



Haddeleme İşleminin Yüzey Yanıt Yöntemi İle Analizi

Fikret SÖNMEZ^{1, *}, Hüdayim BAŞAK², Şehmus BADAY³

¹ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

²Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

³Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye.

Başvuru: 28/07/2016

Düzeltilme: 05/09/2016

Kabul: 06/09/2016

ÖZ

Çeşitli imalat işlemleri uygulanan makine parçaları kullanılmadan önce sonlandırma operasyonlarına tabii tutulurlar. Talaş kaldırmaksızın yapılan ve bir sonlandırma operasyonu olarak öne çıkan haddeleme işlemi parçaların yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için kullanılan bir sonlandırma operasyonudur. Bu çalışmada Al-6061 malzemesinden elde edilmiş olan dönel parçaların haddelenmesi sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiştir. Alüminyum malzemeler haddeleme kuvveti, ilerleme hızı ve paso sayısı parametrelerine bağlı olarak haddelenmiş ve elde edilen sonuçlar yüzey yanıt yöntemi (YYY) ile değerlendirilmiştir. YYY ile haddeleme parametrelerinin etkinlikleri araştırılmış ve lineer ve ikinci dereceden matematiksel modeller ile sonuçlar ortaya konmuştur. Oluşturulan model ile yapılan tahminlerin deney sonuçları ile tutarlılığı ve optimum deney parametreleri incelenmiştir. Deney sonuçları kullanılarak oluşturulan ikinci derecedeki modelin tahmin ettiği değerler incelenmiştir. Oluşturulan modelin tahmin ettiği değerler ile gerçek deney değerleri karşılaştırıldığında R2 değeri 0,891 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak YYY ile oluşturulan model ile gerçek değerlere yakın tahminlerin elde edilebileceği ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Yüzey Yanıt Yöntemi, Haddeleme, Yüzey Pürüzlülüğü

Analysis Of Burnishing Process With Response Surface Method

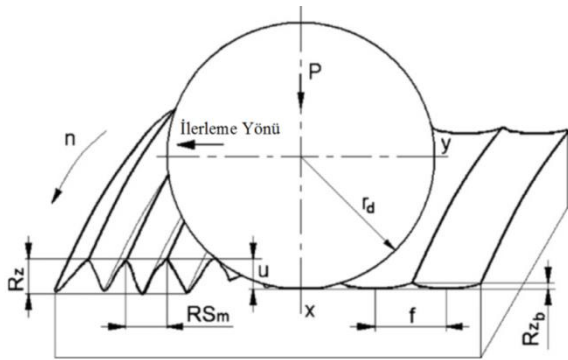
ABSTRACT

Machine parts applied to various manufacturing processes are subjected to finishing operations before they are used. Burnishing stands out as a finishing operation performed without removing the chip and it is used to reduce surface roughness on parts. In this study, the results of surface roughness values after burnishing of Al-6061 rotary pieces were examined. Aluminum materials burnished with depending on parameters of burnishing force, feed rate and number of passes and the results obtained response surface method (RSM) are evaluated. The effectiveness of burnishing parameters were investigated with RSM and revealed the results with linear and quadratic mathematical models. The consistency of test results predictions with generated by the model and optimal experimental parameters were investigated. The values predicted by the model of the quadratic generated using experimental results were analyzed. On comparing the actual experimental values with the values predicted by the created model, R2 value is calculated as 0.891. As a result, have been revealed that the estimates close to the actual values can be achieved with the created model with RSM.

Keywords: Response Surface Method, Burnishing, Surface Roughness

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Makine parçalarının imalatı çok aşamalı bir süreçtir. İmal edilen parçaların istenilen teknik özelliklere sahip olması için sonlandırma operasyonları kullanılır. Haddemeleme işlemi talaş kaldırmadan uygulanan bir sonlandırma operasyonudur. Sonlandırma operasyonlarından en önemlisi olan ve oldukça geniş bir kullanım alanı olan taşlama işleminden ve diğer sonlandırma operasyonlarından farklı kılın temel özellik talaş kaldırmadan malzeme yüzeyini ezerek işlem yapılmasıdır [1]. Haddemeleme işlemi sonucunda yüzey pürüzlülüğünde azalma ve yüzey sertliğinde artış gözlenir [1-2]. Haddemeleme işleminin getirdiği diğer avantajlar ise korozyon dayanımının artması ve yorulma ömründe iyileşme olarak sayılabilir [3]. Bu sonlandırma işlemi genellikle dönel parçalar için ve torna tezgahlarında uygulanır [1-4]. Haddemeleme işleminin temel prensibi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Haddemeleme İşlemi [5]

Haddemeleme işlemi bir sonlandırma operasyonu olarak mekanik özelliklerde gelişmeler meydana getirirken bununla beraber uygulandığı parçalarda ovaliğin giderilmesi gibi geometrik faydalar da oluşturur [6]. Bu sonlandırma yönteminde ezici yapısı bilyeli veya makaralı gibi birçok farklı ezici türü ile kullanılabilir [7].

Filho ve ark., Ti-6Al-4V alaşımının tormalanmasında, kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü üzerinde etkilerini optimize etmek için YYY kullanmışlardır. Kesme parametrelerinin etkinliğini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme oranı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmede etkin faktörler olduğunu ortaya koymuşlardır. Buna ilaveten, bu faktörlerin yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmede güçlü bir ilişkiye sahip olduğunu göstermişlerdir [8].

Kumar ve ark., çalışmalarında, Al 7075 sert seramik kompozit ve Al 7075 hibrit kompozit malzemelerin tormalanmasında kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme oranı ve kesici takım yavaşma açısı) etkilerini YYY ve yapay sinir ağları (YSA) ile modelleyerek araştırmışlardır. Her iki malzemede, ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi kesme hızı ve yavaşma açısına göre daha belirgin olduğunu göstermişlerdir [9].

Asiltürk ve ark., Co28Cr6Mo alaşımının tormalanmasında, kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği ve kesici takım tipi parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerini deney tasarım yöntemine göre elde etmişlerdir. Kesme parametrelerinin yüzey

pürüzlülüğü üzerinde etkisini belirlemek için ANOVA testi yapmışlardır. Optimum parametreleri belirlemek için ise YYY metodunu kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülük değerleri elde edilen modele göre bağımsız değişkenler tarafından %92 oranında açıklanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesici takım burun yarıçapının etkili parametre olduğunu tespit etmişlerdir [10].

Masmiati ve ark., S50C (AISI 1050) orta karbonlu çeliğin işlenmesinde kesme parametrelerinin etkisinin belirleme için YYY kullanmışlardır. Minimum yüzey pürüzlülük değerinin yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve düşük kesme hızlarında elde etmişlerdir [11].

Karkalao., ve ark; Ti-6Al-4V titanyum alaşımının işlenmesi sonucu ortaya çıkacak yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Deney sayısını azaltmak için Box Behnken deney tasarım yöntemini kullanmışlardır. Kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme oranını giriş parametreleri olarak belirlemiş ve çıkış parametreleri olarak yüzey pürüzlülük değeri olarak belirlemişlerdir. yüzey pürüzlülüğü üzerinde optimum kesme parametrelerini belirlemek için YYY kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmek için YSA modeli de oluşturmuşlardır. 0,9713 R² değeri ile YSA modeli 0,9824 R² değeri YYY metoduna göre daha iyi tahmin sonuçlarını elde etmişlerdir [12].

Bouacha; AISI 52100 rulman çeliğinin tormalanmasında kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri YYY kullanarak optimize etmiştir. İkinci dereceden model oluşturarak yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmin etmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü başlıca etki olarak ilerleme oranı ve kesme derinliği olduğu sonucuna varmıştır [13].

Suresh ve ark; AISI 4340 çeliğinin tormalanmasında, ikinci dereceden matematiksel modeli YYY kullanarak yüzey pürüzlülük üzerinde kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin etkilerini analiz etmişlerdir. Deneyleri tam faktöriyel deney tasarım metoduna göre belirlemişlerdir. Sonuç olarak düşük ilerleme oranı, düşük kesme derinliği ve yüksek kesme hızlarında düşük yüzey pürüzlülük elde etmişlerdir [14].

Sagbas çalışmasında AA7178 alüminyum alaşımının haddelenmesinde arzu edilen fonksiyon tasarımı deneyleri tasarlayıp YYY metodu ile yüzey pürüzlülük değerlerini optimizasyonunu yapmıştır. İkinci dereceden tümlleşik tasarım (CCD) yaklaşımı ile optimum yüzey pürüzlülük değerlerini bulmuştur. Geliştirilen modelde haddeme kuvveti, paso sayısı, ilerleme oranı ve haddeme hızı değişken olarak belirlemiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde haddeme kuvveti ve paso sayısının önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmıştır [15].

Venkatesan ve ark., Al alaşımlı hibrit kompozit malzemenin yüzey pürüzlülük değerlerini YYY kullanarak optimize etmişlerdir. Kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği ve sürtünmenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri belirlemişlerdir. Yüzey pürüzlülük değerinin kesme hızının artmasıyla azaldığı sonucuna varmışlardır [16].

Patel ve ark., haddeme sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmek için YYY ve YSA metodlarını kullanmışlardır. Kesme hızı, ilerleme oranı, paso sayısı ve baskı miktarı bağımsız değişken

parametreleri olarak belirlemişlerdir. YYY ve YSA tahmin sonuçları karşılaştırılmış ve YSA model sonuçlarının deney sonuçlarını daha iyi tahmin ettiği sonucuna varmışlardır [17].

Ekici ve ark., Hadfield çeliğinin tormalanmasında üç seviyeli kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği parametrelerini belirleyerek yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmek için YYY kullanmışlardır. Kesme parametrelerinin etkinliğini belirlemek için tümleşik tasarıma (CCD) sahip YYY ve ANOVA testini kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre olarak %90,28 katkı oranı ile ilerleme olduğunu bunu sırasıyla %3,12 ile kesme hızı ve %1,7 katkı oranı ile kesme derinliği şeklinde sıralandığını tespit etmişlerdir [18].

Auici ve ark., AISI H11 çeliğinin tormalanmasında yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmek için YYY kullanmışlardır. Kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme zamanı olarak belirleyerek ikinci dereceden model oluşturmuşlardır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme oranının diğer parametrelere göre daha etkin olduğunu belirlemişlerdir [19].

Gapta çalışmasında, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvvetlerini tahmin etmek için üç farklı optimizasyon modeli oluşturmuşlardır. Kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme süresi parametre olarak seçerek YYY, YSA ve Support Vector regresyon (SVR) modellerini karşılaştırmışlardır. SVR ve YSA modellerinin YYY metoduna göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermişlerdir [20].

Özçakar ve ark., yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmek için lineer ve ikinci dereceden matematiksel model oluşturmuşlardır. Kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği olarak belirleyerek optimum değerleri YYY ile belirlemişlerdir [21].

Bu çalışmada haddeleme sonucunda oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmek için lineer ve ikinci dereceden matematiksel modeller oluşturmak amaçlanmıştır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğüne etki eden haddeleme kuvveti, paso sayısı ve ilerleme oranı optimum parametreleri belirlemek için YYY kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

(MATERIAL AND METHOD)

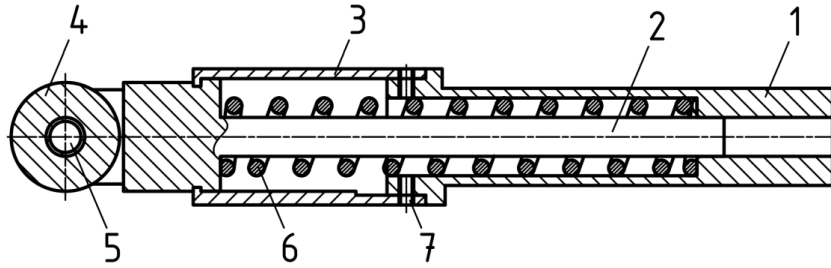
2.1. Deney Düzenegi (Experimental Setup)

Haddeleme işlemi için Alüminyum alaşım Al-6061 T6 malzeme kullanılmıştır. Malzeme silindirik yapıda ve çapı 18 mm olarak şekilde işlenmiştir. Bu malzemeye ait kimyasal yapı Tablo 1’de verilmiştir.

Malzeme torna tezgahında ayna punta arasında sabitlemiş ve 500 dev/dak sabit dönüş hızı ile haddeleme işlemine tabi tutulmuştur. Deneyler öncesi yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde deney numunelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin Ra 3,2 olduğu tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılan haddeleme aparatı montaj resmi Şekil 2’de verilmiştir.

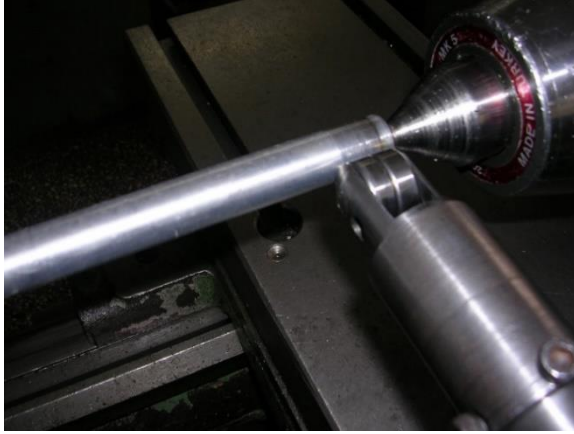
Tablo 1. Al-6061 çelik malzemenin kimyasal bileşimi

Al	Mg	Si	Fe	Cu	Cr	Zn	Mn	Ni	Ti
%97,92	%1,00	%0,65	%0,35	%0,30	%0,23	%0,08	%0,05	%0,05	%0,04



Şekil 2. Haddeleme Aparatı [22]

Parçalar:(1) Adaptör ; (2) Mil ; (3) Kafes ; (4) Haddeleme makarası ; (5) Pim ; (6) Yay ; (7) Civata;



Şekil 3. Haddeme İşlemi [22]

2.2. Yüzey Yanıt Yöntemi (Response Surface Method)

YYY araştırılan yanıtın veya tepkinin farklı parametrelerden etkilendiği durumlarda yanıtın optimizasyonu için kullanılır. YYY ile yapılan modellemelerde istatistiksel teknikler ve matematiksel teknikler birlikte kullanılır [23-24].

YYY ile yapılan modellemelerde genel olarak birinci derece (linear) model ikinci derece (kuadratik) model kullanılmaktadır. Birinci derece modelin temel formülü Eşitlik 1.'de görülmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (1)$$

Birinci derece model yapısında değişkenler birbirinden etkileniyorsa yanıt polinomu Eşitlik 2.'de görüldüğü gibi oluşmaktadır.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2 \quad (2)$$

Model yapısı doğrusal bir polinom değilse ikinci derece model ile çözüm aranmaktadır. Bu modele ait temel formül Eşitlik 3.'de görülmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (3)$$

Tablo 2. Kullanılan parametreler ve seviyeler

Sembol	Parametre	Birim	Seviye -1	Seviye 0	Seviye 1
f	İlerleme Hızı	mm/dev	0,12	0,24	0,36
k	Haddeme Kuvveti	N	30	50	65
p	Paso Sayısı	-	1	2	3

Tablo 3. Deney tasarımı ve deney sonuçları

İlerleme Hızı (f)		Haddeme Kuvveti (n)		Paso Sayısı (p)		Sonuçlar Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
Gerçek Değer	Seviye	Gerçek Değer	Seviye	Gerçek Değer	Seviye	
0,12	-1	30	-1	2	0	0,823
0,36	1	30	-1	2	0	1,210
0,12	-1	65	1	2	0	0,867
0,36	1	65	1	2	0	1,150

Haddeme işlemlerinde kullanılan parametrelerin analizi için YYY kullanılmıştır. YYY ile farklı deney tasarımları yapılabilmektedir. Box-Wilson tarafından geliştirilen Merkezi Kompozit Tasarımı (Central Composite Design) ve Box-Behnken tarafından bulunan ve kendi isimleri ile tanınan Box-Behnken tasarım yaklaşımı YYY ile kullanabilecek iki temel tasarım yaklaşımıdır [24-25].

2.3. Deney Tasarımı Belirlenmesi

(Determination of Design of Experiments)

Bu çalışmada Box-Behnken tasarım yöntemi tercih edilmiştir. Bu tasarım yönteminde deney sayısının ve deney parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan alfa değerinin 1 olması nedeni ile daha kolay tasarım yapılabilmektedir. Box-Wilson tasarımlarında farklı deneyler için parametreler teker teker değiştirilirken Box-Behnken tasarımında farklı deneyler için aynı anda birden fazla parametre değiştirilebilmektedir. Bu nedenle YYY ile oluşturulan deney sistemlerinde en az deney sayısı Box-Behnken yöntemi ile elde edilmektedir. Yapılan bu deneysel çalışmada olduğu gibi 3 seviyeli tasarımlar için Box-Wilson tasarımlarında deney sayısı 20 olurken Box-Behnken tasarımında bu sayı 15'e düşmektedir. Kullanılan haddeme parametreleri ve YYY seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir.

Box-Behnken tasarım yöntemine göre yapılması gereken deney sayısı 15 deney olarak tespit edilmiştir. Oluşan deney seti ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 3'de görülmektedir. Tablo 3'de verilen değerler hem yüzey yanıt yönteminde kullanılan 3 seviyeli yapıyı hem de bu seviyelere karşılık gelen gerçek değerleri göstermektedir.

0,12	-1	50	0	1	-1	1,147
0,36	1	50	0	1	-1	1,630
0,12	-1	50	0	3	1	0,587
0,36	1	50	0	3	1	1,307
0,24	0	30	-1	1	-1	1,793
0,24	0	65	1	1	-1	2,130
0,24	0	30	-1	3	1	1,743
0,24	0	65	1	3	1	1,487
0,24	0	50	0	2	0	1,403
0,24	0	50	0	2	0	1,393
0,24	0	50	0	2	0	1,413

3. DENEY SONUÇLARININ OPTİMİZASYONU VE DEĞERLENDİRİLMESİ

(OPTIMIZATION AND EVALUATION OF TEST RESULTS)

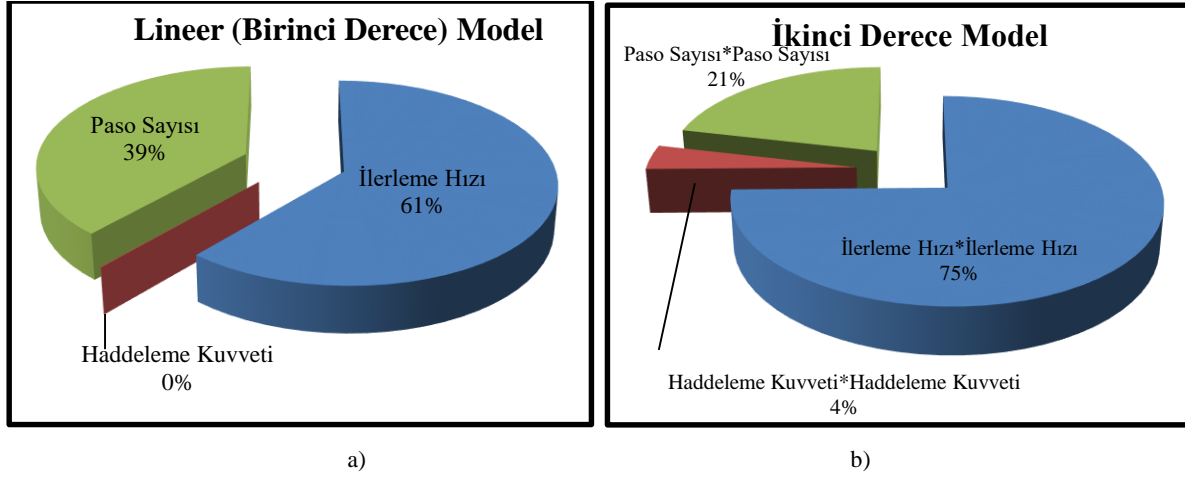
Deneyler sonrası Box-Behnken yüzey yanıt yöntemi tasarımının değerlendirilmesinde Minitab 17 paket programı kullanılmıştır. Modelin daha iyi sonuçlar ortaya

koyabilmesi için geri yayılım eliminasyonu kullanılmıştır. Bu model için yapılan ANOVA analizi Tablo 4’de görülmektedir.

ANOVA testinden elde edilen sonuçlara göre parametrelerin etkinlikleri 2 farklı modelle açıklanmaktadır. Lineer modelde parametrelerin bağımsız etkileri İkinci derece modelde ise parametrelerin kendi karelerinin etkinlikleri görülmektedir.

Tablo 4. Deney tasarımı ve deney sonuçları

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	7	2,20387	0,314839	40,21	0,000
Birinci Derece (Lineer) Model	3	0,71386	0,237955	30,39	0,000
İlerleme Hızı	1	0,43852	0,438516	56,01	0,000
Haddeleme Kuvveti	1	0,00053	0,000528	0,07	0,803
Paso Sayısı	1	0,27482	0,274819	35,10	0,001
İkinci Derece Model	3	1,36383	0,454610	58,07	0,000
İlerleme Hızı*İlerleme Hızı	1	0,94350	0,943496	120,51	0,000
Haddeleme Kuvveti*Haddeleme Kuvveti	1	0,04936	0,049357	6,30	0,040
Paso Sayısı*Paso Sayısı	1	0,26967	0,269668	34,44	0,001
Haddeleme Kuvveti*Paso Sayısı	1	0,09105	0,091053	11,63	0,011
Hata	7	0,05481	0,007829		
Uyum Eksikliği	5	0,05481	0,010961		
Saf Hata	2	0,000000	0,000000		
Toplam	14	2,25868			



Şekil 4. Oluşturulan Model Yapıları

Grafikler incelendiğinde bu haddeme veri seti için yapılan analizde Şekil 4a'da görülen lineer modelde ana etkinin ilerleme hızı verisinden kaynaklandığı ortaya çıkmaktadır. İlerleme hızı %61 ile en etkin parametre iken paso sayısı %39 etkinliğe sahiptir.

Haddeme kuvvetinin mevcut modelde etkinliği ihmal edilebilecek kadar küçük olmuştur. Şekil 4b.'de görülen İkinci derece model incelendiğinde ilerleme hızının karesinin %75 ile asıl etkiyi oluşturduğu paso sayısının karesinin %21 etki gösterdiği ve haddeme kuvvetinin karesinin %4' lük bir etki ortaya koyduğu görülmektedir.

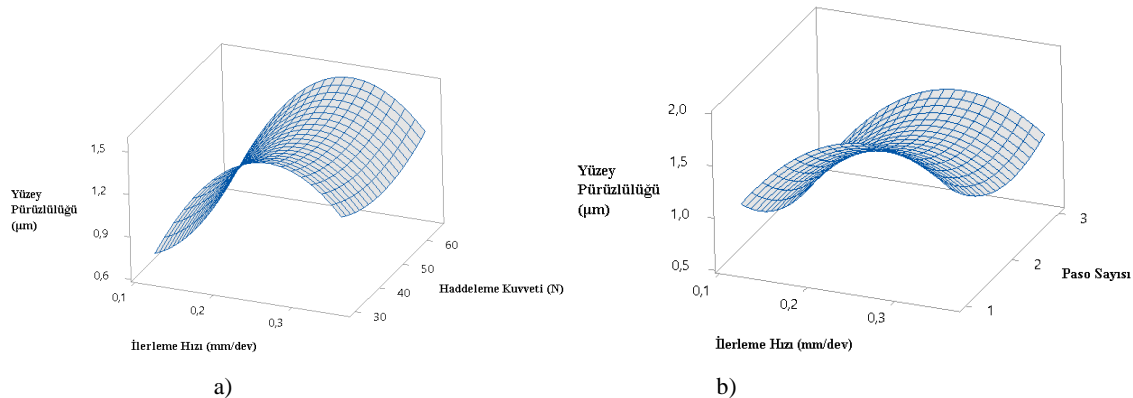
Deneylerde kullanılan ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen 3 parametrenin birlikte oluşturdukları etkiler Şekil 5'deki grafikler ile yorumlanmıştır. İlerleme hızının ve haddeme kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5a'da görülmektedir. İlerleme hızı ve paso sayısı değişkenlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5b'de görülmektedir.

İlerleme hızı ve haddeme kuvvetinin birbiri ile ilişkisini ortaya koyan grafik (Şekil 5a) incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünün doğrudan ilerleme hızından etkilendiği

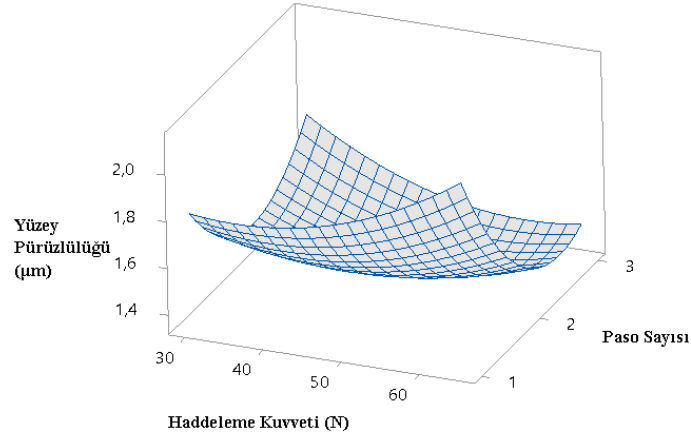
görülmektedir. İlerleme hızının en düşük değeri 0.1 mm/dev ilerlemede en küçük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. İlerleme hızının artmasına paralel olarak yüzey pürüzlülüğü değerinde artış gözlenirken ilerleme hızının 0.3 mm/dev olduğu durumda bir miktar değişim görülmektedir. En büyük ilerleme hızında yaşanan bu iyileşme haddeme işleminin kısmen sıvama yaptığı durumu ile açıklanabilir. Haddeme kuvvetindeki değişim ise önemli ölçüde sonuç oluşturmamaktadır. Bununla birlikte ortalama haddeme kuvveti ile yapılan deneylerde daha iyi sonuç alındığı söylenebilir.

İlerleme hızı ile paso sayısı arasındaki ilişkinin görüldüğü grafik (Şekil 5b) incelendiğinde ilerlemenin net bir şekilde etkisi gözlenmektedir. Paso sayısı ise ortalama değerde iken yüzey pürüzlülüğüne daha olumlu katkı sunmaktadır. En iyi yüzey pürüzlülük değeri en düşük ilerleme hızı ve 2 paso ile elde edilebilmektedir. Paso sayısının artması sonucu yüzeyde bir miktar bozulma olduğu söylenebilir.

Haddeme kuvveti ve paso sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 5. İlerleme Hızının haddeme kuvveti ve Paso Sayısı ile beraber Yüzey Pürüzlülüğüne etkisi



Şekil 6. Haddemele Kuvveti ve Paso Sayısının Yüzey Pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 6 incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerini oluşturan 2 paso ile yapılan haddemele işleminde haddemele kuvvetinin çok sınırlı bir etki oluşturduğu görülmektedir. Tek paso ile yapılan deneylerde ise haddemele kuvvetinin artışına paralel yüzey pürüzlülüğünde bir bozulma olduğu anlaşılmaktadır. Paso sayısının artması durumunda ise artan haddemele kuvveti yüzeye olumlu etki göstermiştir.

Bunun sebebi olarak her seferinde daha önce ezilmiş bölgenin ezilmesi için daha fazla kuvvet gerekeceği düşünülmektedir.

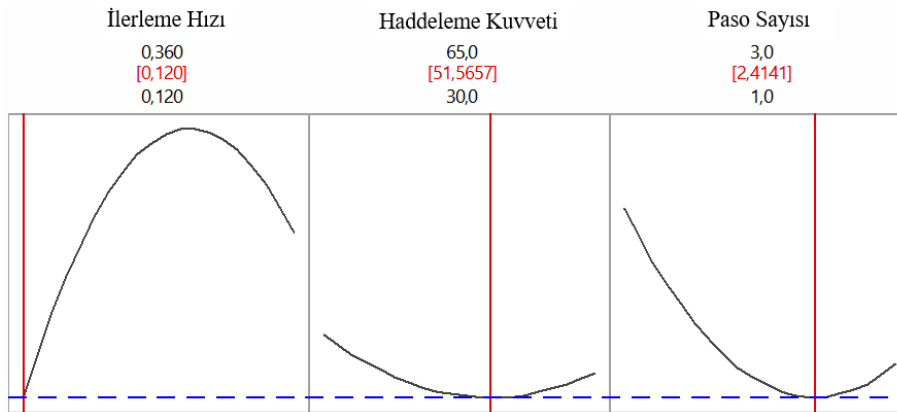
Yüzey yanıt yöntemi ile analiz edilen deney verilerinde elde edilen matematiksel model aşağıda gösterilmiştir. Yöntem farklı deney verileri için hesaplamaları oluşturduğu matematiksel modele göre yapmaktadır.

$$R_a = 0,399 + 18,8 \times f - 0,00192 \times n - 0,860 \times p - 35,10 \times f^2 + 0,000387 \times n^2 + 0,270 \times p^2 - 0,00858 \times n \times p$$

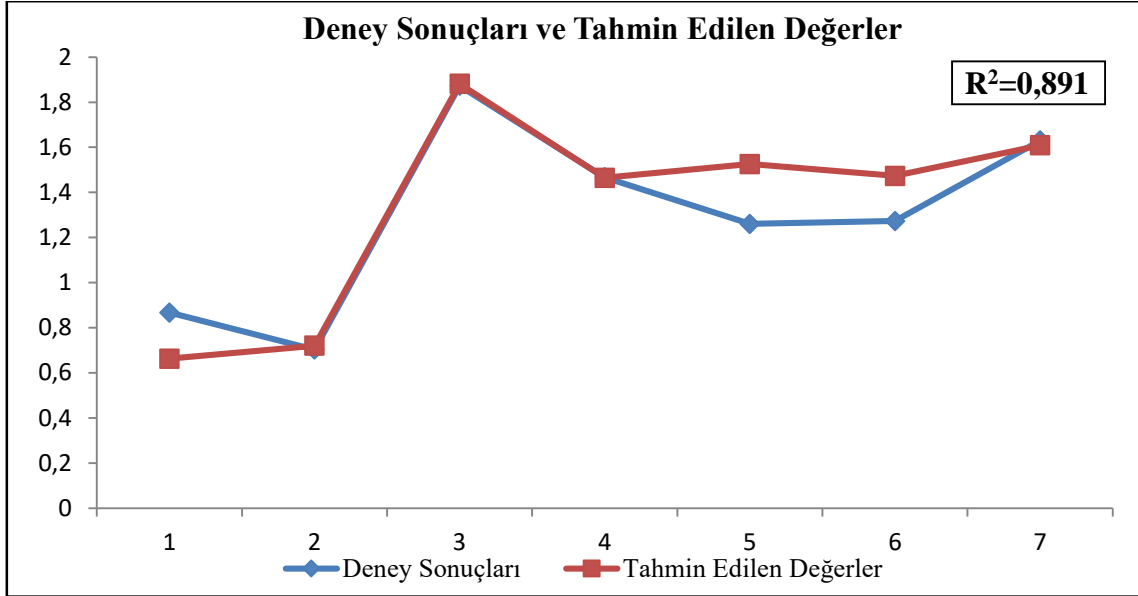
R_a = Yüzey Pürüzlülüğü; f = İlerleme Hızı; n = Haddemele Kuvveti; p = Paso Sayısı;

Deney analizleri sonucunda elde edilen matematiksel model en düşük yüzey pürüzlülüğü değerini elde etmek için kullanıldığında Şekil 7'de görülen grafik ortaya çıkmaktadır. Şekil 7 incelendiğinde en uygun yüzey pürüzlülüğü sonucu için 0,12 mm/dev ilerleme hızı 51,57 N haddemele kuvveti ve 2,41 paso sayısı kullanılması gerektiği görülmektedir.

YYY ile yapılan analizler sonunda deney düzeni dışında yapılacak denemeler için tahmin performansı da test edilmiştir. Rasgele seçilen parametreler ile yapılan tahminler ve deney sonuçları arasındaki ilişki Şekil 8'de görülebilir.



Şekil 7. Optimum parametreler



Şekil 8. Deney Sonuçları ve Tahmin Edilen Değerler

Şekil 8'de görülen grafik incelendiğinde YYY yönteminin etkinliğini araştırmak için yapılan 7 deneyde deney sonuçları ile tahmin edilen sonuçlar arasında uyum olduğu söylenebilir. 7 deney verisinin 4 tanesinde neredeyse tamamen doğru sonuç ortaya çıkarken 3 deney verisi nispeten farklı sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Deney sonuçları ile tahmin edilen sonuçlar arasında R^2 değeri 0,891 olarak sonuçlanmıştır. Deney parametreleri ve deney şartlarındaki iyileştirmelerle R^2 değerinin daha yüksek seviyelere çıkartılabilecek olması bu deney sistemi için yüzey yanıt yönteminin uygun çözüm ürettiğini ortaya koymaktadır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Haddemeleme işlemi uygulanan parçaların yüzey yanıt yöntemi ile modellenmesi ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Oluşturulan model yapılarından lineer modelde yüzey pürüzlülüğü için ilerleme hızı %61 etkinliğe paso sayısı ise %39 etkinliğe sahip olduğu görülmüştür. Haddemeleme kuvvetinin etkisinin ise sifira yakın olduğu görülmektedir.
- İkinci derece modelde ise yüzey pürüzlülüğü için ilerleme hızının karesi %75, Paso sayısının karesi ise %21 etkinliğe sahiptir. Haddemeleme kuvvetinin karesi ise %4 ile oldukça sınırlı bir etkiye sahiptir.
- Yüzey pürüzlülüğü değerinin optimizasyonu için 0,12 mm/dev ilerleme hızı 51,57 N haddemeleme kuvveti ve 2,41 paso sayısı kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır.
- Yüzey yanıt yöntemini ile yapılan deney sonuç tahminlerinde $R^2=0,891$ olarak şekillenmiştir. Bu durumda bu yöntemin bu problem için doğru tahminler yapabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] El-Axir M.H., "An Investigation Into Burnishing Process", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40 (11), 1603–1617, 2000.
- [2] Khabeery M.M. and El-Axir M.H., "Experimental Techniques for Studying The Effects of Milling Roller-Burnishing Parameters on Surface Integrity", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41(12), 1705–1719, 2001.
- [3] Hassan A.M. and Al-Dhifi S.Z.S., "Improvement in the Wear Resistance of Brass Components By The Ball Burnishing Process", *Journal of Materials Processing Technology*, 96(1-3), 73-80, 1999.
- [4] Hassan A.D. and Maqableh A.M., "The Effects of Initial Burnishing Parameters on Non-Ferrous Components", *Journal of Materials Processing Technology*, 102(1-3), 115-121, 2000.
- [5] Korzynski M., "A Model of Smoothing Slide Ball-Burnishing and an Analysis of the Parameter Interaction", *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 625–633, 2009.
- [6] El-Axir M.H., Othman O.M. and Abodiena A.M., "Improvements in Out-Of-Roundness and Microhardness of Inner Surfaces by Internal Ball Burnishing Process", *Journal of Materials Processing Technology*, 196, 120–128, 2008.
- [7] Basak H. ve Sonmez F., "Haddemeleme İşleminde Haddemeleme Aparat Tipinin (Bilyeli, Makaralı, Çift

- Makaralı) Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliğine Etkilerinin İncelenmesi”, **Journal of Polytechnic**, 18 (3), 25-132, 2015.
- [8] Filho S.L.M.R., Lauro C.H., Bueno A.H.S. and Brandao L.C., “Influence Cutting Parameters on The Surface Quality and Corrosion Behavior of Ti-6al-4v Alloy in Synthetic Body Environment (SBF) Using Response Surface Method”, **Measurement**, 88, 223–237, 2016.
- [9] Kumar R. and Chauhan S., “Study on Surface Roughness Measurement for Turning of Al 7075/10/ Sicp and Al 7075 Hybrid Composites by Using Response Surface Methodology (RSM) and Artificial Neural Networking”, **Measurement**, 65, 166–180, 2015.
- [10] Asiltürk I., Neşeli S. and Ince M.A., “Optimisation of Parameters Affecting Surface Roughness of Co28cr6mo Medical Material During CNC Lathe Machining By Using the Taguchi and RSM Methods”, **Measurement**, 78, 120–128, 2016.
- [11] Masmiahi N., Sarhan A.A.D., Hassan M.A.N. and Hamdi M., “Optimization of Cutting Conditions for Minimum Residual Stress, Cutting Force and Surface Roughness in End Milling of S50c Medium Carbon Steel”, **Measurement**, 86, 253–265, 2016.
- [12] Karkalos N.E., Galanis N.I. and Markopoulos A.P., “Surface Roughness Prediction for The Milling of Ti-6Al-4V ELI Alloy with the Use of Statistical and Soft Computing Techniques”, **Measurement**, 90, 25–35, 2016.
- [13] Bouacha K., Yallese M.A., Mabrouki T. and Rigal J.F., “Statistical Analysis of Surface Roughness and Cutting Forces Using Response Surface Methodology in Hard Turning of AISI 52100 Bearing Steel with CBN Tool”, **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, 28 (3), 349–361, 2010.
- [14] Suresh R., Basavarajappa S., Gaitonde V.N. and Samuel G.L., “Machinability Investigations on Hardened AISI 4340 Steel Using Coated Carbide Insert”, **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, 33, 75–86, 2012.
- [15] Sagbas A., “Analysis and Optimization of Surface Roughness in the Ball Burnishing Process Using Response Surface Methodology and Desirability Function”, **Advances in Engineering Software**, 42 (11), 992–998, 2011.
- [16] Venkatesan K., Ramanujam R., Joel J., Jeyapandiarajan P., Vignesh M., Tolia D.J. and Krishna R.V., “Study of Cutting Force and Surface Roughness in Machining of AL Alloy Hybrid Composite and Optimized Using Response Surface Methodology”, **Procedia Engineering**, 97, 677–686, 2014.
- [17] Patel K.A. and Brahmabhatt P.K., “A Comparative Study of the RSM and ANN Models for Predicting Surface Roughness in Roller Burnishing”, **Procedia Technology**, 23, 391–397, 2016.
- [18] Ekici E., Uzun G. and Kıvıak T., “Evaluation of the Effects of Cutting Parameters on the Surface Roughness During the Turning of Hadfield Steel with Response Surface Methodology”, **Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering**, 19 (2), 19–28, 2014.
- [19] Aouici H., Yallese M.A., Fnides B., Chaoui K. and Mabrouki T., “Modeling and Optimization of Hard Turning of X38CrMoV5-1 Steel with CBN Tool: Machining Parameters Effects on Flank Wear and Surface Roughness”, **Journal of Mechanical Science and Technology**, 25 (11), 2843–2851, 2011.
- [20] Gupta A.K., “Predictive Modelling of Turning Operations Using Response Surface Methodology, Artificial Neural Networks and Support Vector Regression”, **International Journal of Production Research**, 48 (3), 763–778, 2010.
- [21] Özçakar N. and Kasapoğlu Ö.A., “Modelling of Surface Roughness in Machining”, **Yönetim**, 64, 27–40, 2009.
- [22] Sönmez F., **Haddeme İşleminin Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliğine Etkilerinin İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [23] Montgomery D.C., **Design and Analysis of Experiments**, Wiley, New York, 2004.
- [24] Rao R.V., **Advanced Modeling and Optimization of Manufacturing Processes**, Springer, London, 2011.
- [25] Myres R.H., Montgomery D.C. and Anderson-Cook C.M., **Response Surface Methodology**, Wiley, New York, 2009.