



Tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü değerlerinin istatistiksel incelenmesi

Statistical analysis of surface roughness in turning process

Harun AKKUŞ^{1*}, Harun YAKA², Levent UĞUR¹

¹Otomotiv Teknolojisi Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Amasya Üniversitesi, Amasya, Türkiye.
harunakkus@windowslive.com, levent.ugur@amasya.edu.tr

²Makine Teknoloji Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Amasya Üniversitesi, Amasya, Türkiye.
harun.yaka@amasya.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 24.02.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 28.09.2016

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.01212

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, 46 HRC sertlikteki silindirik şekle sahip AISI 1040 çeliği için dörder seviyeden oluşan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametrelerine göre Taguchi L_{16} deney tasarımı oluşturulmuştur. Tornalama sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü (Rt) değerleri ölçülmüştür. Ölçülen Rt değerleri için MINITAB14 programından yararlanılarak çoklu regresyon modelleri oluşturulmuş ve Taguchi analizleri gerçekleştirilmiştir. Rt için oluşturulan regresyon modellerinde deney sonuçlarına en yakın sonuçlar %99.8 belirtme katsayısı ile ikinci dereceden çoklu regresyon modeliyle elde edilmiştir. Taguchi tasarımında sinyal/gürültü (S/N) oranları belirlendi. ANOVA analizinde sırası ile ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızının Rt değerine %95 güven düzeyinde etki ettiği elde edilmiştir. Oluşturulan regresyon modelleri ve Taguchi analizi sonucu Rt üzerinde en etkin parametrenin ilerleme olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: AISI 1040, Tornalama, Yüzey pürüzlülüğü, Çoklu regresyon modeli, Taguchi

Abstract

In this study, for the turning of AISI 1040 steel that has cylindrical shape and hardened up to 46 HRC, Taguchi L_{16} experimental design was created according to the parameters of cutting speed, feed rate and cutting depth which consist from four levels. Formed in result of turning, the total surface roughness (Rt) were measured. Regression models have been built. Taguchi analyzes were carried out utilizing by MINITAB 14 Program for measured values of Rt. The closest results of the test results, generated for the Rt regression model, were obtained with 99.8% specify coefficients in order second degrees regression model. Signal/Noise (S/N) ratios were determined in design of the Taguchi. In ANOVA analysis, it was obtained as an effect of the 95% confidence level on Rt values in order feed rate, cutting depth and cutting speed. The result of the regression model and Taguchi analysis was determined as feed rate to be the optimum parameter for Rt values.

Keywords: AISI 1040, Turning, Surface roughness, Multiple regression model, Taguchi

1 Giriş

Talaşlı imalat, malzemeden talaş kaldırarak tasarlanan geometriyi oluşturma işlemidir. Bu tasarlanan geometriyi oluşturmak için uygun malzeme, uygun takım ve tezgâhlar kullanılmalıdır. Talaşlı imalatın önemli bir dalını tornalama işlemi oluşturmaktadır. Tornalama işlemi dönel hareket yapan bir malzeme üzerinden talaş kaldırarak, parçaya tasarlanan silindirik şekli verme işlemidir [1].

Tornalamada bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenlere olan etkisi ürün kalitesini doğrudan etkileyen etmenlerdir [2]. Bağımlı değişkenlerde değişime sebep olan parametrelerin araştırılması, belirlenmesi ürün kalitesinin artırılması açısından önem arz etmektedir [3]. Tornalamada başta kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği olmak üzere devir, işlem boyu, kesici takım çeşidi, malzeme, kesme sıvısı vb. parametreler bağımsız değişkenleri temsil etmektedir [4]. Bu bağımsız değişkenlerin yüzey pürüzlülüğü, aşınma, kuvvet vb. bağımlı değişkenlere etkisi araştırmacıların ilgi odağı oluşturmaktadır [5],[6].

Bir çalışma yapmadan önce uygun malzeme ve bu malzemeyi işleyecek kesici takımın belirlenmesi önemlidir [7]. Bunlar belirlendikten sonra kesici takımın izin verdiği parametreler doğrultusunda deney tasarımı gerçekleştirilir [8]. Ölçüm gerçekleştirirken ölçü aletinin kalibrasyonunun gerçekleştirilmesi ölçü tamlığı açısından önemlidir. Deney sonuçlarının elde edilmesi kadar önemli bir konu da

yorumlanmasıdır [9]. Deney sonuçlarının yorumlanmasında istatistiksel yöntemler, yapay sinir ağları, bulanık mantık vb. kullanılmaktadır. İşlenecek malzemeye uygun kesme parametresi seçimi: yüksek hassasiyet ve verimli işleme sağlanması açısından önemlidir [10]. Araştırmacıların amaçları tasarımında, imalatı veya bakım çalışmalarında en ideal değerleri bulmaktır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan istatistiksel yöntemlerden birisi regresyon analizidir. Regresyon analizi, en az iki değişken arasındaki etkileşimi belirlemek için kullanılan istatistiksel bir metodudur [11]. Regresyona analizinde bir değişken kullanılarak analiz gerçekleştiriliyorsa bu tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla değişken ile gerçekleştiriliyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılır. Regresyon analizleri ile bağımsız değişkenlerin aralarında ilişkilerin olup olmadığı, eğer herhangi bir ilişki söz konusu ise bunun etkinliği hakkında bilgi edinilmektedir [12]. Talaşlı imalatı deney sayısının fazlalığı zaman ve maliyet açısından zorluk oluşturmaktadır. Örneğin belli kesme hızlarında, ilerlemelerde ve talaş derinliklerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümü gerçekleştirilip oluşturulan bir regresyon denklemi sayesinde farklı parametrelerde değişken üzerindeki etkiler hakkında bilgi edinilebilir [13]. Bu da zaman ve maliyet açısından kar sağlar.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan istatistiksel yöntemlerden birisi de Taguchi metodudur [14]. Taguchi metodu, düşük maliyetli gelişim döngüsüne sahip, sistem ve süreç tasarımında ürün performansını iyileştirmeyi amaçlar. Bu metod, toplam

performans üzerinde en etkin parametreleri belirleyen deneysel ve analitik bir yaklaşımdır. Taguchi metodu az sayıda deney ile bütün süreci kapsayacak bir tasarım imkânı sağlar [15].

Bu çalışmada, AISI 1040 çeliğinde tornalama işlemi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri deneysel olarak ölçülmüştür. Deney tasarımı olarak Taguchi L₁₆ dizayn kullanılmıştır. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri için çoklu regresyon ile I. dereceden, II. dereceden ve logaritmik regresyon modelleri oluşturulmuştur. Regresyon denklemleri ve Taguchi analizi ile en etkin parametreler belirlenmiştir. Elde edilen regresyon denklemlerinin deney parametrelerine göre hesapları gerçekleştirilmiş deney sonuçları ile kıyaslanmıştır.

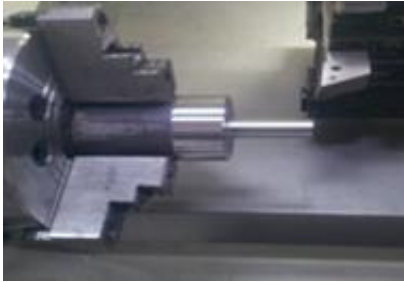
2 Materyal metot

Bu çalışmada motorlarda, makine ve aparat yapımında, orta zorlamalı parçalarda, dişlilerde, transmisyon millerinde ve kalıp setlerinde kullanılan AISI 1040 imalat çeliği iş parçası malzemesi olarak kullanıldı. Tablo 1'de AISI 1040 çeliğinin kimyasal birleşimi verilmiştir.

Tablo 1: AISI 1040 imalat çeliğinin kimyasal birleşimi.

Element	Mn	C	Si	S	P
Yüzde (%)	0.6-0.9	0.37-0.44	0.15-0.35	≤0.05	≤0.04

Deney numunesinin sertlik değeri BMS Digirock RSR sertlik ölçüm cihazı ile ortalama 46 HRC ölçülmüştür. Sertlik ölçümü yapılmadan önce cihazın kalibrasyonu kalibre diski ile gerçekleştirilmiştir. Ø80 x 135 mm ebatlarında olan çelik malzeme kullanılmıştır. Ölçümlere başlanmadan önce boyut farklılıkları, tufallanmalar ve salınımlar CNC tornada giderilmiştir. Deneyler ACE Micromatic Designers LT-20C torna tezgâhında yapılmıştır. Deneylerde herhangi bir soğutucu (sıvı yada gaz) kullanılmamış, kuru kesme şartlarında tornalama işlemi yapılmıştır. Deneylerde takım tutucu olarak Teknik DDJNR 2525 M15 T4411, kesici uç olarak Korloy DNMG 150608 elmas uç kullanılmıştır. İşleme mesafesi 50 mm'dir. Şekil 1'de deneylerde kullanılan numunenin torna tezgâhı üzerindeki bağlantısı, kesici uç ve takım tutucu görülmektedir.



Şekil 1: Deney numunesi, kesici uç ve takım tutucu.

Kesme parametreleri üretici kataloğunda yer alan optimum değerler göz önünde bulundurularak dört farklı kesme hızı (V), dört farklı ilerleme (f) ve dört farklı talaş derinliği (a) olarak belirlenmiştir. Tablo 2'de belirlenen kesme parametreleri verilmiştir.

Tablo 2: Kesme parametreleri ve seviye değerleri.

Kesme parametreleri	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye
V (m/dk.)	200	225	250	275
f (mm/dev)	0.15	0.25	0.35	0.45
a (mm)	1.5	2.5	3.5	4.5

3 Deney sonuçları

Tam faktöriyel tasarım ile toplamda 64 deney yapmak maliyet ve zaman açısından kayıp oluşturacağından bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak adına Taguchi metodu ile L₁₆ ortogonal dizilim oluşturulmuştur. Tablo 2'de verilen kesme parametreleri uygulandıktan sonra oluşan Rt değerleri Mitutoyo SurfTest SJ-210 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Ölçme işlemi yapılmadan önce yüzey pürüzlülük cihazının kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Deneyler beş tekrar olarak gerçekleştirilmiş ve ölçümlerinin ortalaması alınmıştır. Bu çalışmada seçilen uç şekli itibari ile bir uçla dört işlem gerçekleştirilmektedir. Her deney için farklı uç kenarı kullanılmıştır. Tablo 3'te deney listesi ve elde edilen ortalama Rt değerleri verilmiştir.

Tablo 3: Oluşturulan deney tasarımı ve deney sonuçları.

Deney No	V (m/dk.)	f (mm/dev)	a (mm)	Deney sonucu Rt (µm)
1	200	0.15	1.5	6.74
2	200	0.25	2.5	13.87
3	200	0.35	3.5	22.71
4	200	0.45	4.5	34.98
5	225	0.15	2.5	8.41
6	225	0.25	1.5	14.30
7	225	0.35	4.5	25.38
8	225	0.45	3.5	33.01
9	250	0.15	3.5	5.65
10	250	0.25	4.5	15.54
11	250	0.35	1.5	21.30
12	250	0.45	2.5	32.22
13	275	0.15	4.5	12.06
14	275	0.25	3.5	14.98
15	275	0.35	2.5	23.36
16	275	0.45	1.5	33.62

4 Çoklu regresyon denklemleri, sonuçları ve değerlendirilmesi

4.1 I. dereceden regresyon denklemi

Elde edilen I. dereceden regresyon denklemi Denklem (1)'de, denklem katsayıları ise Tablo 4'te verilmiştir.

$$Rt = -10.5 + 0.0108 * V + 84.2 * f + 0.862 * a \quad (1)$$

Tablo 4: I. dereceden regresyon denkleminde elde edilen katsayılar.

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-10.53	4.06	-2.59	0.02
V	0.01	0.02	0.69	0.50
f	84.24	3.88	21.71	0.00
a	0.86	0.39	2.22	0.05

I. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı (R²) %97.5'tir. Belirtme katsayısının bire yakın elde edilmesi değişkenler arasındaki etkileşimin kuvvetini ifade etmektedir. Rt değerindeki değişimin %97.5'i bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Rt bağımlı değişkenine I.

dereceden regresyon denkleminde en çok etki eden bağımsız değişken $P < 0.5$ olduğundan ilerlemedir.

4.2 II. dereceden regresyon denklemi

Elde edilen II. dereceden regresyon denklemi Denklem (2)'de, denklem katsayıları ise Tablo 5'te verilmiştir.

$$Rt = 42.3 - 0.318 * V + 24.2 * f - 4.20 * a + 0.000651 * V^2 + 95.3 * f^2 + 0.607 * a^2 + 0.013 * V * f + 0.0057 * V * a + 0.33 * f * a \quad (2)$$

Tablo 5: II. dereceden regresyon denkleminde elde edilen katsayılar.

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	42.30	37.61	1.12	0.30
V	-0.32	0.29	-1.09	0.32
f	24.18	54.15	0.45	0.67
a	-4.20	5.42	-0.77	0.47
V ²	0.000651	0.0005859	1.11	0.309
f ²	95.31	36.62	2.60	0.04
a ²	0.61	0.37	1.66	0.15
V*f	0.01	0.20	0.07	0.95
V*a	0.01	0.02	0.29	0.78
f*a	0.328	4.937	0.07	0.949

II. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı (R^2) %99.1'dir. Belirtme katsayısının bire yakın elde edilmesi değişkenler arasındaki etkileşimin kuvvetini ifade etmektedir. Rt değerindeki değişimin %99.1'i bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Rt bağımlı değişkenine II. dereceden regresyon denkleminde en çok etki eden bağımsız değişken $P < 0.5$ olduğundan ilerlemedir.

4.3 Logaritmik regresyon denklemi

Elde edilen logaritmik regresyon denklemi Denklem (3)'te, denklem katsayıları ise Tablo 6'da verilmiştir.

$$Rt = 33.2 + 5.5 * \text{Log}(V) + 51.2 * \text{Log}(f) + 4.85 * \text{Log}(a) \quad (3)$$

Tablo 6: Logaritmik regresyon denkleminde elde edilen katsayılar.

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.24	36.51	0.91	0.38
Log(V)	5.49	15.33	0.36	0.73
Log(f)	51.20	4.42	11.58	0.00
Log(a)	4.85	4.42	1.10	0.29

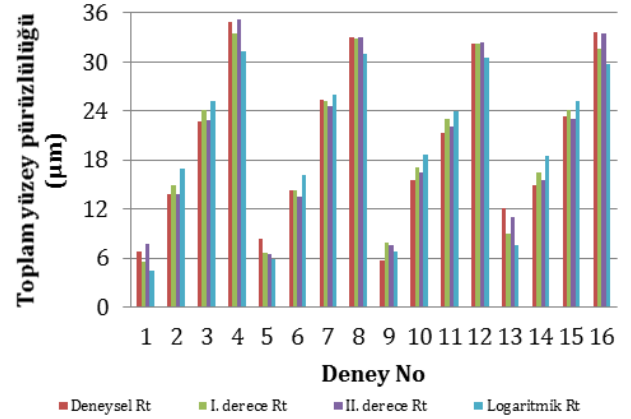
Logaritmik regresyon denkleminde belirtme katsayısı (R^2) %91.9'dur. Belirtme katsayısının bire yakın elde edilmesi değişkenler arasındaki etkileşimin kuvvetini ifade etmektedir. Rt değerindeki değişimin %91.9'u bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Rt bağımlı değişkenine logaritmik regresyon denkleminde en çok etki eden bağımsız değişken $P < 0.5$ olduğundan ilerlemedir.

4.4 Rt için sonuçların kıyaslanması

Rt için çoklu regresyon denklemleri sonucu yapılan hesaplamalar Tablo 7'de verilmiştir. Şekil 2'de elde edilen sonuçlar sütun grafiği olarak gösterilmiştir. Elde edilen belirtme katsayıları, Tablo 7 ve Şekil 2 değerlendirildiğinde II. dereceden regresyon denkleminin deney sonuçlarına daha yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 7: Rt için deneysel, I. dereceden regresyon, II. dereceden regresyon ve logaritmik regresyon sonuçları.

D deney No	D deney sonucu Rt (µm)	I. dereceden Rt (µm)	II. dereceden Rt (µm)	Logaritmik Rt (µm)
1	6.74	5.58	7.75	4.53
2	13.87	14.87	13.75	16.96
3	22.71	24.15	22.92	25.15
4	34.98	33.43	35.29	31.27
5	8.41	6.72	6.54	5.88
6	14.30	14.27	13.56	16.17
7	25.38	25.28	24.56	25.96
8	33.01	32.84	32.96	31.02
9	5.65	7.85	7.65	6.84
10	15.54	17.13	16.48	18.73
11	21.30	22.96	22.15	23.90
12	32.22	32.25	32.37	30.56
13	12.06	8.98	11.06	7.60
14	14.98	16.54	15.49	18.43
15	23.36	24.10	22.98	25.20
16	33.62	31.65	33.52	29.71



Şekil 2: Rt için deneysel ve regresyon sonuçlarının karşılaştırılması.

5 Taguchi yöntemi ile sonuçların değerlendirilmesi

Taguchi metodunda en iyi yüzey pürüzlülüğü için gerekli olan optimum kesme şartları, en küçük en iyi S/N oranı seçilerek yapıldı. MINITAB 14 programında en küçük en iyi denklemi seçilerek S/N ve seviye değerleri hesaplandı. Tablo 8'de bu denklem sonucuna göre elde edilen S/N oranları verilmiştir.

Taguchi metodunda deneysel verilerin analizleri için en temel kriter sinyal/gürültü (S/N) oranıdır. Bu çalışmada Taguchi metoduna göre optimum kesme şartlarını elde etmek için S/N oranı maksimum değeri almalıdır. Bu duruma göre, L_{16} ortogonal dizilimde Tablo 8'de en optimum kesme şartı Rt için -15.04 S/N oranı olarak bulunmuştur. 250 m/dk. kesme hızında, 0.15 mm/dev. İlerlemede ve 3.5 mm talaş derinliğinde en iyi Rt değeri için optimum kesme şartları elde edilmiştir. Taguchi dizaynına göre Rt için MINITAB 14 programından elde edilen faktörlerin seviye değerleri Tablo 9'da verilmiştir. Şekil 3'te Tablo 9'da verilen seviye değerlerinin grafiği verilmiştir. Bundan sonra aynı şartlarda yapılacak deneylerin optimum kesme şartlarının belirlenmesinde Tablo 9'daki ve Şekil 3'te belirtilen kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği faktörlerinin seviye değerlerine göre yorum yapılır. Bu durumda, Kesme hızı faktörünün üçüncü seviyesi, ilerleme faktörünün birinci seviyesi ve talaş derinliği faktörünün üçüncü

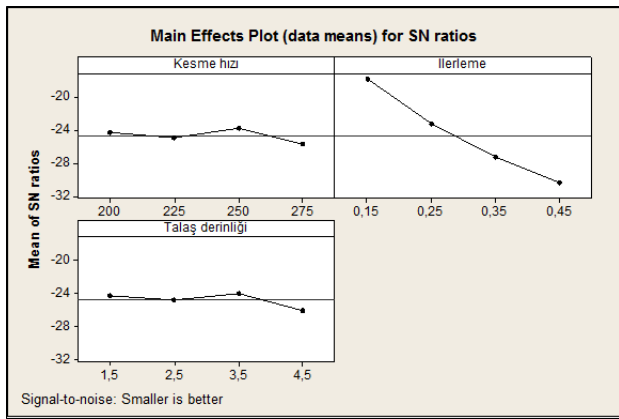
seviyesi yüksek olduğu Şekil 3 ve Tablo 9'da görülmektedir. Dolayısıyla yapılacak deneyler için aynı şartlarda tespit edilen optimum kesme şartları kesme hızı için 250 m/dk. ilerleme 0.15 mm/dev. ve talaş derinliği 3.5 mm olacaktır. Tablo 9'da ayrıca kesme parametrelerinin Rt'ye etkisi sırası ile ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı olarak elde edilmiştir.

Tablo 8: L₁₆ ortogonal diziliminde Rt için S/N oranları.

Deney No	V (m/dk.)	f(mm/dev)	a(mm)	Rt (µm)	S/N
1	200	0.15	1.5	6.74	-16.57
2	200	0.25	2.5	13.87	-22.84
3	200	0.35	3.5	22.71	-27.12
4	200	0.45	4.5	34.98	-30.88
5	225	0.15	2.5	8.41	-18.50
6	225	0.25	1.5	14.30	-23.11
7	225	0.35	4.5	25.38	-28.09
8	225	0.45	3.5	33.01	-30.37
9	250	0.15	3.5	5.65	-15.04
10	250	0.25	4.5	15.54	-23.83
11	250	0.35	1.5	21.30	-26.57
12	250	0.45	2.5	32.22	-30.16
13	275	0.15	4.5	12.06	-21.63
14	275	0.25	3.5	14.98	-23.51
15	275	0.35	2.5	23.36	-27.37
16	275	0.45	1.5	33.62	-30.53

Tablo 9: Yüzey pürüzlülüğü faktörü Rt için S/N cevap tablosu.

Level	Kesme hızı	İlerleme	Talaş derinliği
1	-24.350	-17.930	-24.190
2	-25.020	-23.320	-24.720
3	-23.900	-27.290	-24.010
4	-25.760	-30.490	-26.110
Delta	1.860	12.550	2.090
Rank	3	1	2



Şekil 3: En küçük en iyi çözümünde faktör seviyeleri.

Taguchi metodu ile elde edilen S/N oranından optimum kesme şartları belirlenirken, varyans analizi ile de kesme parametreleri arasındaki ilişki tespit edilmiştir. S/N'nın kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Tablo 10'da ANOVA analiz sonuçları görülmektedir. ANOVA sonuçlarına göre anlamlılık düzeyi $p < 0.01$ veya $p < 0.05$ olmalıdır. Bu sonuçlara göre en anlamlı değer sırası ile ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızıdır. Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği %95 güven düzeyinde etkinlik göstermiştir. Bu sonuçlar aynı zamanda Tablo 9'daki önem sırasını doğrular niteliktedir.

Tablo 10: S/N-Kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği arasındaki ilişki.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kesme hızı	3	11.84	11.84	3.948	12.53	0.005
İlerleme	3	1433.91	1433.91	477.971	1517.38	0.000
Talaş derinliği	3	24.18	24.18	8.059	25.59	0.001
Residual Error	6	1.89	1.89	0.315		
Total	15	1471.82				

6 Sonuçlar

Bu çalışmada, AISI 1040 çeliğinde tormalama işlemi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri deneysel olarak ölçülmüştür. Kesme faktörleri olan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin dört farklı seviyesi için MINITAB 14 programında Taguchi metodu kullanılarak L₁₆ ortogonal dizilim elde edilmiştir. Bu sayede tam faktöriyel 64 deney yerine 16 deney yapılmıştır.

Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri için çoklu regresyon ile tahmin modeli oluşturulmuştur. Yapılan regresyon modeli ile Rt için en iyi regresyon denklemi %99.1'lik belirtme katsayısı ile II. dereceden regresyon denklemi olduğu ve II. dereceden denklemde Rt'ye en çok etki eden bağımsız değişkenin ilerleme olduğu tespit edilmiştir.

L₁₆ ortogonal dizilimine göre yapılan deneyler neticesinde Rt'nin S/N oranları bulundu. En küçük en iyi S/N oranı denklemi kullanılarak, S/N oranında maksimum değer arandı. Maksimum S/N oranı en optimum kesme parametrelerini vermektedir. Tormalama operasyonunda en düşük Rt için maksimum -15.04 S/N değerine karşılık gelen optimum kesme şartları, kesme hızı 250 m/dk. ilerleme 0.15 mm/dev. ve talaş derinliği 3.5 mm olarak elde edilmiştir.

S/N oranlarına varyans analizi uygulanarak, kesme parametrelerinin Rt üzerindeki ilişki düzeyleri belirlenmiştir. ANOVA analizine göre Rt değerinde sırası ile ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızının %95 güven düzeyinde etki ettiği sonucuna varılmıştır.

Çalışmamızın temel amacı olan en etkin parametrenin tespitinde oluşturulan regresyon modelleri ve Taguchi analizi sonucu Rt üzerinde en etkin parametrenin ilerleme olduğu sonucuna varılmıştır.

7 Kaynaklar

- [1] Ahmed GS, Quadri SSH, Mohiuddin MS. "Optimization of feed and radial force in turning process by using Taguchi design approach". *Materials Today: Proceedings*, 2(4), 3277-3285, 2015.
- [2] Camposeco-Negrete C. "Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA". *Journal of Cleaner Production*, 53, 195-203, 2013.
- [3] Selvaraj DP, Chandramohan P, Mohanraj M. "Optimization of surface roughness, cutting force and tool wear of nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry turning process using Taguchi method". *Measurement*, 49, 205-215, 2014.

- [4] Debnath S, Reddy MM, Yi QS. "Influence of cutting fluid conditions and cutting parameters on surface roughness and tool wear in turning process using Taguchi method". *Measurement*, 78, 111-119, 2016.
- [5] Risbood KA, Dixit US, Sahasrabudhe AD. "Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process". *Journal of Materials Processing Technology*, 132(1), 203-214, 2003.
- [6] Tebassi H, Yallese M, Meddour I. "A new method for evaluation nominal coefficient of friction and frictional forces in turning and inserts characterization using cutting forces profiles". *Engineering Solid Mechanics*, 4(1), 1-10, 2016.
- [7] Thamizhmanii S, Saparudin S, Hasan S. "Analyses of surface roughness by turning process using Taguchi method". *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 20(1-2), 503-506, 2007.
- [8] Yang WP, Tarnng YS. "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method". *Journal of Materials Processing Technology* 84(1), 122-129, 1998.
- [9] Krishankant JT, Bector M, Kumar R. "Application of Taguchi method for optimizing turning process by the effects of machining parameters". *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2(1), 263-274, 2012.
- [10] Sahu S, Choudhury BB. "Optimization of surface roughness using Taguchi methodology & prediction of tool wear in hard turning tools, materials today". *Proceedings*, 2(4), 2615-2623, 2015.
- [11] Mandal N, Doloi B, Mondal B. "Surface roughness prediction model using zirconia toughened alumina (ZTA) turning inserts: Taguchi method and regression analysis". *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 97(1), 77-84, 2016.
- [12] Asiltürk İ, Akkuş H. "Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method". *Measurement*, 44(9), 1697-1704, 2011.
- [13] Agrawal A, Goel S, Rashid WB, Price M. "Prediction of surface roughness during hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC)". *Applied Soft Computing*, 30, 279-286, 2015.
- [14] Nalbant M, Gökaya H, Sur G. "Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning". *Materials & Design*, 28(4), 1379-1385, 2007.
- [15] Tekait İ, Günay M, Şeker U. "Optimization of cutting parameters and chip breaker form by Taguchi method in turning operations". *6th International Advanced Technologies Symposium (LATS'11)*, Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.