleme (mm/dev)	f	0,1	0,13	0,16
Kesme Hızı (m/dk.)	V	60	80	100
Kesme Derinliği (mm)	a	0,5	1	1,5

Box-Behnken tasarımına göre yapılacak deney sayısı 15 deney olarak belirlenmiştir. Box-Behnken tasarımında kullanılan üç seviyeyi ve bu seviyelere karşılık gelen ortalama Ra değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

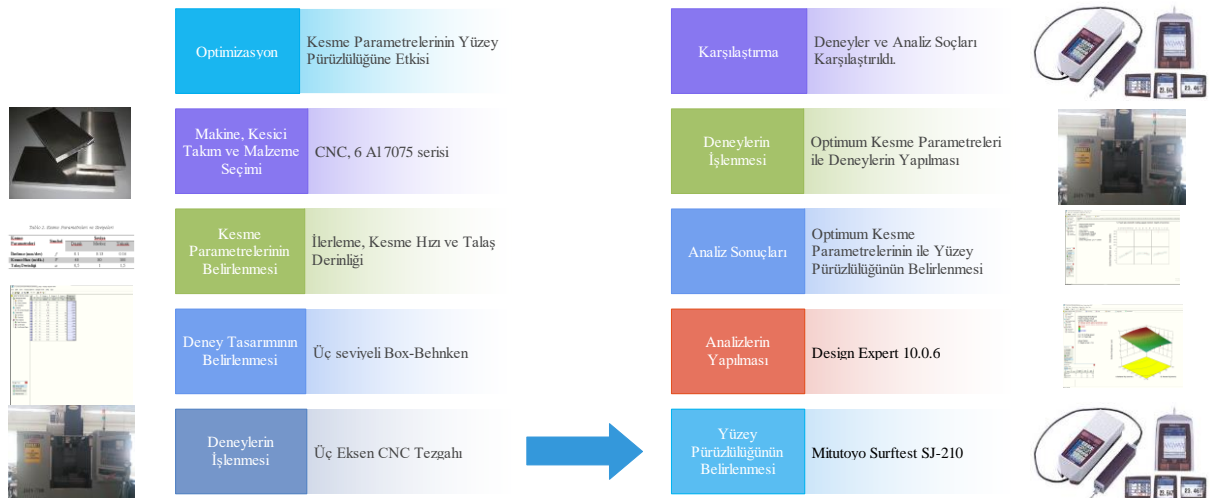
Tablo 4. Box-Behnken deney tasarımı ve deney sonuçları

Deney No	Kesme Parametreleri			Deneysel Sonuç
	İlerleme, f (mm/dev)	Kesme Hızı, V (m/dk.)	Kesme Derinliği (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra (µm)
1	0,1 (-1)	60 (-1)	1 (0)	1,248
2	0,16 (+1)	60 (-1)	1 (0)	2,5325
3	0,1 (-1)	100 (+1)	1 (0)	0,8128
4	0,16 (+1)	100 (+1)	1 (0)	2,5487
5	0,1 (-1)	80 (0)	0,5 (-1)	0,945
6	0,16 (+1)	80 (0)	0,5 (-1)	2,411
7	0,1 (-1)	80 (0)	1,5 (+1)	1,5254
8	0,16 (+1)	80 (0)	1,5 (+1)	2,584
9	0,13 (0)	60 (-1)	0,5 (-1)	1,454
10	0,13 (0)	100 (+1)	0,5 (-1)	1,3254
11	0,13(0)	60 (-1)	1,5 (+1)	1,752
12	0,13 (0)	100 (+1)	1,5 (+1)	2,154
13	0,13 (0)	80 (0)	1 (0)	1,95
14	0,13 (0)	80 (0)	1 (0)	1,945
15	0,13 (0)	80 (0)	1 (0)	1,934

Yapılan deneysel çalışmada Al 7075 malzemesinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametrelerinin iyileştirilmesi için deneysel akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.

4. Bulgular ve iyileştirme

Elde edilen deneysel sonuçlar için Tasarım uzmanı (Design Expert 10.0.6) paket programı kullanılarak ilerleme hızı (f), kesme hızı (V) ve kesme derinliğinin (a) iş parçasında meydana getirdiği Ra üzerindeki varyasyonlarının ana etkileri üzerine istatistiksel analizler yapılmış ve denklem 3'te olduğu gibi en uygun yüzey pürüzlülüğü için ikinci derece regresyon modeli oluşturulmuştur.



Şekil 1. Deney akış şeması

$$R_a = +1,94 + 0,69f - 0,018V + 0,24a + 0,011fV - 0,010fa + 0,13Va + 0,019f^2 - 0,18V^2 - 0,095a^2 \quad (3)$$

model varyans analizi sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Kesme parametrelerinin çıkış parametrelerine katkısını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve ikinci dereceden

Tablo 5. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu

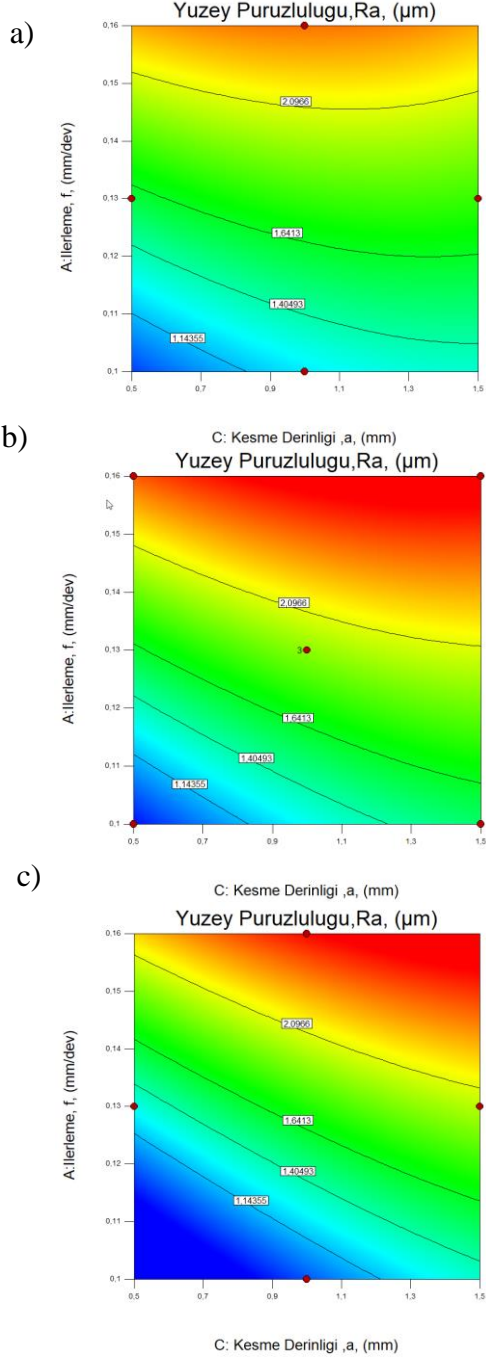
Kaynak	Kareler toplamı	df (serbestlik derecesi)	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	4,60	9	0,51	23,60	0,0014	Anlamlı
<i>f-İlerleme Hızı</i>	3,84	1	3,84	177,61	< 0,0001	Anlamlı
<i>V-Kesme Hızı</i>	2,650E-003	1	2,650E-003	0,12	0,7406	
<i>a-Kesme Derinliği</i>	0,44	1	0,44	20,42	0,0063	Anlamlı
<i>fV</i>	0,051	1	0,051	2,35	0,1855	
<i>fa</i>	0,041	1	0,041	1,92	0,2247	
<i>Va</i>	0,070	1	0,070	3,25	0,1312	
<i>f²</i>	1,298E-003	1	1,298E-003	0,060	0,8163	
<i>V²</i>	0,11	1	0,11	5,30	0,0696	
<i>a²</i>	0,034	1	0,034	1,55	0,2679	
Kalan	0,11	5	0,022			
Toplam	4,70	14				

Yeterli Hassasiyet = 88,235

R² = 0,9769; R² (tahmin edilen) = 0,9061; R² (düzeltilmiş) = 0,9355

Tasarım Uzmanı (Design Expert 10.0.6) yardımı ile farklı kesme hızlarında kesme derinliği ve ilerleme hızında meydana gelen Ra'nın varyasyonları Şekil 2'de

gösterilmektedir. Şekildeki kontur haritalarında yer alan çizgiler, farklı kesme parametrelerinde Ra'nın farklı değerlerini taşımaktadır.

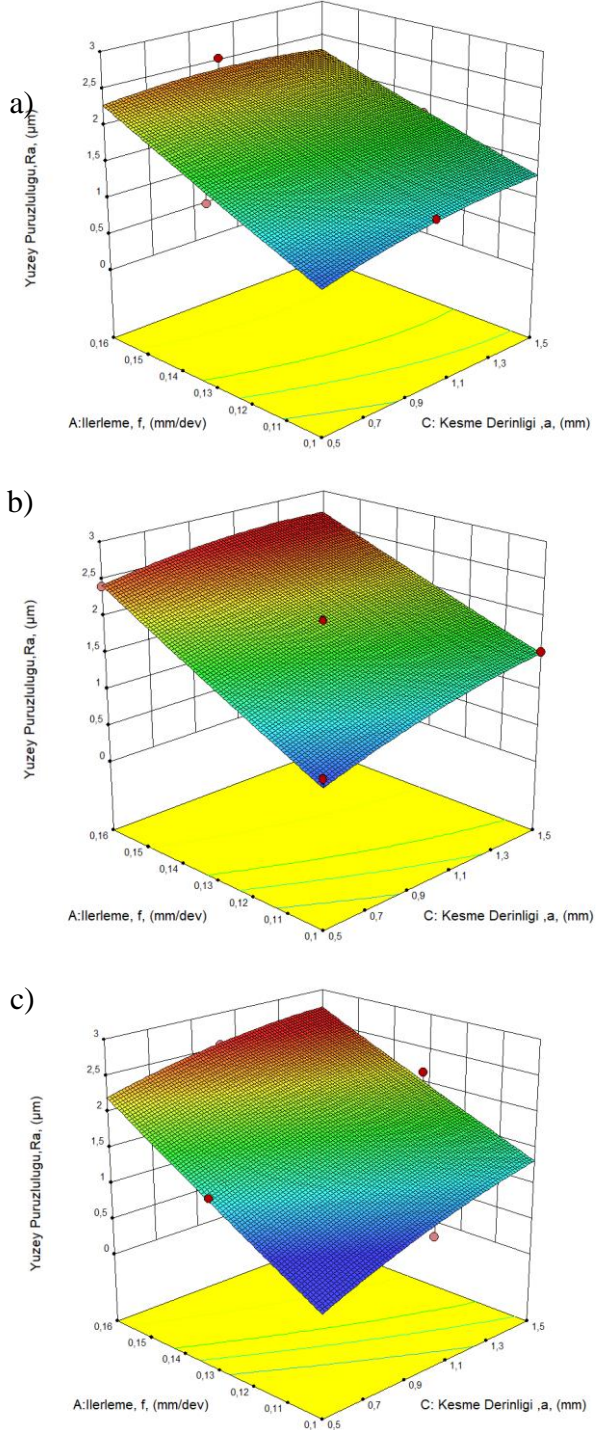


Şekil 2. İlerleme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlüğü haritası a) Kesme Hızı 60 m/dk. b) Kesme Hızı 80 m/dk. c) Kesme Hızı 100 m/dk.

Bu kontur haritaları yardımı ile imlecın harita üzerinde gezdirilmesi ile istenilen Ra değeri için istenilen kesme hızında kesme derinliği ve ilerleme hızı belirlenebilmektedir.

Kesme hızları için kesme derinliği ve ilerleme yüzey pürüzlülüğü haritasının çıkarılmasından sonra yüzey yanıt yöntemi oluşturulmuştur. Şekil 3. a, b ve c'den

anlaşılacağı gibi farklı kesme hızlarında kesme derinliğinin ve ilerleme hızının düşmesi ile Ra değerinin azaldığı görülmektedir.



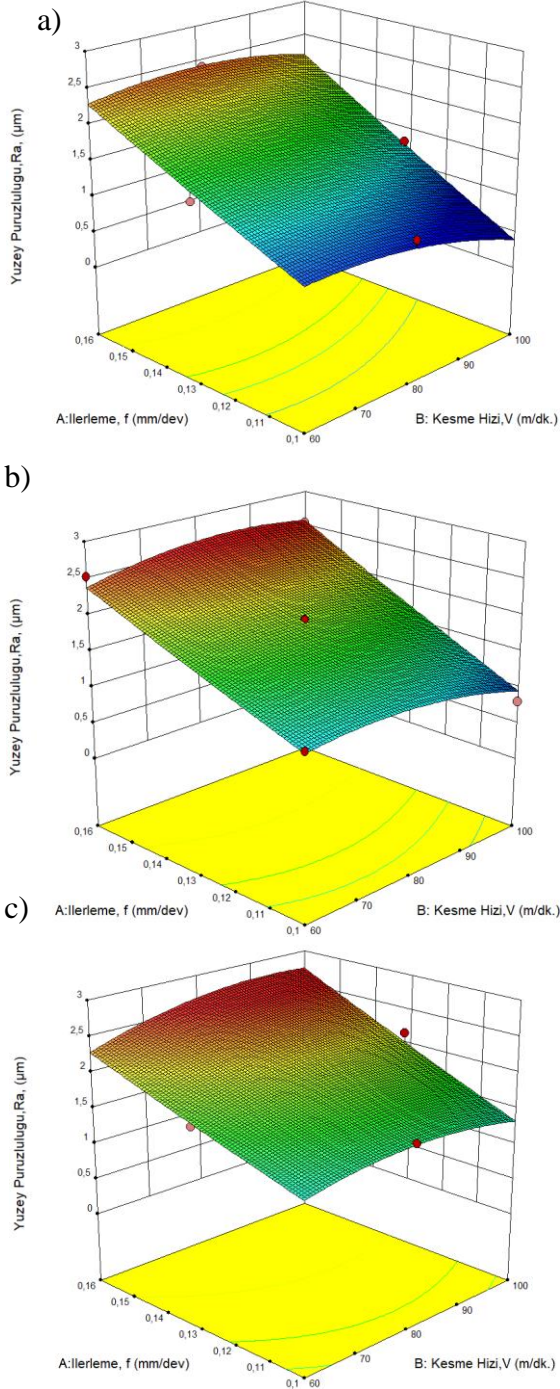
Şekil 3. Yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme derinliğinin ve ilerleme hızının etkisi a) Kesme Hızı 60 m/dk. b) Kesme Hızı 80 m/dk. c) Kesme Hızı 100 m/dk. İlerleme ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 4'te gösterilmektedir. Şekil 4.a'dan anlaşılacağı gibi farklı kesme

derinliklerinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok etkili olmadığı bunun yanı sıra ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünde daha fazla etkili olduğu görülmektedir.

düşük yüzey pürüzlülüğü için uygun kesme parametresi değerleri, Tasarım Uzmanı (Design Expert 10.0.6) programından elde edilmiştir. Elde edilen uygun kesme parametresi değerleri ve bu optimum değerlere karşılık gelen yüzey pürüzlülük değeri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. İyileştirilen kesme parametreleri ve yüzey pürüzlülük değerleri

İlerleme, f (mm/dev)	Kesme Hızı, V (mm/dk.)	Kesme Derinliği, a (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra (µm)
0,13	90,06	0,85	1,9383



Şekil 4. Yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme ve ilerleme hızının etkisi a) Kesme Derinliği 0,5 mm b) Kesme Derinliği 1 mm c) Kesme Derinliği 1,5 mm

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelendikten sonra, en

Elde edilen kesme parametreleri ile yeniden deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda yüzey pürüzlülüğü değerleri 3 tekrarla ölçülmüş ve ortalama yüzey pürüzlülüğü 1,951 µm olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, Box-Behnken tasarımından elde edilen sonucun son deneysel çalışmanın sonucu ile oldukça yakın olduğu ortaya konmuştur.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametrelerinin iyileştirilmesi için üç seviyeli Box-Behnken tasarımı ile yanıt yüzey yöntemi birleştirilmiştir. Alüminyum 7075 serisi 20x20x200mm ölçülerinde kütük malzeme üç eksen CNC tezgâhında işlenmiş yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek ortalama değerler elde edilmiştir. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Tasarım Uzmanı (Design Expert 10.0.6) programında analiz edilmiş ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametreleri iyileştirilmiştir. Çalışmanın çarpıcı bulguları aşağıda sıralanmıştır.

- Box-Behnken deneysel tasarım sonucunda R^2 (adjusted) = 0,9769 olarak elde edilmiş ve bu tasarımın doğru tahminler yapabileceğinin ispatı olarak görülmüştür.

- Deneyleerde kullanılan parametrelere ve parametre seviyelerine göre, literatürdeki benzer çalışmalarda olduğu gibi ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre olduğu bulunmuştur (Azam et al., 2015; Singh & Rao, 2007).
- Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok az etkiye sahip olduğu görülebilir.
- Yüzey pürüzlülük değerinin iyileştirilmesi için, 0,13 mm/dev ilerleme, 90,06 m/dk kesme hızı ve 0,85 mm kesme derinliğinin kullanılması gerekmektedir.
- Box-Behnken tasarımı ve deneysel çalışmadan elde edilen uygun yüzey pürüzlülük değerlerinin birbirine çok yakın olmasından dolayı Box-Behnken deney tasarımı yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi sorunlarını çözmek için kullanılabilir.

Deneme yanılma yöntemiyle ürünlerin imalatı sırasında yüzey kalitesinin istenen değerinin elde edilmesi zaman alıcı bir yöntemdir. Bu araştırmanın bulguları dikkate alınarak zaman israfı önlenir ve yüzey kalitesinin istenen değeri kesme parametreleriyle birlikte hesaplanabilir. Malzemenin cinsi önemli değildir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği malzeme cinsi ne olursa olsun benzer etkiyi gösterir.

6. Kaynaklar

- Anwar, R., Mirza Jahanzaib, G. A., Wasim, A., & Hussain, S. (2015). Optimization of Surface Roughness for Al-Alloy 7075-T in Milling Process. *Technical Journal, University of Engineering and Technology*, 20(11).
- Azam, M., Jahanzaib, M., Wasim, A., & Hussain, S. (2015). Surface roughness modeling using RSM for HSLA steel by coated carbide tools. *The International Journal of Advanced*

Manufacturing Technology, 78(5-8), 1031-1041.

- Box, G. E., & Draper, N. R. (2007). *Response surfaces, mixtures, and ridge analyses* (Vol. 649): John Wiley & Sons.
- Chu, T., Fuh, K., & Yeh, W. (2014). Modelling and analysis of deep drawing with utilisation of vibrations and servo press using response surface methodology. *Materials Research Innovations*, 18(sup2), S2-936-S932-939.
- Francis, V., & Dubey, A. (2013). Application of Taguchi and response surface methodologies for surface roughness in face milling operation. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 3(2), 213-220.
- Gunay, M. (2008). Investigation of the interaction between the surface quality and rake angle in machining of AISI 1040 steel. *Sigma-Journal of Engineering and Natural Sciences*, 26(2), 105-111.
- Guvercin, S., & Yildiz, A. (2018). Optimization Of Cutting Parameters Using The Response Surface Method. *Sigma Journal Of Engineering And Natural Sciences-Sigma Muhendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi*, 36(1), 113-121.
- Montgomery, D. C. (1997). *Design and Analysis of Experiments*, 4th ed., John Wiley and Sons Inc., New York.
- Murat, A. (2013). Optimization of process parameters with minimum surface roughness in the pocket machining of AA5083 aluminum alloy via Taguchi method. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38, 705-714.
- Öktem, H., Erzurumlu, T., & Kurtaran, H. (2005). Application of response surface methodology in the optimization of cutting conditions for surface roughness. *Journal of materials processing technology*, 170(1-2), 11-16.

- Öney, Ö., & Samanlı, S. (2017). Kütahya/Altıntaş Grafitlerinin Kaba Flotasyon Parametrelerinin Box-Behnken Deney Tasarımı Kullanılarak Optimizasyonu ve Modellenmesi. *Journal of Science and Engineering*, 19(56).
- Sahoo, P. (2011). Optimization Of Turning Parameters For Surface Roughness Using RSM And GA. *Advances in Production Engineering & Management*, 6(3).
- Sharma, A., Sharma, M. D., & Sehgal, R. (2013). Experimental Study of Machining Characteristics of Titanium Alloy (Ti-6Al-4V). *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(11), 3201-3209.
- Singh, D., & Rao, P. V. (2007). A surface roughness prediction model for hard turning process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(11-12), 1115-1124.
- Subramanian, M., Sakthivel, M., & Sudhakaran, R. (2014). Modeling and analysis of surface roughness of AL7075-T6 in end milling process using response surface methodology. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39 (10), 7299-7313.
- Sukvittayawong, S., & Inasaki, I. (1991). Optimization of Turning Process by Cutting Force Measurement. *Jsme International Journal Series Iii-Vibration Control Engineering Engineering for Industry*, 34(4), 546-552. doi:DOI 10.1299/jsmec1988.34.546
- Şeker, U. (2000). Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı. *GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları, Ankara*.
- Tzeng, C.-J., Lin, Y.-H., Yang, Y.-K., & Jeng, M.-C. (2009). Optimization of turning operations with multiple performance characteristics using the Taguchi method and Grey relational analysis. *Journal of materials processing technology*, 209(6), 2753-2759.
- Yildiz, A., Ergül, E. U., Dirik, H., & Gezeğin, C. (2018). Transformatör Sargı En Sıcak Nokta Sıcaklığının Box-Behnken Ve Taguchi Deney Tasarımı Yöntemleriyle Tahmini. *III. Uluslararası Mesleki Ve Teknik Bilimler Kongresi*, 56-64.
- Zhang, J. Z., Chen, J. C., & Kirby, E. D. (2007). Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method. *Journal of materials processing technology*, 184(1-3), 233-239.
- Zhao, T., & Jiang, Y. (2008). Fatigue of 7075-T651 aluminum alloy. *International Journal of Fatigue*, 30(5), 834-849.