



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Geliştirilen İkincil Dönel Eksenli Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Yüze Yantı Yöntemi İle Analizi

 Oktay ADIYAMAN <sup>a,\*</sup>,  Fikret SÖNMEZ <sup>b</sup>,  Vedat SAVAŞ <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Makine ve İmalat Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Batman Üniversitesi, Batman, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Makine Mühendisliği, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Makine Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: oktay.adiyaman@batman.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.994072

### ÖZET

“İkincil dönel eksenli taşlama yöntemi (GMASRA)”, son yıllarda düzlem yüze taşlama işleminde kullanılmaya başlanan yenilikçi bir yöntemdir. Klasik taşlama yönteminin aksine GMASRA yönteminde aynı anda iki farklı eksenle taşın dönme hareketi mevcuttur. Birinci dönme hareketi, klasik taşlama yöntemindeki taşın çevresel dönme hareketidir. İkinci dönme hareketi ise yeni eklenen ikinci dönme hareketi olan taşın eksenine dik yönde bir eksen etrafında dönme hareketidir. GMASRA yönteminde, klasik taşlama yöntemine göre, hem yüze pürüzlülüğünde daha küçük değerler elde edilmekte hem de birbirine yakın yüze pürüzlülüğü değerleri her yönde elde edilebilmektedir. Bu yöntemde işleme parametrelerinin yüze pürüzlülüğü üzerine etkisinin ve işlem parametreleri ile ilişkisinin analiz edilmesi önemlidir. Bu çalışmada bu amaca yönelik yüze yantı yöntemi ile farklı modeller geliştirilmiş ve yüze pürüzlülüğü üzerine işlem parametrelerinin etkisi analiz edilmiştir. İşlem parametreleri olarak üç farklı taş cinsi (NK36P5V, NK46O5V, NK60N5V), üç farklı talaş derinliği (0,01, 0,02 ve 0,03 mm), üç farklı fener mili devri (80, 160, 240 dev/dak), 2 farklı yanal kayma miktarı (4, 8 mm) seçilmiş ve taşlama işlemi sonucu yüze pürüzlülükleri ölçülmüştür. Sonuçta, problemin çözümü için oluşturulan altı yüze yantı modelin başarı ile kullanılabilceği ve tutarlı sonuçlar üretebileceği görülmüş, yüze pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkinin fener mili devri ve talaş derinliği olduğu tespit edilmiştir. Yüze pürüzlülük değerlerinde, fener mili devrinin artması ile azalma, talaş derinliğinin artması ile artma gözlenmiştir. Artan yanal kayma miktarlarında bu etkinin yönünün talaş derinliğine doğru evrildiği de ayrıca görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yüze yantı yöntemi, Yüze pürüzlülüğü, Taşlama, ANOVA

## Analysis of Grinding Process with Response Surface Method in Grinding Mechanism Having Advanced Secondary Rotational Axis

### ABSTRACT

The “Grinding Mechanism having Advanced Secondary Rotational Axis (GMASRA)” is an innovative method that has been applied in plane surface grinding in recent years. Unlike conventional grinding methods, in GMASRA, there are two rotations of a wheel at the same time. In the GMASRA method, both the surface roughness values are smaller than the classical grinding method and the surface roughness values close to each other can be obtained in all feed directions. In this study, different models were developed with the response surface method and the effect of grinding parameters on the surface roughness was analyzed. Three different wheel types (NK36P5V, NK46O5V, NK60N5V), three different depth of cuts (0.01, 0.02, and 0.03 mm), three different spindle speeds (80, 160, and 240 rpm), two different stepovers (4 and 8 mm) were selected as process

parameters and surface roughness was measured as a result of grinding. As a result, it was seen that the six response surface method models created for the solution of the problem could be used successfully and produced consistent results, and it was determined that the biggest effect on the surface roughness was the spindle speed and the depth of cut. It was observed that the surface roughness values decreased with the increase of the spindle speed and increased with the increase of the depth of cut. It has also been observed that the direction of this effect evolves towards the depth of cut with increasing sepever.

*Keywords: Response surface method, Surface roughness, Grinding, ANOVA*

## **I. GİRİŞ**

Taşlama işlemi talaşlı imalatta yüzey bitirme işlemi olarak kullanılan ve ölçü tamlığı istenen yerlerde tercih edilen bir yöntemdir [1]. Taşlama işleminde uygulanan yöntem, freze çakılarına kullanılan kesici uçlara benzer küçük tanecikler ile elde edilmektedir. Mikro düzeydeki bu taneciklerin çok sayıda olması ve her taneciğin parça üzerinden talaş koparması ile oluşan kesme işlemi ile yüzeyler üzerinde temiz, ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) az, tornalama ve frezelemeye göre daha düzgün yüzeyler elde edilmektedir [2]. İmalatta, taşlama tekniği en önemli yüzey bitirme yöntemidir ve yüzey işleme işlemlerinin yaklaşık %70 i bu teknikle icra edilmektedir [3].

Taşlama işlemi ile ilgili yapılan çalışmaların iki ana başlıkta toplandığı görülmektedir. Deneysel model ve analitik model olarak tanımlanan bu sınıflandırmada analitik model kendi içinde istatistiksel yaklaşım, enerji yaklaşımı ve fiziksel (şekilsel) esaslı yaklaşım olarak alt alanlara ayrılmaktadır [4].

Deneysel model yaklaşımı, deneysel olarak yapılan çalışmalarda elde edilen verilerin ve ölçülmüş değerlerin analiz edilmesi ve yorumlanması ile oluşmaktadır. Özet olarak verilerin, uzman sistemlere entegre edilmesidir. Geliştirilen bu uzman sistemler, bir bilgi tabanında ele alınan ve kurgulanan bir etki alanı ile ifade edilir [5]. Analiz programlarının ve bilgisayar teknolojisinin gelişimine paralel olarak uzman sistemler ile yazılımsal analizler birçok taşlama uygulamasında oldukça büyük oranda kullanılmaya başlanmıştır [6]. Deneysel model yaklaşımında ayrıca farklı yöntem ve tekniklerin kullanımı ve geliştirilmesine yönelikte çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür.

Warkentin ve diğ. [7] yaptıkları çalışmada, düzlem yüzey taşlama işleminde taş üzerinde yiv şeklinde kanallar açmış ve yüzeyleri taşlamışlardır. Taşın malzeme yüzeyi ile temas eden yüzeyine sivri uçlu bir elmas ile değişik adımlarda kanallar açılmıştır. Çalışma sonucunda yivli taşların iki kata kadar daha fazla talaş hacmi elde ettiği ve güç olarak ta %61 oranında bir tasarruf sağladığı gözlenmiştir. Ra değerleri açısından yivli taş ile elde edilen Ra değerlerine, yivsiz taştaki ile 3 kat daha fazla talaş derinliğiyle ulaşıldığı görülmüştür. Suzuki ve diğ. [8], Ra değerlerini düşürmek ve yüzeyde meydana gelen mikro çatlak ve ısıl deformasyonun giderilmesi için helisel taramalı taşlama (HSG) diye isimlendirilen bir taşlama yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemin Ra açısından klasik silindirik taşlamaya göre daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Savaş ve Özay [9,10] teğetsel tornalama-frezeleme olarak tanımladıkları yeni bir frezeleme yöntemi geliştirmiş, bu yeni işlemede kesme parametrelerinin Ra'ya etkisini araştırmış ve optimum kesme şartlarını belirlemişlerdir. Sonuç olarak iş parçası Ra değerlerinin taşlama işlemindeki değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir. Düzlemsel parçaların işlenmesinde klasik düzlem yüzey taşlama yöntemi yanında alternatif başka bir çalışmada ise Ohmori ve diğ. [11] kesici taş olarak silindirik disk şeklinde manyetik bantlı bir parlaticı disk kullanmışlardır. Bu yöntemde parlaticı disk manyetik etki sonucu temas ettiği parçanın yüzeyini polisaj işlemine tabi tutmuşlardır. Çalışma yüzey kalitesi yönünden tatmin edici olsa da sistem maliyetinin yüksekliği dezavantaj oluşturmuştur.

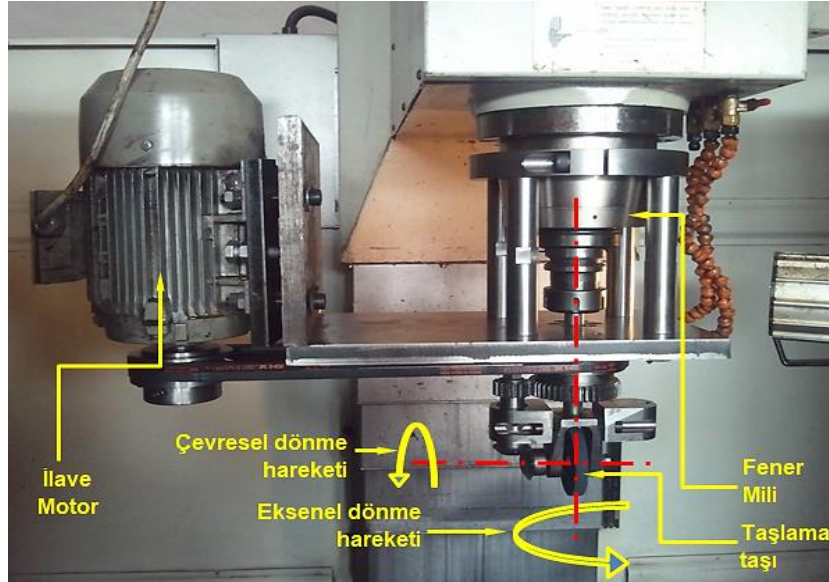
Taşlama işlemleri üzerine farklı analiz yöntemleri kullanılarak araştırmalar yapılmış ve bu işlemler modellenmiştir. Jae-Seab ve diğ. [12] silindirik taşlama yönteminde Ra ve taşlama kuvvetlerini araştırmak için yüzey yanıt yöntemini (YYY) kullanmışlardır. Sertleştirilmiş SCM440 çeliğinin taşlanması ile elde edilen modelin uygun işleme parametrelerinin elde edilmesinde yardımcı

olabileceğini tespit etmişlerdir. Silindirik iç taşlamada Ra değerlerini düşürmek amacıyla Krajenik ve arkadaşları [13] YYY ile en iyi seviyelerin tespit edilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Günay ve diğ. [14] araç motorlarındaki subap hareketini sağlayan kam makaralarına silindirik taşlama işlemi uygulayarak Ra'nın iyileştirilmesi için 2k faktöriyel deney tasarımı metodolojisini kullanmışlardır. Taguchi metoduyla grafit ve soğutucu yardımıyla Ra'nın incelenmesi [15], Taguchi ve ikil (dual) yanıt yöntemiyle yüzey hatalarının azaltılması [16], Ra'nın düşürülmesi, yüzey bozulmalarının azaltılması ve daha iyi talaş kaldırma oranları elde etmek için taşlama işleminde genetik ve sezgisel algoritmanın kullanımı [17], yapay sinir ağı ve yüzey yanıt yöntemi kullanılarak rulman çeliklerinin taşlanması en iyi girdi parametrelerinin tespit edilmesi [18] gibi çalışmalar da yapılmıştır.

Yapılan literatür taramasında çalışmaların klasik taşlama yöntemini kapsadığı, buna karşılık ikincil eksenli taşlama yöntemi ile ilgili yapılan çalışmaların nadir olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, geliştirilen ikincil eksenli taşlama yöntemi ile ilgili daha önce yapılan çalışmaların devamı olarak farklı özellikteki taşlarla, farklı taşlama parametrelerinin Ra üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla YYY modellemesi ile Ra ve deney parametreleri arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Ayrıca sistem üzerinde en etkin parametrelerin tespit edilmesi için de modelleme çalışması yapılmıştır. Böylece geliştirilen yeni taşlama yöntemi ile klasik yöntem arasında benzerliklerin veya farklılıkların tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## **II. MATERYAL VE METOT**

GMASRA, son yıllarda geliştirilen bir düzlem yüzey taşlama yöntemidir. Bu yöntemde klasik yöntemdeki taşın radyal hareketine (çevresel dönme hareketi) ek olarak taş eksenine dik yönde ikinci bir eksen hareketi (eksenel dönme hareketi) ilave edilmiş ve taşlama işlemi bu iki hareketin eş zamanlı dönmesi ile elde edilmiştir (Şekil 1) [19],[20],[21].



*Şekil 1. İkincil eksenli düzlem yüzey taşlama yöntemi ve eksenler [19],[20],[21].*

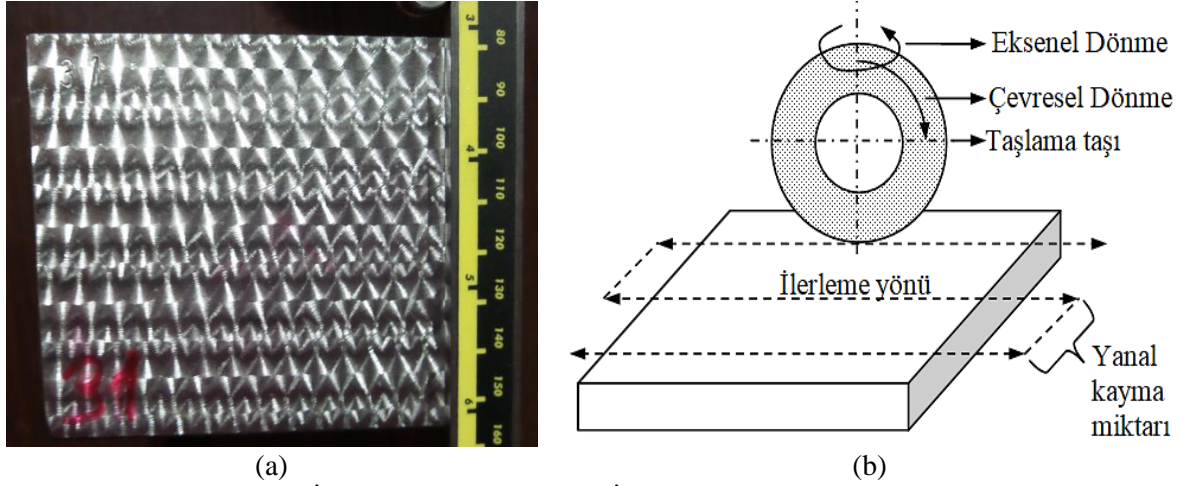
### **A. DENEY DÜZENEĞİ**

Bu çalışmada, geliştirilen yeni tip yüzey taşlama yöntemi ile St37-2 (DIN) yapısal çelik plakalar kullanılmıştır. Bu malzemeye ait kimyasal kompozisyon Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Taşlanan çelik plaka standart ve kimyasal özellikleri.

Standartlar					
DIN Eski	DIN Yeni	TSE EN 10025:2			
St37-2		S235JR			
İçerik (%)					
C	Mn	P	S	N	Cu
0,19	1,5	0,045	0,045	0,014	0,6

Çelik plakalar öncelikle 100mm x 80mm x 10mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarına getirilmiş (Şekil 2a) ardından 4 mm ve 8 mm'lik yanal kayma miktarları ile taşlanmıştır (Şekil 2b).



**Şekil 2.** (a) İşlenen deney numunesi (b) İşlem şekli ve yanal kayma miktarı.

Taşlama işlemlerinde titreşim ve balans problemlerinin olmaması için küçük çaplı taş tercih edilmiş ve bu amaçla taşlama taşı çapı 75 mm, genişliği 16 mm ve delik çapı 20 mm olarak seçilmiştir. Tüm taşlar aynı üreticiden (Karbosan) temin edilmiş olup tane boyutu 36, 46, 60 olan 3 çeşit taş kullanılmıştır. Kullanılan taşların özellikleri Tablo 2’de verilmektedir.

**Tablo 2.** Kullanılan taşlama taşları ve özellikleri.

Taşın çapı	Taşın delik çapı	Taşın genişliği		
75 mm	20 mm	16 mm		
Aşındırıcı madde	Tane büyüklüğü (mesh)	Sertlik	Dokusu	Bağlayıcı
NK	36	P	5	V
NK	46	O	5	V
NK	60	N	5	V

Plakaların taşlanması taş genişliğinin 1/2 ve 1/4 genişlikleri olan 8 mm ve 4 mm olacak şekilde yanal kayma miktarı seçilmiştir. St37-2 (DIN) yapısal çelik plakalarda ilerleme değerleri (0,16 mm/sn-0,3 mm/sn) 200 mm/dak-375 mm/dak olarak kabul edilmektedir [22]. Bu nedenle deneylerde tabla ilerlemesi olarak 300 mm/dk değeri seçilmiştir.

Taşlama işleminde talaş derinliği değeri seçimi yapılırken gerek katalog değerleri ve gerekse literatür bilgileri göz önüne alınarak maksimum değerlerde talaş derinliği verilmemelidir. Bu göz önüne alınarak tüm deneylerde 3 farklı talaş derinliği (0,01, 0,02 ve 0,03 mm) seçilmiştir [10]. Deneylerde kullanılan verilere göre oluşturulan giriş parametreleri Tablo 3’te görüldüğü gibidir.

**Tablo 3.** Deneylerde kullanılan parametreler.

Sembol	Parametreler	Birim	Seviye1	Seviye2	Seviye3
<i>Wt</i>	Taş Cinsi	Tip	NK36	NK46	NK6
<i>Dc</i>	Talaş Derinliği	mm	0,01	0,02	0,03
<i>Ss</i>	Fener Mili Devri	d/d	80	160	240
<i>Fd</i>	İlerleme yönü	-	1	2	3
<i>So</i>	Yanal Kayma	mm	4	8	

## B. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇME YÖNTEMİ

Her deney sonucunda taşlama ile taşlanmış yüzeyler, SJ-210 MITUTOYO marka temaslı yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür. Ra ölçüm cihazı ile ilgili özellikler Tablo 4’te verilmiştir.

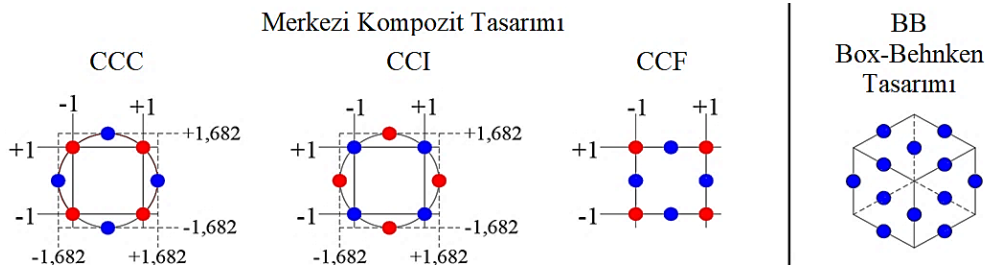
**Tablo 4.** Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Model	SJ- 210 (MITUTOYO)	Standart	ISO 1997
Ölçme Yöntemi	İzleyici Uçlu	Profil	R
Tarama Hızı	0,5-1 mm/sn	Filtre	GAUSS
Uç Yarıçapı	5 µm	λc	0,8 mm
Uç malzemesi	Elmas	λs	2,5 µm

GMASRA yönteminde tablanın ilerleme yönüne (Şekil 2b) paralel, dik ve açılı yönlerdeki Ra değerlerinde birbirine yakın değerlerin elde edildiği bilinmektedir [19, 23]. Bu geliştirilen yeni yöntemin en önemli avantajlarından biridir. Bu nedenle Ra ölçümü yapılırken tabla ilerleme yönüne paralel, dik ve açılı olacak şekilde bir ayırım yapılmadan rastgele yönlerde ve bölgelerde toplam 12 adet ölçüm yapılmıştır. Alınan tüm değerlerin aritmetik ortalaması alınmış ve her taşın yanal kayma miktarına ait Ra değeri elde edilmiştir (Tablo 6).

## C. YÜZEY YANIT YÖNTEMİ (YYY)

YYY bir deney tasarım yöntemi olarak daha az deney sayısı ile modelleme yapılmasını sağlamaktadır. YYY temel olarak dört şekilde modellenilebilmektedir. Bu modeller Şekil 3’te görülmektedir.



**Şekil 3.** Yüzey yanıt yöntemine ait tasarım yapıları.

Bu tasarımlarla yapılan modellemelerde parametrelerin farklı seviyelerdeki değerlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Üç parametrelili bir model oluşturulmak istendiğinde CCC, CCI ve CCF modelleri için 20 deney yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte CCC ve CCI modellerinde  $\alpha$  değerinin 1,682 olması nedeni ile bu duruma uygun parametre seviyesinin seçilmesi gerekmektedir. CCF ve Box-Behnken modellerinde  $\alpha$  değeri 1 olduğu için özel bir deney tasarımı ihtiyacı bulunmamaktadır. Box-Behnken tasarım metodu ise diğer yöntemlerden farklı olarak 15 deney ile model oluşturmaktadır. Box-Behnken tasarım metodunun son üç verisi kontrol amaçlı olarak aynı deneyden alınmaktadır. Bu nedenle daha az deney sayısına ve her parametre için 3 seviyeye ihtiyaç duyan Box-Behnken yöntemi bu analiz için tercih edilmiştir.

Kullanılan deney parametrelerine göre YYY ile yapılan bu modellemelerde farklı matematiksel denklemler kullanılarak çözüm aranmaktadır. Denklem 1, 2 ve 3'te deneyler sonucunda elde edilen Ra değerleri ile giriş parametreleri arasındaki matematiksel denklemler görülmektedir. Bu denklemler, deneylerde olduğu gibi üç değişken için oluşturulmuştur.

$$Ra = \beta_0 + \beta_1 D_c + \beta_2 S_s + \beta_3 F_d \quad (1)$$

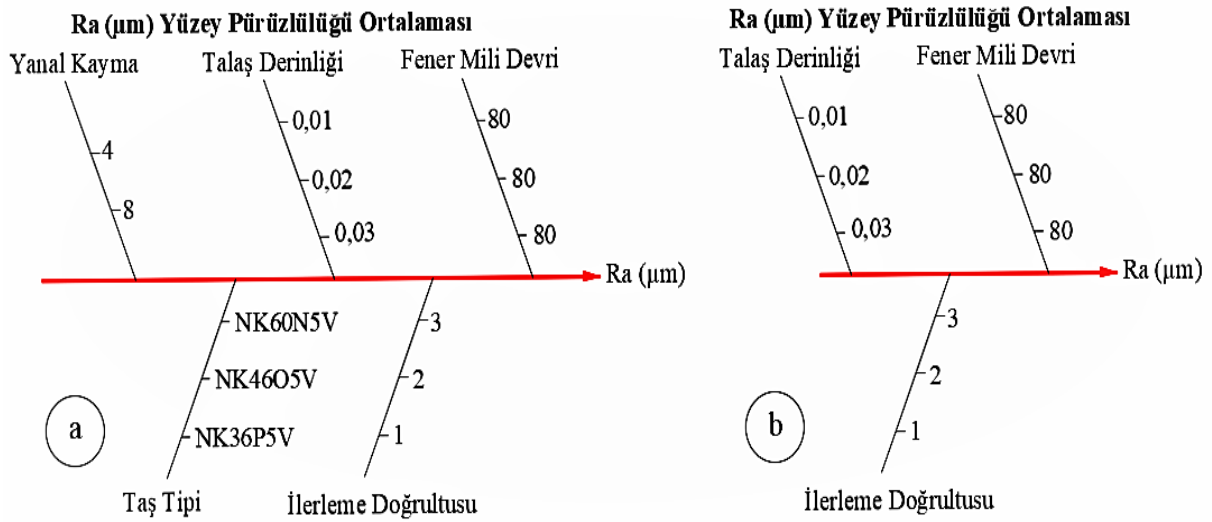
$$Ra = \beta_0 + \beta_1 D_c + \beta_2 S_s + \beta_3 F_d + \beta_4 D_c^2 + \beta_5 S_s^2 + \beta_6 F_d^2 \quad (2)$$

$$Ra = \beta_0 + \beta_1 D_c + \beta_2 S_s + \beta_3 F_d + \beta_4 D_c * S_s + \beta_5 D_c F_d + \beta_6 S_s F_d \quad (3)$$

$$Ra = \beta_0 + \beta_1 D_c + \beta_2 S_s + \beta_3 F_d + \beta_4 D_c^2 + \beta_5 S_s^2 + \beta_6 F_d^2 + \beta_7 D_c S_s + \beta_8 D_c F_d + \beta_9 S_s F_d \quad (4)$$

Denklem 1 Lineer matematiksel yapıyı, denklem 2 lineer yapıya ilave olarak parametrelerin karelerinin bulunduğu yapıyı, denklem 3 lineer yapıya ilave olarak parametrelerin birbiri ile ilişkilerinin bulunduğu yapıyı ve denklem 4 ise tüm denklemlerin birleşimi olan tam kuadratik (full quadratic) yapıyı göstermektedir.

Bu parametrelerde değişim ile deney sonucu ölçülen Ra değeri farklılaşmaktadır. Şekil 4 (a)'da bu parametreler balık kılıcı diyagramında gösterilmektedir. Şekil 4 (b)'de ise normal deney düzeninin YYY için düzenlenen biçimi gösterilmektedir. YYY ile yapılan modellemelerde veriler gruplandırılarak kullanılmıştır. Bu amaçla Tablo 5'te verilen veriler YYY ile modellenilebilecek alt kümelere ayrılmıştır.



Şekil 4. (a) Normal Deney düzeni, (b) YYY için düzenlenen deney düzeni.

Bu amaçla her zımpara taşı için yanıl kayma değerleri sabit tutularak (4 mm ve 8 mm) her zımpara taşı için ayrı iki deney kümesi oluşturulmuştur. Böylelikle toplamda 6 ayrı YYY modellemesi gerçekleştirilmiştir. YYY modellemesi ile Ra değerleri ile deney parametreleri arasındaki ilişki analiz edilmektedir.

Tablo 5. Oluşturulan deney kümeleri.

Parametreler	Yanal Kayma	Taş Cinsi	YYY Model İsmi
Talaş Derinliği (0,01-0,02-0,03 mm)	4 mm	NK36P5V	W36-S4
Fener Mili Devri		NK46O5V	W46-S4
		NK60N5V	W60-S4

(80-160-240 dev/dak)		NK36P5V	W36-S8
İlerleme Yönü	8mm	NK46O5V	W46-S8
(1-2-3)		NK60N5V	W60-S8

### **III. BULGULAR VE DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ**

YYY ile modelleme yapılırken parametrelere ait değerler üç seviyeye ayrılarak kodlanmıştır. Tablo 6'da bu seviyeler ve seviyelerin deney değerleri görülmektedir. Ayrıca yapılan deneysel çalışma ile elde edilen veriler de Tablo 6'da sunulmuştur.

*Tablo 6. Deney tasarımı ve deney sonuçları.*

Talaş Derinliği ( $D_c$ )		Fener Mili Devri ( $S_s$ )		İlerleme Yönü ( $F_d$ )		Yüzey Pürüzlülüğü Ortalaması ( $R_a$ - $\mu\text{m}$ )					
Gerçek Değer	Seviye	Gerçek Değer	Seviye	Gerçek Değer	Seviye	W36-S4	W46-S4	W60-S4	W36-S8	W46-S8	W60-S8
0.01	-1	80	-1	1	-1	0.634	0.619	0.588	0.47	0.426	0.629
0.01	-1	80	-1	2	0	0.657	0.618	0.615	0.483	0.439	0.597
0.01	-1	80	-1	3	1	0.658	0.629	0.629	0.444	0.417	0.635
0.01	-1	160	0	1	-1	0.603	0.498	0.482	0.401	0.451	0.501
0.01	-1	160	0	2	0	0.601	0.46	0.49	0.429	0.484	0.495
0.01	-1	160	0	3	1	0.552	0.476	0.519	0.41	0.474	0.474
0.01	-1	240	1	1	-1	0.427	0.457	0.444	0.343	0.400	0.450
0.01	-1	240	1	2	0	0.432	0.445	0.431	0.357	0.430	0.474
0.01	-1	240	1	3	1	0.457	0.418	0.468	0.347	0.472	0.440
0.02	0	80	-1	1	-1	0.725	0.698	0.651	0.492	0.507	0.560
0.02	0	80	-1	2	0	0.655	0.733	0.728	0.527	0.579	0.675
0.02	0	80	-1	3	1	0.74	0.713	0.648	0.503	0.626	0.662
0.02	0	160	0	1	-1	0.607	0.612	0.635	0.53	0.625	0.556
0.02	0	160	0	2	0	0.603	0.648	0.648	0.503	0.659	0.597
0.02	0	160	0	3	1	0.624	0.658	0.676	0.489	0.644	0.575
0.02	0	240	1	1	-1	0.55	0.591	0.507	0.381	0.533	0.550
0.02	0	240	1	2	0	0.52	0.594	0.563	0.394	0.594	0.577
0.02	0	240	1	3	1	0.615	0.582	0.517	0.396	0.551	0.585
0.03	1	80	-1	1	-1	0.693	0.758	0.609	0.89	0.725	0.717
0.03	1	80	-1	2	0	0.659	0.785	0.636	0.836	0.810	0.735
0.03	1	80	-1	3	1	0.684	0.749	0.65	0.883	0.731	0.726
0.03	1	160	0	1	-1	0.594	0.602	0.545	0.67	0.627	0.659
0.03	1	160	0	2	0	0.591	0.593	0.548	0.66	0.633	0.661
0.03	1	160	0	3	1	0.606	0.601	0.578	0.685	0.619	0.672
0.03	1	240	1	1	-1	0.46	0.552	0.532	0.573	0.515	0.560
0.03	1	240	1	2	0	0.436	0.611	0.576	0.608	0.502	0.533
0.03	1	240	1	3	1	0.449	0.55	0.537	0.576	0.489	0.547

YYY ile daha az sayıda deney yaparak problemlerin modellenmesi mümkündür. Tablo 7'de her zımpara taşı için elde edilen deneysel sonuçlardan YYY modellemesi için seçilen deney sonuçları görülmektedir. Yapılan modellemede Box-Behnken metodu kullanılmıştır. Bu modelleme ile 27 adet deney verisi ( $3 \times 3 \times 3 = 27$ ) içinden sistematik olarak 13 adet verisi kullanılmıştır. YYY ile ilgili yapılan çalışmalarda Minitab 17 yazılımı kullanılmıştır.

Box-Behnken tasarım metodu kullanılarak gerçekleştirilen yüzey yanıt yöntemi analizi ile elde edilen sonuçlar her zımpara taşı için ayrı ayrı verilmiştir. Problemlerin çözümlenmesinde tam kuadratik (full quadratic) matematiksel modeli uygulanmıştır. Bu model Denklem 5'te görülmektedir.

$$Ra = \beta_0 + \beta_1 D_c + \beta_2 S_s + \beta_3 F_d + \beta_4 D_c^2 + \beta_5 S_s^2 + \beta_6 F_d^2 + \beta_7 D_c S_s + \beta_8 D_c F_d + \beta_9 S_s F_d \quad (5)$$

**Tablo 7.** *YYY modellemesi için seçilen deney verileri.*

		İlerleme Yönü 1 ( <i>Fd</i> )	İlerleme Yönü 2 ( <i>Fd</i> )	İlerleme Yönü 3 ( <i>Fd</i> )	
Talaş Derinliği ( <i>Dc</i> ) mm	0,01	80	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	
		160	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer	
		240	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	
	0,02	80	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>
		160	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer
		240	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>
	0,03	80	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer
		160	Deneysel Değer (YYY)	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>
		240	Deneysel Değer	<i>Deneysel Değer (YYY)</i>	Deneysel Değer

Oluşturulan 8 modelin daha iyi sonuçlar elde etmesi için stepwise eliminasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile Denklem 5'te verilen parametrelerden sonuca katkısı olmayan parametreler çıkarılmıştır. Böylelikle hem modellerin tahmin performansının artırılması hedeflenmekte hem de daha yalın matematiksel modeller elde edilmesi hedeflenmektedir.

## A. NK36P5V İÇİN W36-S4 ve W36-S8 MODELLEMESİ ile ELDE EDİLEN VERİLER

Yapılan deneylerde 36 Mesh yapısına sahip NK36P5V isimli taşla yapılan 4 mm yanal kayma (W36-S4) ve 8 mm yanal kayma (W36-S8) modelleri için ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 8'de yapılan ANOVA analizleri görülmektedir.

**Tablo 8.** *W36-S4 ve W36-S8 modellemeleri sonucu elde edilen ANOVA analizi.*

	Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
W36-S4	Model	5	0,09574	0,01915	26,74	0,000
	Doğrusal	3	0,07047	0,02349	32,81	0,000
	<i>Dc</i>	1	0,00033	0,00033	0,45	0,517
	<i>Ss</i>	1	0,06994	0,06994	97,68	0,000
	<i>Fd</i>	1	0,00021	0,00021	0,29	0,601
	Kare	2	0,02526	0,01263	17,64	0,001
	<i>Dc *Dc</i>	1	0,01490	0,01490	20,80	0,001
	<i>Fd*Fd</i>	1	0,00862	0,00862	12,04	0,007
	Hata	9	0,00644	0,00072		
	Uygunsuzluk	7	0,00644	0,00092		
	Net Hata	2	0,00000	0,00000		
Toplam	14	0,10218				



**Tablo 8 (devam ediyor).** W36-S4 ve W36-S8 modelleri sonucu elde edilen ANOVA analizi.

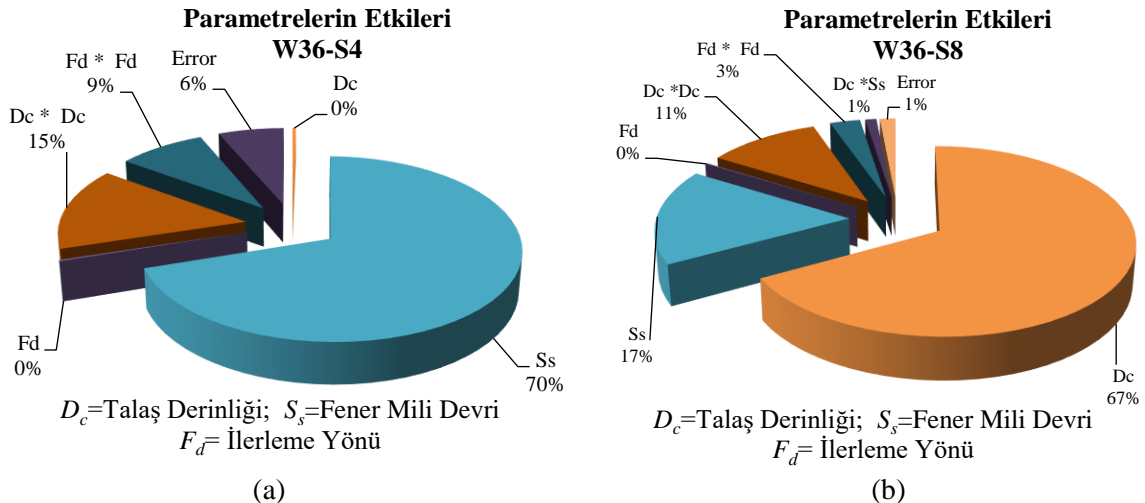
	Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
W36-S8	Model	6	0,24421	0,04070	89,60	0,000
	Linear	3	0,20595	0,06865	151,12	0,000
	Dc	1	0,16474	0,16474	362,64	0,000
	Ss	1	0,04090	0,04090	90,03	0,000
	Fd	1	0,00031	0,00031	0,69	0,431
	Square	2	0,03566	0,01783	39,25	0,000
	Dc*Dc	1	0,02647	0,02647	58,27	0,000
	Fd*Fd	1	0,00705	0,00705	15,53	0,004
	2-Yönlü İterasyon	1	0,00260	0,00260	5,73	0,044
	Dc*Ss	1	0,00260	0,00260	5,73	0,044
	Hata	8	0,00363	0,00045		
	Uygunsuzluk	6	0,00363	0,00061		
	Net Hata	2	0,00000	0,00000		
	Toplam	14	0,24784			

Tablo 8’de görüldüğü gibi aynı zımpara taşı için farklı yanal kayma miktarlarına göre yapılan çalışmalarda ANOVA analizleri farklı sonuçlar üretmektedir. ANOVA analizi sonucu modeller için oluşturulan formüller Tablo 9’da görülmektedir.

**Tablo 9.** W36-S4 ve W36-S8 modelleri için elde edilen formüller.

W36-S4	$R_a = 0,7100 + 25,97 \times D_c - 0,001169 \times S_s - 0,1876 \times F_d - 633 \times D_c^2 + 0,0482 \times F_d^2$	
W36-S8	$R_a = 0,3985 - 14,32 \times D_c - 0,000256 \times S_s + 0,1806 \times F_d + 844 \times D_c^2 - 0,0436 \times F_d^2 - 0,0319 D_c \times S_s$	
	$R_a =$ Yüzey Pürüzlülüğü( $\mu\text{m}$ )	$D_c =$ Talaş Derinliği (mm)
	$S_s =$ Fener Mili Devri (dev/dak)	$F_d =$ İlerleme Yönü

Bu iki eşitlik arasında içerdikleri değişkenler açısından farklılık bulunmaktadır. 4 mm yanal kayma miktarı ile yapılan analizlerde kesme yönü x fener mili devri değişkeni bulunmamaktadır. Bu değişken model yapısına uygun olmadığı için stepwise fonksiyonu ile modelden kaldırılmıştır. Oluşturulan her iki modelde de parametreler farklı etkinliklere sahiptir. ANOVA analizi temel alınarak parametrelerin etkinlikleri araştırıldığında Şekil 5’te görülen grafik ortaya çıkmaktadır.



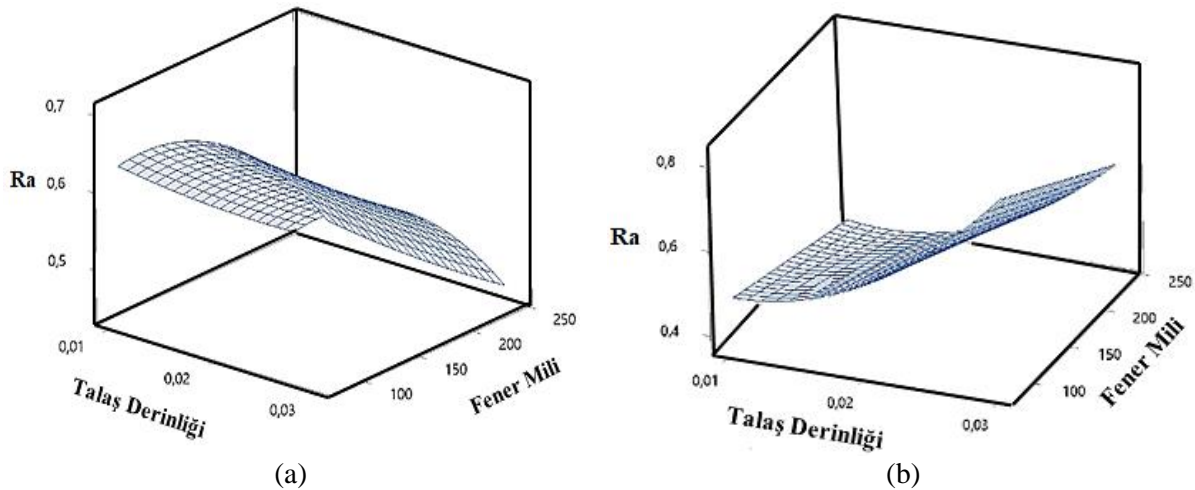
**Şekil 5.** NK36P5V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W36-S4 (b) W36-S8.

Şekil 5 incelendiğinde parametrelerin etkinliklerinin yanal kayma miktarına bağlı olarak değiştiği gözlenmektedir. W36-S4 modelinde ana etkiyi fener mili hızı oluşturmaktadır. W36-S8 modelinde ise ana etki taşlama yönü parametresine bağlı olarak şekillenmektedir. Ana etkiyi oluşturan parametreler yaklaşık %70 etkinliğe sahiptir. YYY'de aynı etkiyi Karaşa ve arkadaşı ilerleme ve fener mili olarak bulmuşlardır [18]. Bu çalışmada tabla ilerlemesi sabit seçildiğinden fener milinin en etkili parametre olduğu sonucu, literatür ile paralellik arz etmektedir. Bu sonuç aşağıdaki diğer taş cinslerinde de benzer şekilde ortaya çıkmaktadır.

W36-S4 modelinde talaş miktarı değerinin karesi (%15) ve işleme yönünün değerinin karesi (%9) sonuç üzerinde etkiye sahipken, diğer parametrelerini etkinliği sınırlı olmaktadır. W36-S8 modelinde ise fener mili devri %17 etkinliğe sahiptir. Talaş miktarı değerinin karesi %10 etkinliğe sahipken işleme yönü parametresinin değeri (%3) sınırlı kalmaktadır. Diğer parametrelerin etkinliği ise belirgin değildir.

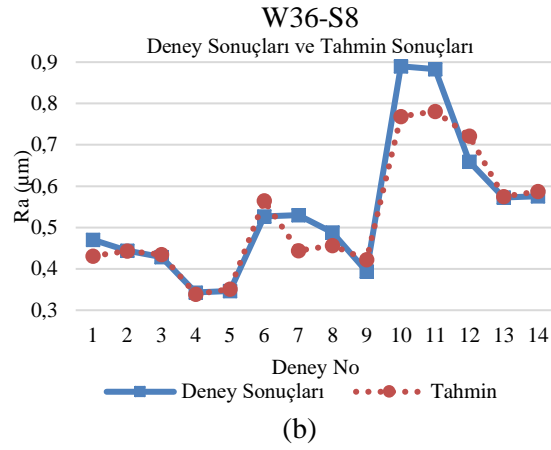
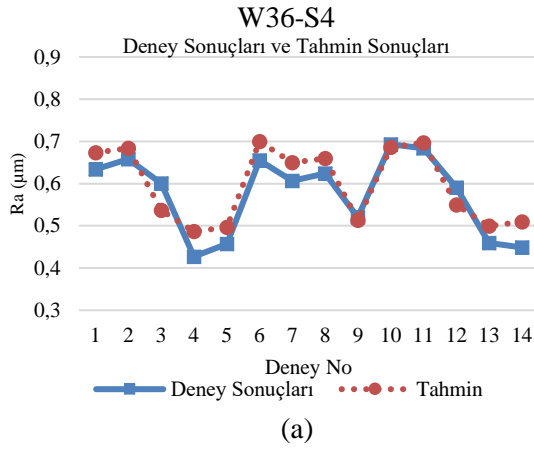
Oluşturulan her iki model ile yapılan analizler sonucu Şekil 6'da görülen grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklerde, deneylerde kullanılan parametrelerden en etkin olan talaş derinliği ve fener mili parametrelerinin sonuç üzerinde etkisi görülmektedir. W36-S4 modelinde talaş derinliği sonuç üzerinde çok fazla etkiye sahip değildir. Bununla birlikte artan fener mili devri Ra değerini ciddi şekilde aşağı çekmektedir. W36-S8 modelinde ise fener mili devri sonuç üzerinde ciddi bir etkiye sahip değilken artan talaş miktarı Ra değerini etkin şekilde bozmaktadır. Taş çevre hızının artması ile tane kesme derinliği azalır ve taş daha sert görümlü olur. Azalan taş çevre hızı, tane kesme derinliğini artırır ve taş daha yumuşak görümlü olur [24].

Aynı şartlarda ve değişik taş sertliklerinde yapılan taşlama işlemlerinde kesme derinliğinin artmasıyla taşlama kuvvetlerinin 5,2-6,9 kat arttığı görülmüştür [25], [12], [19], [20]. Talaş derinliği ile Ra arasında doğrusal ilişki buradaki sonuçlara benzer olarak sonraki konu başlıklarındaki incelenen taş cinsleri ve taşlama parametrelerinde görülmektedir ve literatüre paralel bulgular bulunmuştur.



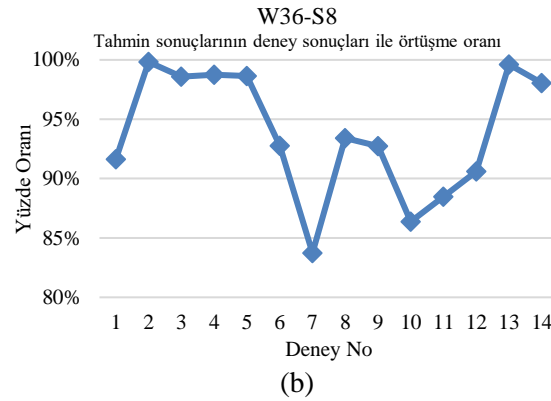
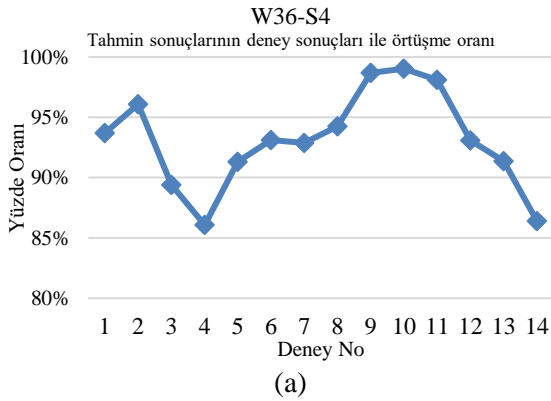
Şekil 6. Parametrelerin sonuç üzerindeki etkileri (a) W36-S4 (b) W36-S8.

Oluşturulan YYY modelleri 27 deney verisinden 15 tanesini kullanarak sonuca ulaşmayı hedeflemektedir. Bu modeller ile istatistiki olarak yüksek  $R^2$  değerlerine ulaşılmaktadır. W36-S4 modelinde 0.954  $R^2$  değerine ulaşılmaktadır. Aynı  $R^2$  hesaplamasının W36-S8 modelinde yapıldığında ise 0.986  $R^2$  değerine ulaşılmaktadır. YYY'nin tahmin yeteneğinin anlaşılabilmesi için her iki modelinde kullanmadığı 14 veri için tahmin yapılmıştır. Bu zımpara taşı ile ilgili oluşturulan iki modele ait tahmin sonuçları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. NK36P5V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W36-S4 (b) W36-S8.

Şekil 7 incelendiğinde her iki modelde de yapılan tahminlerin deney sonuçlarına yakın tahminler elde ettiği görülmektedir. Oluşturulan modellerin tahmin yeteneğinin daha iyi analiz edilmesi için deney sonuçları ile tahmin sonuçlarının benzerliği yüzdelerle grafik olarak oluşturulmuştur. Oluşturulan bu grafik Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Tahmin sonuçlarının deney sonuçları ile örtüşme oranı (a) W36-S4 (b) W36-S8.

Tahmin sonuçlarının deney sonuçları ile örtüşme oranının gösteren yüzde grafiği (Şekil 8) incelendiğinde YYY modelleri tarafından yapılan tahminlerin büyük çoğunluğu %90- %100 aralığında gerçekleşmektedir. Her iki grafikte de yalnızca 3 tahmin sonucu %85-%90 tahmin aralığında sonuç üretmiştir. Bununla birlikte W36-S8 modeli ile yapılan tahminlerden bir tanesi deney sonucu ile %84 benzerlik göstermiştir. Bu sonuç her iki YYY modeli ile elde edilen en olumsuz uyumu göstermektedir. Tüm tahmin sonuçlarının ortalama uyumu ise W36-S4 modeli için %93, W36-S8 modeli için %94 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca tahmin sonuçlarının deney sonuçları ile uyumu da istatistiksel olarak  $R^2$  testi ile kontrol edilmiştir. Bu kapsamda yapılan  $R^2$  testinde W36-S4 deneyleri için 0,843 ve W36-S8 deneyleri için 0,912 değerleri elde edilmiştir.

## B. NK46O5V İÇİN W46-S4 ve W46-S8 MODELLEMESİ İLE ELDE EDİLEN VERİLER

Deney tasarım metodunda kullanılan mesh yapısı 46 olan NK46O5V zımpara taşı ile iki modelleme yapılmıştır. 4 mm yanıl kayma (W46-S4) ve 8 mm yanıl kayma (W46-S8) modelleri için ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 10’da Yapılan ANOVA analizleri görülmektedir.

**Tablo 10.** W46-S4 ve W46-S8 modellemeleri sonucu elde edilen ANOVA analizi.

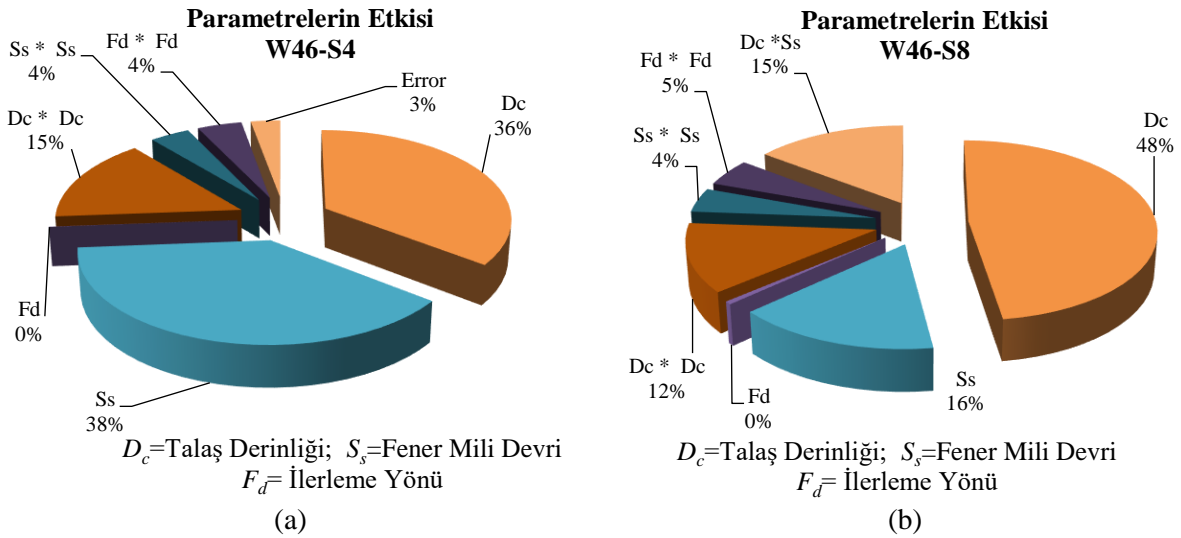
	Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
W46-S4	Model	6	0,109	0,018	45,54	0,000
	Doğrusal	3	0,082	0,027	68,65	0,000
	$D_c$	1	0,039	0,039	98,80	0,000
	$S_s$	1	0,042	0,042	107,05	0,000
	$F_d$	1	0,000	0,000	0,09	0,771
	Kare	3	0,026	0,008	22,43	0,000
	$D_c * D_c$	1	0,016	0,016	42,10	0,000
	$S_s * S_s$	1	0,004	0,004	10,84	0,011
	$F_d * F_d$	1	0,004	0,004	12,14	0,008
	Hata	8	0,003	0,000		
	Uygunsuzluk	6	0,003	0,000		
	Net Hata	2	0,000	0,000		
	Toplam	14	0,112			
		Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri
W46-S8	Model	7	0,148	0,021	19,63	0,000
	Doğrusal	3	0,097	0,032	30,04	0,000
	$D_c$	1	0,072	0,072	67,38	0,000
	$S_s$	1	0,023	0,023	21,95	0,002
	$F_d$	1	0,000	0,000	0,78	0,408
	Kare	3	0,028	0,009	8,90	0,009
	$D_c * D_c$	1	0,018	0,018	17,37	0,004
	$S_s * S_s$		0,006	0,006	6,12	0,043
	$F_d * F_d$	1	0,007	0,007	6,87	0,034
	2-Yönlü İterasyon	1	0,022	0,022	20,64	0,003
	$D_c * S_s$	1	0,022	0,022	20,64	0,003
	Hata	7	0,007	0,001		
	Uygunsuzluk	5	0,007	0,001		
	Net Hata	2	0,000	0,000		
Toplam	14	0,156				

Her iki model için de oluşturulan ANOVA analizi incelenmiştir. W46-S8 modeli ile yapılan analizde daha fazla parametre analizde yer almaktadır. Her iki model için de modeller için oluşturulan formüller Tablo 11’de görülmektedir.

**Tablo 11.** W46-S4 ve W46-S8 modellemeleri için elde edilen formüller.

W46-S4	$R_a = 0,3800 + 34,02 \times D_c - 0,002627 \times S_s - 0,1429 \times F_d - 675 \times D_c^2 + 0,000005 \times S_s^2 - 0,0363 \times F_d^2$	
W46-S8	$R_a = -0,377 + 53,05 \times D_c - 0,003306 \times S_s - 0,1897 \times F_d - 714 \times D_c^2 + 0,000007 \times S_s^2 - 0,0449 \times F_d^2 - 0,0934 \times D_c \times S_s$	
	$R_a =$ Yüzey Pürüzlülüğü( $\mu\text{m}$ )	$D_c =$ Talaş Derinliği (mm)
	$S_s =$ Fener Mili Devri (dev/dak)	$F_d =$ İlerleme Yönü

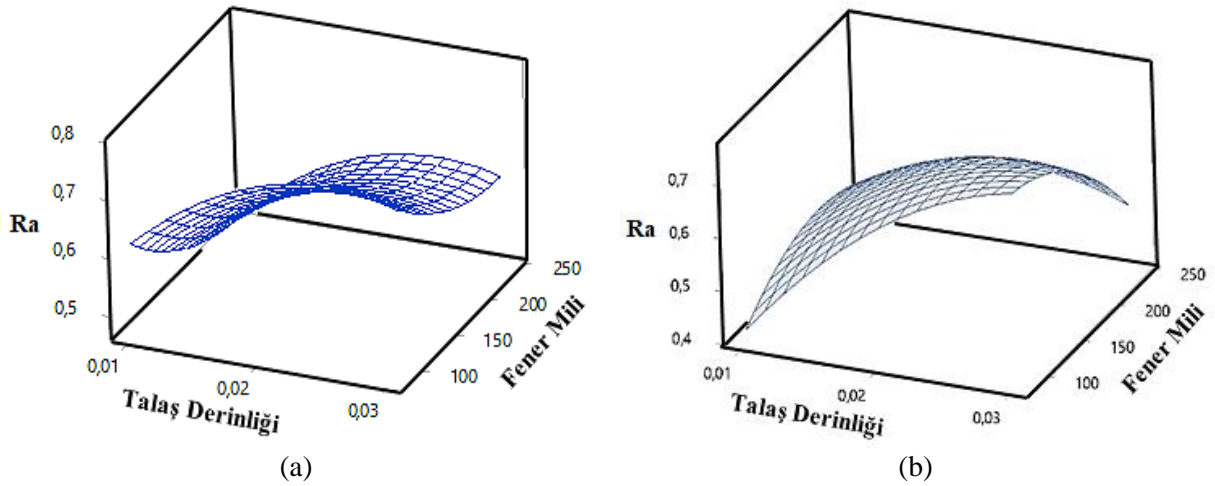
Modellemeler sonucunda elde edilen formüller ve ANOVA analizinden parametrelerin etkinliklerinin farklı olduğu görülmektedir. Bu nedenle Şekil 9’da parametrelerin etkinliği grafik olarak verilmiştir.



Şekil 9. NK4605V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W46-S4 (b) W46-S8.

Her iki modelde de parametrelerin etkinliği Şekil 9’da görülmektedir. Talaş miktarı parametresi her iki modelde de ana etkiyi oluşturmaktadır. Bununla birlikte talaş miktarı 4 mm yanıl kayma ile oluşturulan modelde %36 etkinliğe sahipken 8 mm yanıl kayma miktarı ile yapılan model de %48’lik etkiye sahiptir. İkincil etki ise fener mili devrine bağılı olarak gerçekleşmektedir. W46-S8 modelinde talaş miktarı ve fener mili parametrelerin etkileşimi en etkin 3. parametre olarak görülmektedir. Aynı parametre W46-S4 modelinde ise bulunmamaktadır. Talaş miktarı değerinin talaş miktarı ile etkileşimi de kayda değer etki oluşturmaktadır. Diğer parametrelerin her iki modelde de etkinliği sınırlıdır.

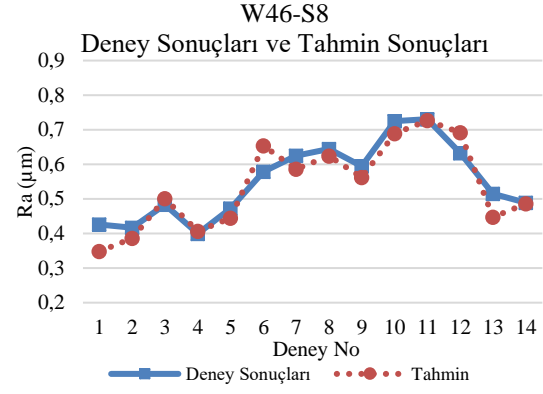
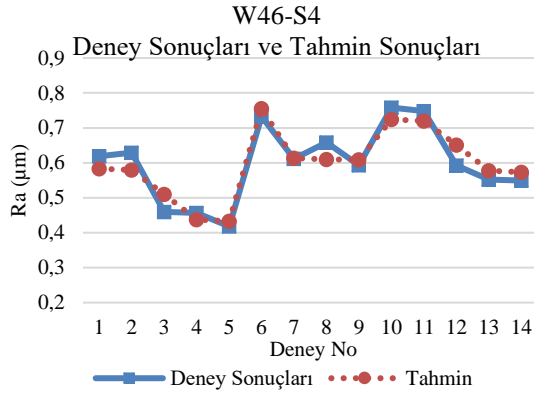
Yapılan modelleme sonucunda parametrelerin etkinliği tespit edilmiştir. Bununla birlikte etkin olan bu parametrelerin değişiminin Ra üzerindeki etkisinin incelenmesi için Şekil 10’da görülen grafik hazırlanmıştır.



Şekil 10. Parametrelerin sonuç üzerindeki etkileri (a) W46-S4 (b) W46-S8.

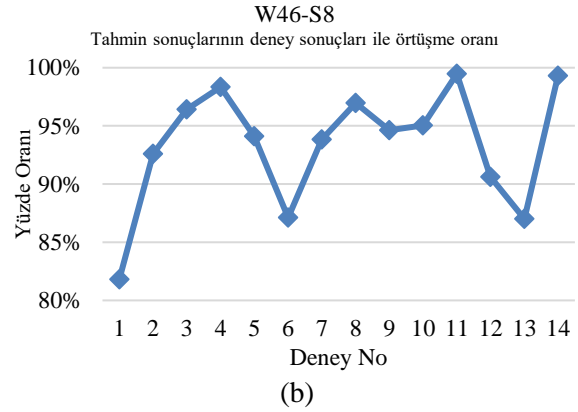
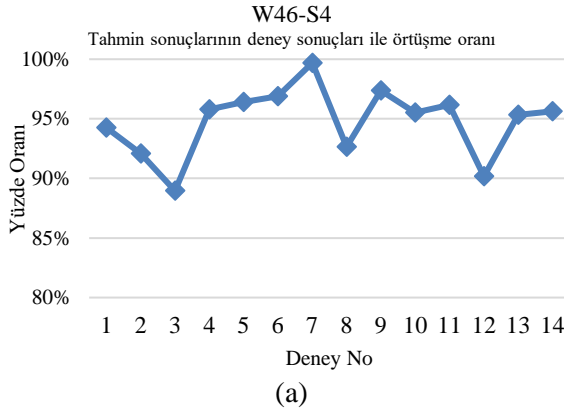
Oluşturulan modellerde talaş derinliğine bağılı olarak Ra değeri negatif etkilenmektedir. Özellikle 0,01 mm talaş miktarı ile 0,02 mm talaş miktarı değerleri arasında ciddi farklılaşma görülmektedir. Fener mili devrinin artmasına bağılı olarak Ra iyileşmektedir. Bununla birlikte W46-S8 modelinde düşük talaş miktarı seçildiğinde bu etki sınırlı olmaktadır.

YYY ile modellenen bu problemde tahmin yeteneğinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla veri girişi yapılmayan toplam 14 deney için tahminler oluşturulmuştur. Bu 14 deney için modellerin oluşturduğu tahminler Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. NK46O5V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W46-S4 (b) W46-S8.

Oluşturulan her iki modelinde deney sonuçlarına yakın tahminler geliştirdiği görülmektedir. Bu durum yüksek  $R^2$  değerlerine ulaşılmasının bir sonucudur. Oluşturulan W46-S4 modeli 0,972  $R^2$  değerlerine W46-S8 modeli ise 0,952  $R^2$  değerlerine ulaşmaktadır. Modellerin tahmin yeteneğinin sonuca yaklaşma yüzdesi de hesaplanarak Şekil 12’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 12. Tahmin sonuçlarının deney sonuçları ile örtüşme oranı (a) W46-S4 (b) W46-S8.

Deney sonuçlarının tahmin sonuçları ile benzerliğinin verildiği Şekil 12 incelendiğinde W46-S4 modelinde yüksek tutarlılık görülmektedir. Bu modelde deney verilerinin büyük kısmı %95-%100 aralığında oluşmaktadır. Yalnızca bir deney verisi %89 tahmin yeteneği ile sınırlı sonuç üretmektedir. Ortalama tahmin yeteneği ise %95 olarak hesaplanmaktadır. W46-S8 modelinde ise %93 ortalama tahmin yeteneği gözlemlenmektedir. Bununla birlikte 1, 6 ve 13 numaralı deney verileri %90 dan düşük performans sergilemiştir. Özellikle modellenin oluşturduğu 1 numaralı tahmin %82 ile düşük tutarlılığa sahiptir. Tahmin sonuçlarının deney sonuçları arasındaki istatistiksel uyum ise  $R^2$  testi ile kontrol edilmiştir. Bu kapsamda yapılan  $R^2$  testinde W46-S4 deneyleri için 0,889 ve W36-S8 deneyleri için 0,888 değerleri elde edilmiştir.

### C. NK60N5V İÇİN W60-S4 ve W60-S8 MODELLEMESİ ile ELDE EDİLEN VERİLER

Mesh yapısı 60 olan NK60N5V model zımpara taşı kullanılarak yapılan deneyler sonrası yapılan iki modellenme yapılmıştır. Bu modellemeler ile oluşturulan ANOVA yapıları Tablo 12’de görülmektedir.

**Tablo 12.** W60-S4 ve W60-S8 modellemeleri sonucu elde edilen ANOVA analizi.

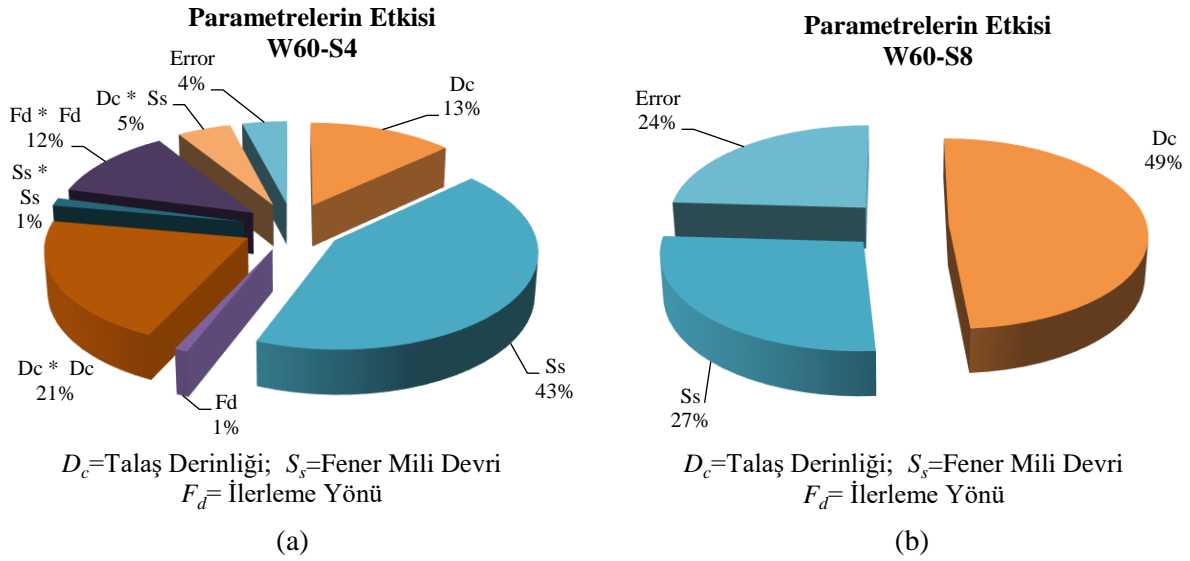
	Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
W60-S4	Model	7	0,07289	0,01041	80,58	0,000
	Linear	3	0,04478	0,01493	115,52	0,000
	Dc	1	0,01037	0,01037	80,24	0,000
	Ss	1	0,03367	0,03367	260,58	0,000
	Fd	1	0,00074	0,00074	5,74	0,048
	Square	3	0,02427	0,00809	62,60	0,000
	Dc*Dc	1	0,01639	0,01639	126,84	0,000
	Ss*Ss	1	0,00105	0,00105	8,14	0,025
	Fd*Fd	1	0,00937	0,00937	72,51	0,000
	2-Yönlü İterasyon	1	0,00384	0,00384	29,75	0,001
	Dc*Ss	1	0,00384	0,00384	29,75	0,001
	Hata	7	0,00090	0,00013		
	Uygunsuzluk	5	0,00090	0,00018		
	Net Hata	2	0,00000	0,00000		
Toplam	14	0,07379				
	Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
W60-S8	Model	2	0,05944	0,02972	18,93	0,000
	Linear	2	0,05944	0,02972	18,93	0,000
	Dc	1	0,03823	0,03823	24,35	0,000
	Ss	1	0,02122	0,02122	13,52	0,003
	Hata	12	0,01884	0,00157		
	Uygunsuzluk	10	0,01884	0,00188		
	Net Hata	2	0,00000	0,00000		
	Toplam	14	0,07828			

Daha önce verilen modellerde kullanılan stepwise fonksiyonu ile modelde bulunan ve modele katkı sunmayan parametreler silinmişti. Benzer W60-S4 modeli ve W60-S8 modelinde de sonuç üzerinde etkisi olmayan parametreler silinmiştir. Bununla birlikte W60-S8 modelinde bulunan birçok parametre silinmiştir. Böylelikle bu model lineer yapıya dönüşmüştür. Her iki model için oluşturulan formüller aşağıda Tablo 13'te verilmiştir.

**Tablo 13.** W60-S4 ve W60-S8 modellemeleri için elde edilen formüller.

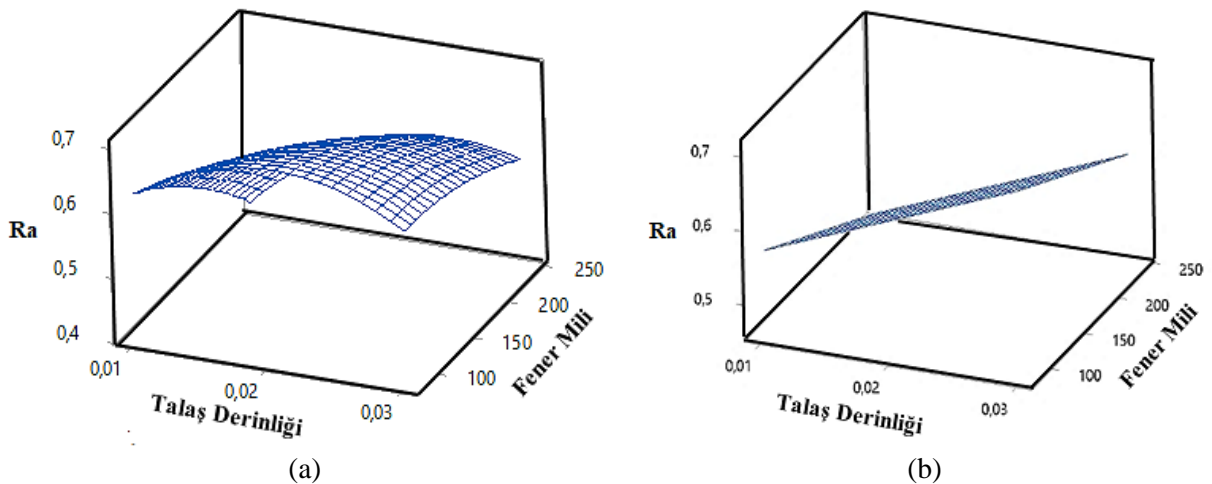
W60-S4	$R_a = 0,2750 + 24,05 \times D_c - 0,00742 \times S_s + 0,2111 \times F_d - 663 \times D_c^2 - 0,000003 \times S_s^2 - 0,05037 \times F_d^2 + 0,03875 \times D_c \times S_s$	
W60-S8	$R_a = 0,5510 + 6,91 \times D_c - 0,000644 \times S_s$	
	$R_a =$ Yüzey Pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )	$D_c =$ Talaş Derinliği (mm)
	$S_s =$ Fener Mili Devri (dev/dak)	$F_d =$ İlerleme Yönü

Oluşturulan formüller ve ANOVA sonuçlarına göre yüzde-pay grafiği ile parametrelerin etkinliği oranlanmıştır. Yapılan işlem Şekil 13'te görülmektedir.



Şekil 13. NK60N5V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W60-S4 (b) W60-S8.

Modeller üzerinde etkisi olan parametreler Şekil 13'te görülmektedir. W60-S4 modelinde fener mili devri sayısı ana etkiyi oluşturmaktadır. Talaş miktarı %13 etkiye, talaş miktarı ile talaş miktarının ilişkisi %21 etkiye sahiptir. Bu model 0,988  $R^2$  değerlerine ulaşmaktadır. W60-S8 modelinde ise birçok parametre modele dahil edilmemiştir. Bu model ile 0,76  $R^2$  değerlerine ulaşmıştır. Bu değer tüm modeller arasında en düşük başarıma sahip modeldir. Ayrıca oluşturulan modelde iki parametrenin etkinliği gözlenmektedir. Talaş miktarı parametresi %49 ile en etkin parametredir. Fener mili devri ise %27 ile ikincil etkiye sahiptir. Bu modelde %24 hata oranı tespit edilmiştir. Burada, W60-S8 modelinde yanıl kayma miktarı 8 mm, W60-S4 modelinde 4 mm'dir. Yanıl kayma miktarı artışı ile kaldırılan talaş miktarı da artmaktadır. Bu durum NK60O5V taşındaki W60-S4 modelinde en etkin olan fener mili devrini (Şekil 13a) W60-S8 modelinde talaş derinliğine doğru değiştirmektedir (Şekil 13b). Bu durum diğer tüm taşlar (NK36P5V ve NK46O5V) içinde geçerlidir ve literatüre [25, 2, 12, 13] paralel bir durum söz konusudur. Parametrelerin etkilerinin parametrelerin değişime bağlı olarak değişimi Şekil 14'te görülmektedir.

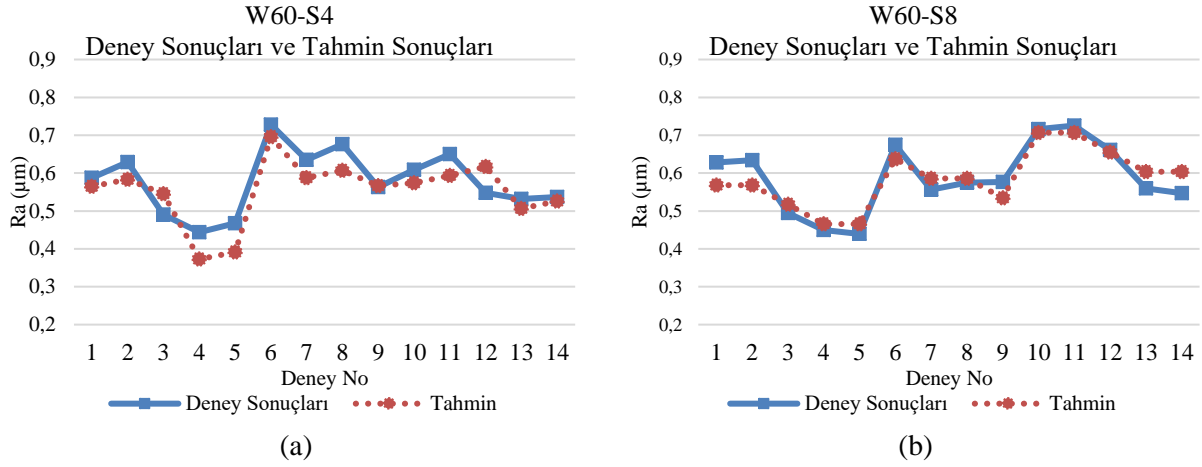


Şekil 14. Parametrelerin sonuç üzerindeki etkileri (a) W60-S4 (b) W60-S8.

Şekil 14'te de görüldüğü üzere, W60-S4 modelinde özellikle düşük talaş derinliği ile yapılan deneylerde fener mili sayısının artması ortalama Ra'yı düşürmektedir. Talaş derinliği parametresinin artışına bağlı olarak fener mili devri artışı sınırlı tepki üretmektedir. W60-S8 modelinde ise fener mili devri etkin bir parametre olmamaktadır. Bu modelde Ra değerleri talaş derinliği miktarına bağlı olarak değişmektedir.

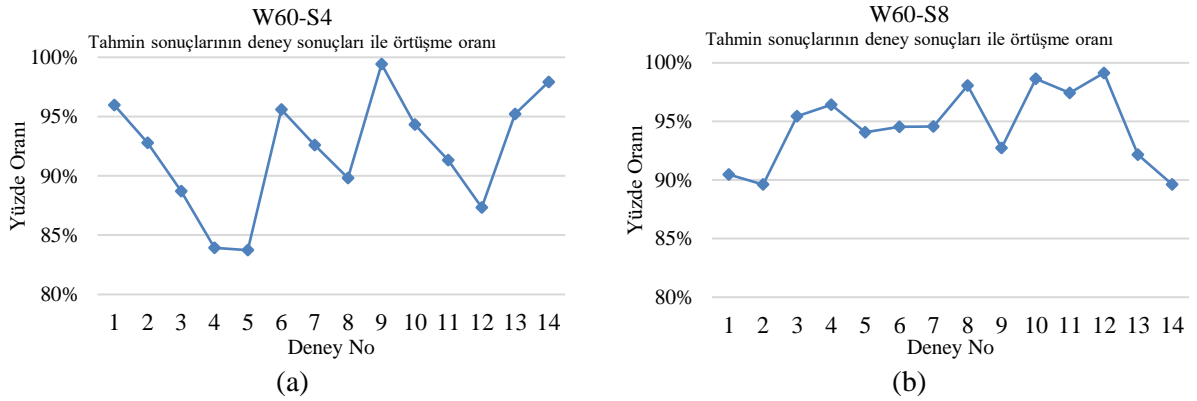


Her iki model içinde yapılan tahmin performans değerlendirmesinde toplam 14 veri için tahmin yeteneği ölçülmüştür. Yapılan bu tahmin sonuçları Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. NK60N5V isimli taş için parametrelerin etkinlikleri (a) W60-S4 (b) W60-S8.

Oluşturulan W60-S4 ve W60-S8 modellerinde de deney sonuçları ile tahmin sonuçları birbirine paralel eğriler oluşturmaktadır. Bu modeller kullanılarak oluşturulan yüzde yakınlık oranları Şekil 16'da grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 16. Tahmin sonuçlarının deney sonuçları ile örtüşme oranı (a) W60-S4 (b) W60-S8.

Deney sonuçları ile tahmin sonuçlarının kıyaslanmasında yüzde benzerlik oranı kullanılmıştır. W60-S4 modellemesinde daha önce yapılan modellemelere kıyasla daha düşük performans alınmıştır. Toplam 5 adet deney tahmini %90 başarımlar seviyesinin altında gerçekleşmiştir. Ortalama başarımlar %92 seviyesinde oluşmuştur. W60-S8 modeli ise en düşük  $R^2$  değerine sahip olmasına rağmen (çok ilginç bir şekilde) yüksek yüzde benzerlik oranına ulaşmaktadır. Bu modelde ortalama yüzde benzerlik oranı %95 olmaktadır. Bununla birlikte tahminlerin genel olarak tutarlı olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum  $R^2$  değeri ile çelişmektedir. Bu noktada oluşturulan model için kullanılan deney verilerinin bazılarının deney şartlarına bağlı olarak olması gereken dışında sonuç ürettiği düşünülmektedir. Yapılan incelemede 4 numaralı deney verisi 9 numaralı deney verisi normalin dışında sonuç üretmiştir. Modelde kullanılan verilerdeki bu farklılık modelin analizinde düşük  $R^2$  değerine sebep olmaktadır. Modelde bulunan bu iki veri analiz edip deney verilerine uygun hale getirildiğinde  $R^2$  değeri 0,76 değerinden 0,95 seviyesine çıkmaktadır. Bu durum deney şartlarından kaynaklanan hatalar nedeniyle 4. ve 9. verinin hatalı olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte tahmin için kullanılan verilerin ise daha tutarlı veriler olması yüksek yüzde benzerlik oranına ulaşmasını sağlamıştır. Ayrıca sadece tahmin sonuçları ile deney sonuçlarının uyumunun kontrolü için de istatistiksel olarak  $R^2$  testi yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan  $R^2$  testinde W60-S4 deneyleri için 0,743 ve W36-S8 deneyleri için 0,825 değerleri elde edilmiştir. Tahmin sonuçları ile deney sonuçlarının uyumunun istatistiksel olarak

nispeten düşük çıkması yukarıda ifade edildiği gibi iki deney verisinin (4. ve 9.) beklenenden farklı sonuçlar üretmesi ile açıklanabilir.

Genel olarak taş dokusu parametresi incelendiğinde düşük taş dokusunda, talaş derinliği ve fener mili etkisinin daha yüksek oranda olduğu görülmektedir. Bu durum bu iki parametrenin Ra üzerinde taş dokusuna bağlı olarak etkili olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara paralel olarak başka bir çalışmada [25], artan taş dokusu ile Ra değerlerinde önemli artışlar olmakla birlikte taşlama kuvvetlerinde belirgin bir değişiklik görülmemiştir. En büyük taşlama kuvveti en yüksek kesme derinliğinde en küçük taş dokusuna sahip taşla yapılan taşlama işlemi esnasında kaydedilmiştir. Taş dokusunun, Ra değeri üzerinde etkisinin belirgin olduğu görülmüştür. AISI 1050 numunelerini taşlama işleminde kesme derinliğinin artırılmasıyla ortalama Ra değerlerinde %44–68 artma olmuştur. Taş dokusuna göre en kararlı Ra değerleri ve taşlama kuvvetleri, orta sıklıkta dokuya sahip 60M5 taşında oluşmuştur [25].

## **IV. SONUC**

Farklı zımpara taşları kullanılarak yapılan ikincil eksenli taşlama işleminin YYY ile analiz edildiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Problemin çözümü için oluşturulan altı YYY modelinde de başarı ile kullanılabilceği ve tutarlı sonuçlar üretebileceği görülmüştür.
- Oluşturulan modellerde ana etkiyi talaş derinliği ve fener mili parametrelerinin oluşturduğu görülmektedir. Bununla birlikte işleme yönü parametresinin bu deney şartları için anlamlı değişim sağlamadığı görülmektedir. Bu durum kullanılan taşlama yöntemindeki ikincil eksen hareketinin işleme yönünden bağımsız olarak her yönde eşit düzeyde yüzey pürüzlülüğü sağladığı anlamını da taşımaktadır.
- Zımpara taşları ile yapılan modellemeler de  $R^2$  değerleri 0,95 değerinin üstüne çıkmaktadır. Bununla birlikte 60 tane boyutuna sahip W60-S8 modelinde 0,76  $R^2$  değeri diğer modelleme sonuçları ile çelişmektedir. Bu durum modelleme işlemlerinde kullanılan iki deney verisinin deney şartlarından kaynaklanan sebeplerle hatalı olduğu göstermektedir. 60 tane boyutunda olan taşlama taşında sistem performansı ve rijitlik problemlerinden dolayı da bu kararsızlığın oluşabileceği de tahmin edilmektedir.
- YYY ile yapılan modeller kullanılarak yapılan tahminlerde yüksek tutarlılıklar görülmektedir.

Bu veriler ışığında ikincil eksenli taşlama yönteminin (GMASRA) modellendiği bu problem için uygun bir modelleme yöntemi olduğu anlaşılmaktadır.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] Kalpakjian, S., Schmid, S., *Manufacturing Process for Engineering Materials*, Sixth Edition, Addison-Wesley, pp. 145-152, 2017.
- [2] Demir, H. ve Güllü, A., “Taşlama Parametrelerinin Taşlama Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 7, ss. 189-198, 2001.
- [3] Tonshoff, H. K., Karpuschewski, B. and Mandrysch, T. “Grinding Process Achievements and their Consequences on Machine Tools Challenges and Opportunities,” *Annals of the CIRP*, vol. 47, pp. 651-668, 1998.

- [4] Adıyaman, O., “Geliştirilen İkincil Dönel Eksenli Taşlama Mekanizması ile Düzlem Yüzey Taşlama İşleminde Kesme Parametrelerinin Araştırılması,” Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2015.
- [5] Shin, Y. C., Chen, Y.T, Kumara, S., “Framework of an Intelligent Grinding Process Advisor,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 3, pp. 135-148, 1992.
- [6] Rowe, B. W., “An Intelligent Multiagent Approach for Selection of Grinding Conditions,” *Annals of the CIRP*, vol. 46, pp. 233-238, 1997.
- [7] Mohamed, A. M. O., Bauer, R., Warkentin, A., “Application of Shallow Circumferential Grooved Wheels to Creep-Feed Grinding,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 213 no. 5, pp. 700-706, 2013.
- [8] Suzuki, K., Uematsu, T. and Nakagawa, T., “Highly Efficient Finishing of Ceramics by Helical Scan Grinding Proceedings of the International Conference on Machining of Advanced Materials,” *National Institute of Standards and Technology*, vol. 847, pp. 17, 1993.
- [9] Savas V., Ozay Ç., “Analysis of The Surface Roughness of Tangential Turn-Milling for Machining with End Milling Cutter,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 186, pp. 279–283, 2007.
- [10] Güllü, A. “Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımı ile Optimizasyonu,” Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 1995.
- [11] Ohmori H., Katahira K., Komotori J., Mizutani M., “Functionalization of Stainless Steel Surface Through Mirror-Quality Finish Grinding,” *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, vol. 57, pp. 545–549, 2008.
- [12] Jae-Seob Kwak, Sung-Bo Sim, Yeong-Deug Jeong., “An Analysis of Grinding Power and Surface Roughness in External Cylindrical Grinding of Hardened Scm440 Steel Using the Response Surface Method,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 46, pp. 304–312, 2006.
- [13] Krajnik, P., Kopac, J., Sluga, A., “Design of Grinding Factors Based on Response Surface Methodology,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 162, pp. 629-636, 2005.
- [14] Günay, E., Yurdakul, M., İç, Y. T., Mızrak, H. V., Güneş, S., “Kam Makarasının Dış Çap Yüzey Taşlama İşleminde Etkili Olan Faktörlerin Deney Tasarımı Kullanılarak En İyilenmesi,” *Politeknik Dergisi*, c. 21, s. 1, ss. 27-37, 2018.
- [15] Shaji, S., Radhakrishnan, V., “Analysis of Process Parameters in Surface Grinding with Graphite as Lubricant Based on the Taguchi Method,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 141, no. 1, pp. 51-59, 2003.
- [16] Dhavlikar, M. N., Kulkarni, M. S., Mariappan, V., “Combined Taguchi and Dual Response Method for Optimization of a Centerless Grinding Operation,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 132, no.1-3, pp. 90-94, 2003.
- [17] Agarwal, S., “Optimizing Machining Parameters to Combine High Productivity with High Surface Integrity in Grinding Silicon Carbide Ceramics,” *Ceramics International*, vol. 42, no. 5, pp. 6244-6262, 2016.

- [18] Karaş, B. S., Ünver, H. Ö., “Yüksek Hassasiyetli Taşlama İşleminde Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Modeli Oluşturma ve Çok Amaçlı Genetik Algoritma ile İşlem Optimizasyonu,” 9. *Talaşlı İmalat Kongresi (UTIS)*, Antalya, Türkiye, 2018, ss. 183-195.
- [19] Adıyaman, O., Savaş, V., “İkincil Dönel Eksenli ile Klasik Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizmalarının Deneysel Araştırılması,” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 11, s. 4, ss. 21-36, 2014.
- [20] Adıyaman, O., Fikret, S., “Yeni Tip Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin İncelenmesi,” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 215-225, 2020.
- [21] Adıyaman, O., Savaş, V., “Yeni Bir Tip Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizması ile Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne (Ra) Etkisinin Araştırılması,” *Politeknik Dergisi*, c. 20, s. 4, ss. 815-825, 2017.
- [22] “Yüzey kalitesi nasıl sağlanır.” <http://aydintaslama.net/yuzey-kalitesi-nasil-saglanir/> (Erişim Tarihi: 21/08/2021).
- [23] Adıyaman, O., “İkincil Dönel Eksenli ile Klasik Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi,” *Technological Applied Sciences*, c. 11, s. 1, ss. 10-23, 2016.
- [24] Bağcı, M., Erişkin, Y., Aslaner, M., *Taşlamacılık ve Alet Bileme Teknolojisi Kitabı*, Milli Eğitim Basımevi Birinci Baskı, İstanbul, Türkiye, 1982, ss. 97-101.
- [25] Demir, H., Güllü, A., “Taş Sertliği ve İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 3, ss. 577-284, 2008.