

AA 7075 ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE KESME HIZI, İLERLEME ORANI, İŞLEME DESENİ VE TALAŞ DERİNLİĞİ İŞLEM PARAMETRELERİNİN YÜZEY KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ahmet Murat PİNAR*, **Enver ATİK****, **Uğur ÇAVDAR*****

*ahmet.pinar@bayar.edu.tr Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu MYO, 45400-Turgutlu-Manisa

**enver.atik@bayar.edu.tr Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45140-Muradiye-Manisa

***ugur.cavdar@bayar.edu.tr Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45140-Muradiye-Manisa

ÖZET

Yüksek dayanım/ağırlık oranları, iyi korozyon direnci, yüksek plastik deformasyon yeteneği ve yüksek talaş kaldırma oranı özelliklerine sahip AA 7075 alüminyum alaşımı uçak, planör, bisiklet ve plastik enjeksiyon kalıpcılığı alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu ürünlerin imalatındaki en önemli kalite karakteristiklerden biri de yüzey pürüzlülüğüdür. Bu çalışmada, Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak, AA 7075'in frezelenmesinde kesme hızı, ilerleme oranı, takım yolu deseni ve talaş derinliği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri belirlenmiştir. İşlem parametreleri seviyelerinin farklı kombinasyonlarında gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar, varyans analizi ve ana etkiler grafiği ile değerlendirilmiş ve sistemin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Frezeleme, Cep İşleme, ANOVA, Yüzey Pürüzlülüğü, Optimizasyon

ABSTRACT

AA 7075 aluminum alloy with the properties such as high strength to weight ratio, good corrosion resistance, high plastic deformation ability and high material removal rate is used in the areas of plane, glider, bicycle and plastic injection molding widely. One of the most important quality characteristics in the manufacturing of these products is surface roughness. In this study, the effects of cutting speed, feed rate, tool path pattern and depth of cut on surface roughness are determined using Taguchi experimental design method in the milling of AA 7075. The results of the experiments conducted in different combinations of process parameter levels is evaluated via analysis of variance and main effects graph and the optimization of the system is realized.

Keywords: Milling, Pocketing, ANOVA, Surface Roughness, Optimization

1. GİRİŞ

Cep işleme en önemli frezeleme stratejilerinden biri olup, en basit anlamda kesici takımın verilen talaş derinliği ile birlikte çapından daha büyük bir hacmi boşaltması olarak tarif edilebilir. Cep unsurların değerlendirildiği en önemli kalite karakteristikleri boyut, konum doğruluğu ve yüzey kalitesidir. Yüzey kalitesi kesici takım geometrisi, kesme parametreleri ve tezgâhın rijitliği gibi birçok faktörden etkilenmektedir ve işlenecek unsurun çalıştığı sistemin ömrünü verimini ve görselliğini önemli ölçüde belirlemektedir.

Son yıllarda yüksek dayanım ağırlık oranları, iyi korozyon direnci ve yüksek talaş kaldırma oranı özelliklerine sahip alüminyum alaşımları havacılık, savunma sanayi, plastik enjeksiyon kalıpcılığı ve otomotiv endüstrisinde giderek artan bir kullanım oranına ulaşmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin işlenebilirlik çalışmaları önem kazanmaktadır.

Tam faktöriyel tasarım, faktörlere ait seviyelerin tüm kombinasyonlarının değerlendirildiği çok zaman alıcı ve pahalı bir istatistiksel modelleme yöntemidir. Örneğin 3 faktörlü 3 seviyeli bir deney sistemi 81 adet deney içermektedir. Yüzey cevap yöntemi daha az deney sayısında faktörlerin ana, etkileşim ve karelerinin etkilerinin modellendiği ve aynı zamanda optimizasyon işlemine izin veren yaygın bir yöntemdir. Bu alandaki işlenebilirlik çalışmalarında [1-5] başarı ile kullanılmaktadır.

Taguchi yöntemiyle az deney sayısında, karmaşık hesaplara ihtiyaç duymadan hem nitel hem de nicel faktör ve etkileşimlerin kalite karakteristiği üzerindeki etkileri belirlenmektedir. Buna ek olarak, sistemin optimizasyonu da gerçekleştirilebilmektedir. Son yıllarda bu avantajlarından dolayı Alüminyum alaşımlarının frezelenmesinde çok sık başvurulmuştur [6-8].

Bu çalışmada AA 7075 alaşımının frezelenmesinde, kesme hızı, ilerleme oranı, işleme deseni ve talaş derinliği faktörlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri Taguchi yöntemiyle değerlendirilerek, optimum yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

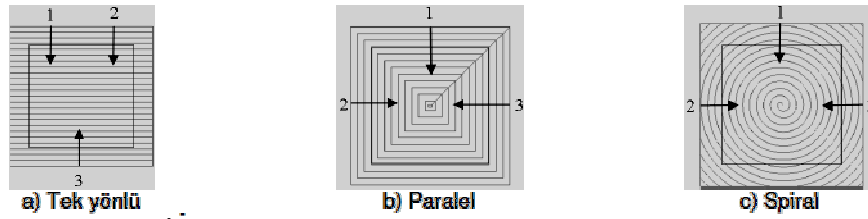
Deney numunesi olarak 60x60x30 mm AA 7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Deney planına ait cep işleme operasyonları First MCV 300 CNC dik işleme merkezinde ıslak soğutmayla gerçekleştirilmiştir. Kesici olarak Mitsubishi tek uçlu, 14 mm çapında, 90° giriş açılı ve 0.8 mm uç yarıçaplı kaplamasız sementit karbür parmak freze kullanılmıştır

Numunelere ait CNC parça programları MasterCAM V10 yazılımında 2½ eksen cep işleme olarak Fanuc kontrol ünitesine göre oluşturulmuştur. Deney sistemimizde, işlem parametresi olarak kesme hızı, ilerleme oranı, işleme deseni ve talaş derinliğinin ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tablo 1’de kullanılan işlem parametrelerine (faktörler) ait seviyeler verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan işlem parametreleri ve bunlara ait seviyeler

İşlem Parametreleri	Birimler	Seviyeler		
		1	2	3
Kesme hızı (A)	m/dk	100	200	300
İlerleme hızı (B)	mm/dk	150	675	1200
İşleme deseni (C)	-	Tek yönlü	Paralel	Spiral
Talaş derinliği (D)	mm	1	1.75	2.5

Faktörlere ait seviyeler, tezgah kapasitesi, kesici takım geometrisi ve üretici katalog değerleri dikkate alınarak bir takım pilot deneyler sonucunda belirlenmiştir. Ortalama pürüzlülük izleyici uç (stylus) prensibi ile çalışan Mitutoyo SurfTest 311 ile 5 mm'lik örnekleme uzunluğunda kesici takımın izlerine dik yönde ölçülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. İşleme desenleri ve bunlara ait pürüzlülük ölçümleri

3. DENEY TASARIMI VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Deney tasarım ve analiz yöntemi olarak Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin ana basamakları, (1) faktör ve etkileşimlerin belirlenmesi, (2) her bir faktörün seviyelerinin belirlenmesi, (3) uygun ortogonal matrisin seçilmesi, (4) faktör ve etkileşimlerin ortogonal matrislerin sütunlarına aktarılması, (5) deneylerin yapılması, (6) verilerin analizi ve optimal seviyelerin belirlenmesi, ve (7) doğrulama deneylerinin yapılmasıdır [9].

Taguchi'ye ait standart ortogonal matrisler deney planını oluşturmaktadır ve seçimi deney sisteminde kullanılan faktör, faktörlere ait seviye ve etkileşim sayısı dikkate alınarak belirlenmektedir. Sistemimizde L27 ortogonal matris seçilmiştir. Matrisin sütunlarına faktörler ve etkileşimler atanmakta ve satırlarda faktörlerin farklı seviyelerindeki deneyleri ifade etmektedir. Tablo 2'de deney sisteminde kullanılan L27 ortogonal matris görülmektedir.

Tablo 2. Deney sistemini oluşturan L27 ortogonal matris

Test no	Sütun no												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	A	B	AXB	AXB	C	AXC	AXC	BXC	D	-	BXC	-	-
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	2	3	3	1	2	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

L27 deney planı temel alınarak gerçekleştirilen deney sonuçları (Tablo 3), sinyal gürültü oranı (S/N) analizi ve varyans analizi (ANOVA) ile % 95 güven seviyesinde değerlendirilmiştir.

Tablo 3. Deney sonuçları, bunlara ait ortalamalar ve S/N'ları

Deney no	Kesme hızı (A)	İlerleme oranı (B)	İşleme deseni (C)	Talaş derinliği (D)	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra _{ort}	S/N
1	100	150	Tek yönlü	1	0.71	0.56	0.52	0.596667	4.404524
2	100	150	Paralel	1.75	0.66	0.73	0.72	0.703333	3.048395
3	100	150	Spiral	2.5	0.61	0.56	0.59	0.586667	4.626847
4	100	675	Tek yönlü	1.75	1.14	0.98	1.2	1.106667	-0.9108
5	100	675	Paralel	2.5	0.99	1.68	1.31	1.326667	-2.64708
6	100	675	Spiral	1	0.71	0.69	0.73	0.71	2.972536
7	100	1200	Tek yönlü	2.5	2.5	2.53	2.52	2.516667	-8.01662
8	100	1200	Paralel	1	0.95	0.94	1.47	1.12	-1.19146
9	100	1200	Spiral	1.75	1.25	0.76	1.13	1.046667	-0.56524
10	200	150	Tek yönlü	1.75	0.58	0.63	0.62	0.61	4.28796
11	200	150	Paralel	2.5	0.67	0.69	0.62	0.66	3.600489
12	200	150	Spiral	1	0.62	0.57	0.63	0.606667	4.332876
13	200	675	Tek yönlü	2.5	1.02	1.01	1.03	1.02	-0.17228
14	200	675	Paralel	1	0.66	0.63	0.68	0.656667	3.64885
15	200	675	Spiral	1.75	0.66	0.68	0.8	0.713333	2.901649
16	200	1200	Tek yönlü	1	1.01	1.01	1.02	1.013333	-0.11514
17	200	1200	Paralel	1.75	1.12	1.17	1.12	1.136667	-1.11453
18	200	1200	Spiral	2.5	1.47	1.48	1.23	1.393333	-2.91088
19	300	150	Tek yönlü	2.5	0.58	0.56	0.62	0.586667	4.624327
20	300	150	Paralel	1	0.55	0.55	0.54	0.546667	5.245225
21	300	150	Spiral	1.75	0.61	0.64	0.6	0.616667	4.195693
22	300	675	Tek yönlü	1	0.66	0.61	0.62	0.63	4.008086
23	300	675	Paralel	1.75	0.79	0.8	0.73	0.773333	2.225732
24	300	675	Spiral	2.5	0.71	0.76	0.74	0.736667	2.651202
25	300	1200	Tek yönlü	1.75	0.98	1.01	1.17	1.053333	-0.47846
26	300	1200	Paralel	2.5	1.14	1.21	1.17	1.173333	-1.39102
27	300	1200	Spiral	1	0.83	0.73	0.9	0.82	1.692403

μ=0.90593

3.1. S/N Analizi

Taguchi yöntemi, sisteme ait varyasyonu ölçmek için S/N analizini kullanır [10]. Kalite karakteristiklerine bağlı olarak birçok S/N bulunmaktadır. Bunlar S/N değeri; küçük değer iyi (SB), büyük değer iyi (LB), nominal değer iyi (NB) olarak kalite değerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir. Düşük yüzey pürüzlülüğü tercih edildiğinden SB S/N seçilmiş olup, Eş. 2’de buna ait formül verilmektedir.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

Burada n ölçüm sayısı, y ölçülen karakteristik değer (ortalama pürüzlülük, R_a), S/N oranı birimi dB (desibel) dir. Tablo 3’ün 10. sütununda tüm deneylere ait S/N’ler verilmiştir.

3.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Çalışmada kesme hızı, ilerleme oranı, işleme deseni ve talaş derinliği parametrelerinin ortalama pürüzlülük üzerindeki anlamlılıkları, ortalamalar ve S/N için gerçekleştirilen ANOVA’lar ile belirlenmiştir. ANOVA’da ilgili parametrenin anlamlılığı, o parametreye ait varyansın hatanın varyansına oranı olan F değerinin, F_{tablo} ($F_{0.05}$) değeri ile karşılaştırılması ile belirlenir [10]. ANOVA’nın son sütununda faktörlerin sonuç üzerindeki etki derecesini ifade eden yüzdellik oranlar verilmiştir. İki ANOVA’da (Tablo 4 ve Tablo 5) ortak olarak ilerleme oranı ve talaş derinliği faktörlerinin anlamlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle optimizasyonun tahmininde bu faktörlere ait ortalamalar dikkate alınacaktır.

Tablo 4. Ortalamalar için ANOVA sonuçları

Kaynak	DF	KT	V	F	KT'	YD
Kesme hızı (A)	2	0.4480	-	Çekilmiş	-	
İlerleme oranı (B)	2	1.8816	0.94080	*11.29	1.71506	39.48
İşleme deseni (C)	2	0.2018	-	Çekilmiş	-	
Talaş derinliği (D)	2	0.6308	0.31539	*3.79	0.46426	10.69
A*B	4	0.2072	-	Çekilmiş	-	
A*C	4	0.4191	-	Çekilmiş	-	
B*C	4	0.2256	-	Çekilmiş	-	
Hata	22	1.832	0.08327		2.16498	49.84
Toplam	26	4.3443				100

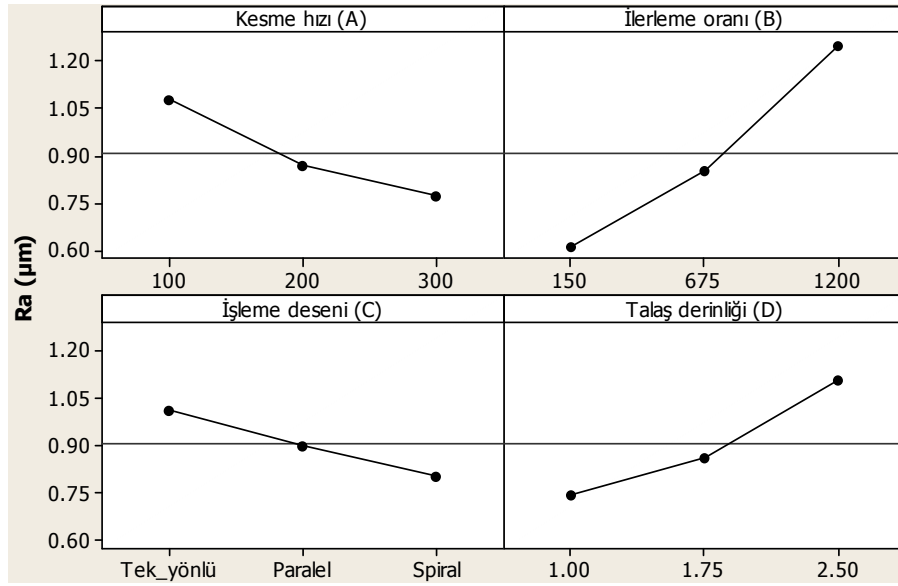
Tablo 5. S/N için ANOVA sonuçları

Kaynak	DF	KT	V	F	KT'	YD
Kesme hızı (A)	2	24.984	12.492	*11.51	22.812	8.85
İlerleme oranı (B)	2	153.354	76.677	*70.64	151.182	58.65
İşleme deseni (C)	2	8.763	-	Çekilmiş	-	
Talaş derinliği (D)	2	33.771	16.886	*15.56	31.599	12.26
A*B	4	7.388	-	Çekilmiş	-	
A*C	4	16.476	-	Çekilmiş	-	
B*C	4	6.522	-	Çekilmiş	-	
Hata	20	6.513	1.086		52.179	20.24
Toplam	26	257.772				100

DF: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, V: Varyans, KT': Saf kareler toplamı, YD: Yüzde dağılım, *Anlamlı parametreler, $F_{0.05,2,22}=3.44$ ve $F_{0.05,2,20}=3.49$

3.3 Optimum Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi

Optimum yüzey pürüzlülüğü ortalamalar ve S/N değerlerine ait ANOVA'lar ve faktörlere ait ana etkiler grafiği (Şekil 2) dikkate alınarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Faktörlere ait ana etkiler grafiği

Buna göre ortalama pürüzlülüğün kesme hızı ile ters, ilerleme oranı ve talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. İşleme deseninde en düşük pürüzlülük sırasıyla spiral, paralel ve tek yönlü işleme desenlerinde elde edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda minimum yüzey pürüzlülüğü kesme hızının üçüncü (A=300 m/dk), ilerleme oranının birinci (150), işleme deseninin üçüncü (C=Spiral) ve talaş derinliğinin birinci (D=1 mm) seviyelerinde elde edilmiştir. Eş. 2'de optimum yüzey pürüzlülüğü tahmin edilmektedir. Tablo 6'da Eş. 2'de kullanılmak üzere faktörlerin seviyelerine ait ortalama R_a değerleri verilmiştir.

Tablo 6. Faktör seviyelerine ait ortalama R_a değerleri

Seviye	Kesme hızı (A)	İlerleme oranı (B)	İşleme deseni (C)	Talaş derinliği (D)
1	1.0793	0.6126	1.0148	0.7444
2	0.8678	0.8526	0.8996	0.8622
3	0.7707	1.2526	0.8033	1.1111
Fark	0.3085	0.6400	0.2115	0.3667
Derece	3	1	4	2

$$T_{opt}=B'_1+D'_1-\mu \quad (2)$$

Burada T_{opt} ; Taguchi'nin tahmin ettiği optimum yüzey pürüzlülüğü, B'_1 ; ilerleme oranının birinci seviyesinde gerçekleştirilen deneylere ait ortalamalar, D'_1 ; talaş derinliğinin birinci seviyesinde gerçekleştirilen deneylere ait ortalamalar ve μ de tüm deneylere ait ortalamaları ifade etmektedir. Buna göre $T_{opt}=0.45107 \mu\text{m}$ olarak tahmin edilmiştir. Bundan sonraki aşamada, sistemin optimizasyonu yeterli doğrulukta gerçekleştirip gerçekleştirmediğinin test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla tahmin edilen yüzey pürüzlülüğü için güven aralığının (CI) belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıda bunun hesaplandığı eşitlik verilmektedir.

$$CI = \left(F_{0.05}(1, DF_e) \cdot V_e \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right] \right)^{1/2} \quad (3)$$

Burada $F_{0.05}(1, DF_e)$ 0.05 anlamlılık seviyesinde 1'e ve hatanın serbestlik derecesine göre tablolardan elde edilen F değeridir ve 4.3'dür. V_e , Tablo 4'deki hatanın varyansı olup, 0.08327 olarak hesaplanmıştır. R doğrulama deney sayısıdır ve 3 adet gerçekleştirilmiştir. n_{eff} ise etkin tekrar sayısıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + V_t} \quad (4)$$

Burada, N toplam deney sayısını (27), V_t de ortalamanın hesaplandığı işlem parametrelerine ait toplam serbestlik derecesidir (4). Buna göre, n_{eff} 5.4 olarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda $CI = \pm 0.43$ olarak elde edilmiş olup doğrulama deneylerine ait sonuçların ortalaması aşağıdaki aralıkta yer almalıdır.

$$0.021 < Rd_{ort} < 0.88$$

Optimum seviyelerde (A=300 m/dk, B=150 mm/dk, C=Spiral ve D=1 mm) gerçekleştirilen doğrulama deneylerinde 0.49 μ m'lik yüzey pürüzlülüğü elde edilmiş olup, belirlenen güven aralığının içinde yer almaktadır. Böylelikle Taguchi yöntemi kullanılarak sistemin optimizasyonu 0.05 anlamlılık seviyesinde başarı ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'de verilen deney sonuçlarına göre en düşük yüzey pürüzlülüğü 20 no'lu deneyde (A=300 m/dk, B=150 mm/dk, C=Paralel ve D=1 mm) 0.54 μ m olarak elde edilmiştir. Yapılan optimizasyon işlemi ile bu değer %9.26 iyileştirilmiştir.

4. SONUÇLAR

Sunulan çalışmada AA 7075 alaşımın çep işleme operasyonu ile frezelenmesinde kesme parametrelerinin ortalama pürüzlülükle olan ilişkisi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Ortalama pürüzlülük kesme hızı ile ters ilerleme oranı ve talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değişmektedir. En düşük pürüzlülükler sırasıyla spiral, paralel ve tek yönlü işleme desenlerinde elde edilmiştir.
- Optimum ortalama pürüzlülük kesme hızının üçüncü (A=300 m/dk), ilerleme oranının birinci (B=150 mm/dk), işleme deseninin üçüncü (C=Spiral) ve talaş derinliğinin birinci (D=1 mm) seviyelerinde 0.45107 μ m olarak tahmin edilmiştir. Optimum seviyelerde yapılan üç adet doğrulama deneyinde ortalama 0.49 μ m'lik R_a değeri elde edilmiş olup, optimizasyon başarı ile gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, deney planındaki en düşük ortalama R_a değeri %9.26 iyileştirilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Çalışmayı destekleyen Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No: MÜH 2008-11) ve işlem planlama aşamasındaki desteklerinden dolayı Hüseyin PEKZORLU'ya teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

- [1] FUHT, K. H. ve WU, C. F., A proposed statistical model for surface quality prediction in end-milling of Al alloy, **Int. J. Mach. Tools Manufact**, 35, 8, 1187-1200, (1995).
- [2] WANG, M. Y. VE CHANG, H. Y., Experimental study of surface roughness in slot end milling Al2014-T6, **Int. J. Mach. Tools Manufact.**, 44, 51-5, (2004).
- [3] ÖKTEM, H., ERZURUMLU, T. ve KURTARAN, H., Application of response surface methodology in the optimization of cutting conditions for surface roughness, **J. Mater. Process. Tech.**, 170, 11-16, (2005).
- [4] ERZURUMLU, T. ve ÖKTEM, H., Comparison of response surface model with neural network in determining the surface quality of moulded parts, **Mater. Des.**, 28, 459-465, (2007).
- [5] ROUTARA, B. C., BANDYOPADHYAY, A. ve SAHOO, P., Roughness modeling and optimization in CNC end milling using response surface method: effect of workpiece material variation, **Int. J. Adv. Manuf. Tech.**, 40, 1166-1180, (2009).
- [6] YANG, J. L. ve CHEN, J. C., A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end milling operations, **J. Ind. Tech.**, 17, 2, 1-8, (2001).
- [7] LO, S. P., CHIU, J. T. ve LIN, H. Y., Rapid measurement of surface roughness for face-milling aluminum using laser scattering and the Taguchi method, **Int. J. Adv. Manuf. Tech.**, 26, 1071-1077, (2005).
- [8] ÖKTEM, H., ERZURUMLU, T. ve ÇÖL, M., A study of the Taguchi optimization method for surface roughness in finish milling of mold surfaces, **Int. J. Adv. Manuf. Tech.**, 28, 694-700, (2006).
- [9] CHEN, Y. H., TAM, S. C., CHEN W. L. ve ZHENG, H. Y., Application of Taguchi method in the optimization of laser micro-engraving of photomasks, **International Journal of Materials & Product Technology**, 11, ¾, 333-344, (1996).
- [10] PİNAR, A. M. ve GÜLLÜ, A., Bir hidrolik pozisyonlama sisteminde piston çapı, ilerleme oranı, yön ve eksen parametrelerinin optimum seviyelerinin belirlenmesi, **E-Journal of New World Sciences Academy**, 4, 3, 252-262, (2009).