

ASJ KESME İŞLEMİNDE TAM FAKTÖRİYEL İLE TAGUCHI DENEY TASARIMI YÖNTEMLERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ TAHMİN MODELİ OLUŞTURMADAKİ ETKİLERİ

Hakan ÇANDAR^a, Mustafa DERE^b, İ. Hüseyin FİLİZ^{c*},

^a, Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
Tel: 0-342-3172595 candar@gantep.edu.tr Gaziantep/TÜRKİYE

^b, Gaziantep Üniversitesi Gaziantep Meslek Yüksekokulu
Tel: 0-342-3171774 dere@gantep.edu.tr Gaziantep/TÜRKİYE

^{c,*} Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
Tel: 0-342-3172545 hfiliz@gantep.edu.tr Gaziantep/TÜRKİYE

Özet

Bu çalışmada tam faktöriyel ve Taguchi deney tasarımı yöntemlerinin yüzey pürüzlülüğü tahmin modeli oluşturmadaki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla Aşındırıcılı su jeti (ASJ) ile havacılık ve otomobil sanayinde yaygın olarak kullanılan AL 7075 malzemesi değişik kesme şartlarında kesilerek deney örnekleri hazırlanmıştır. Bölümümüzde mevcut tezgahın özellikleri de göz önüne alınarak, su basıncı, ilerleme hızı, meme-uç mesafesi ve numune kalınlığı her biri üçer seviye olacak şekilde işlem parametreleri olarak belirlenmiş ve deney örneklerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri (Ra) ölçülmüştür. Deneyler tam faktöriyel yöntemine göre tamamlanıp elde edilen sonuçların iki yönlü varyans analizi ile Taguchi yönteminde kullanılacak en uygun sütunların seçilmesi sağlanmıştır. Her iki yöntem sonrasında geliştirilen matematik modeller ile yüzey pürüzlülüğü değerleri tahmin ettirilip sonuçlar istatistiksel parametrelere göre karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Aşındırıcılı su jeti, Taguchi deney tasarımı, Yüzey yanıt modeli, Al 7075.

1.Giriş

Geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden biri olan aşındırıcılı su jeti (ASJ) ile kesme yönteminin kullanımı günümüzde hızla artmaktadır. Bu artışın başlıca sebepleri olarak kesme bölgesinde sıcaklığa bağlı herhangi bir deformasyon oluşturmaması ve yöntemin yeryüzündeki hemen her türlü malzemeye uygulanabilir olması gösterilebilir. Bu durum birçok endüstri alanında yoğun ilgi görmüş ve özellikle yüksek hassasiyet istenen parçaların kesiminde bu yönetime başvurulmuştur.

ASJ ile kesme işleminde yüksek basınca ulaştırılmış su-aşındırıcı kum karışımı dar bir boğazdan (nozül) geçirilerek bir su jeti oluşturur. Oluşturulan bu su jeti numune boyunca ilerleyerek temas halindeki yüzeylerden parçacıklar koparır. Bu sayede kesme işlemi gerçekleştirilmiş olur [1].

ASJ ile kesme işleminde kesme parametreleri iki gruba ayrılırlar. Bunlardan ilki, orifis çapı, odaklama çapı, nozül çapı ve nozül uzunluğu gibi tezgaha ait olan parametrelerdir ve değişimleri genellikle tezgahın periyodik bakımları sırasında, aşınma durumları dikkate alınarak yapılır. Öte yandan su basıncı, ilerleme hızı, meme-uç mesafesi ve aşındırıcı kum ile ilgili parametreler ise işlem parametreleridir ve her bir kesim öncesinde veya kesme işlemi sırasında değiştirilebilirler. Literatürde her iki kesme parametresinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini inceleyen birçok çalışma mevcuttur. Wang ile Wong [2] işlem parametrelerinden su basıncı, ilerleme hızı, meme-uç mesafesi ve aşındırıcı debisinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemiştir. Çalışmada her bir parametre için 3'er seviye

alınarak tam faktöriyel deney tasarımına göre toplam 81(34) adet kesme işlemi yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ve meme-uç mesafesi artışıyla birlikte arttığı ve aşındırıcı debisi artışıyla da azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte su basıncındaki artışın yüzey pürüzlülüğü değerinde belli bir yere kadar düşürücü etki yaratırken bu değerden sonraki artışlarda ise artırıcı bir etki yarattığı gözlenmiştir. Külekçi ve Akkurt [3] bu parametrelere ilaveten orifis çapı, odaklama lülesi (nozül) boyutu ve aşındırıcı tane boyutunun da yüzey pürüzlülüğünü etkilediği sonucuna varmıştır. Başka bir çalışmada Akkurt arkadaşlarıyla birlikte [4] saf alüminyum, Al-61, bakır-353, AISI 1030 ve AISI 304 paslanmaz çelik malzemeleri için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir ve kalınlık boyunca yüzey pürüzlülüğünün bozulduğu sonucuna varmıştır. Çaydaş ve Hasçalık [5] AA 7075 malzemesi için işlem parametrelerinin (su basıncı, ilerleme hızı, meme-uç mesafesi, aşındırıcı debisi ve aşındırıcı tane boyutu) yüzey pürüzlülüğüne etkilerini Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanarak incelemiştir. Deney tasarımının oluşturulmasında 5 parametre ve 3 seviye için L27 serisi kullanılmıştır. Parametreler bu seride bulunan 13 sütundan ilk 5 tanesine geliş güzel olarak yerleştirilmiş ve deneyler bu sıraya göre tamamlanmıştır. Diğer bir çalışmada Jegaraj ve Babu [6] aşındırıcı debisi, orifis boyutu, odaklama lülesi boyutu, su basıncı ve ilerleme hızının kesme performansına (kesme derinliği, kerf yapısı ve yüzey pürüzlülüğü) etkilerini Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanarak incelemiştir. Parametreler için L27 serisi kullanılmıştır. Aşındırıcı debisinin orifis çapı ve odaklama lülesi boyutu ile orifis çapının da odaklama lülesi boyutu ile etkileşimli olduğu varsayılarak L27 serisinin 1, 2, 5, 9 ve 13. sütunları sırasıyla aşındırıcı debisi, orifis çapı, odaklama lülesi boyutu, su basıncı ve ilerleme hızı için seçilmiştir.

Çalışmalar incelendiğinde işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılmasında çeşitli deney tasarımı yöntemlerine başvurulduğu gözlenmiştir. Bu deney tasarımı yöntemlerinden en sık kullanılanları olası tüm eşleştirmeleri içeren tam faktöriyel yöntem ile Taguchi ortagonal dizin yöntemi olmuştur. Taguchi yöntemini kullanan araştırmacılar, çalışmalarında bu yöntemin tam faktöriyel yöntemle göre vakit kazandıran ve deney maliyetlerini düşüren bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Ancak benzeri hiçbir çalışmada bu iki yöntem aynı anda kullanılıp Taguchi yönteminin tam faktöriyel yöntemle tercih edilmesinde ortaya çıkacak hata payı araştırılmamıştır. Bununla birlikte Taguchi deney tasarımında kolon seçimi daha önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar referans alınarak yapıldığından doğru kolonların seçilip seçilmediği konusunun netlik kazanmadığı düşünülmektedir. Bu sebeple çalışmada, tam faktöriyel yöntemle göre yapılan deney tasarımından hareketle hazırlanacak en uygun Taguchi deney tasarımı yönteminin tam faktöriyel yöntemle göre hata payının ne olacağı araştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışma

2.1. Malzeme ve Ekipmanlar

Tüm deneyler ve ölçümler Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kesme işlemi için iki yönlü yüksek basınç pompasına (intensifier) sahip maksimum basıncı 4100 bar olan NSJ-2040 (Nevtaş Makine) aşındırıcılı su jeti tezgahı kullanılmıştır. Deney numunesi olarak Altek Metal'den temin edilen otomobil ve havacılık sektörlerinde yüksek mekanik özelliklerinden ötürü sıkça tercih edilen Al 7075 malzemesi kullanılmıştır [7]. Malzeme ile ilgili kimyasal bileşenler ve mekanik özellikler sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 1 Al 7075 T651 malzemesinin kimyasal bileşenleri. [8]

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
89.57	0.07	0.16	1.60	0.06	2.50	0.20	5.80	0.04

Tablo 2 Al 7075 T651 malzemesinin mekanik özellikleri. [8]

Material	Temper	UTS (Mpa)	Elongation %	0.2% Proof Stress
Al 7075	T651	593	13	521

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri "Mahr" iğneli yüzey pürüzlülüğü ölçme aleti kullanılarak yapılmıştır (MahrSurf XR 20 with GD 25). Yüzey pürüzlülüğü parametresi olarak endüstride yaygın olarak kullanılan profil sapmalarının aritmetik ortalaması (Ra) alınmıştır. Ölçümler için numune uzunluğu (cut off distance) ISO standartları göz önüne alınarak 2,5 mm olarak belirlenmiş ve tüm ölçümler bu standartlara uygun bir şekilde tamamlanmıştır [9].

2.2. Parametrelerin Belirlenmesi

Çalışma öncesinde yapılan araştırmalar neredeyse tüm kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki ettiğini göstermektedir. Bu parametrelerden hangilerinin inceleneceği konusunda öncelikle kesme işlemlerinde sıkça değişimleri söz konusu olan işlem parametrelerinin alınması uygun bulunmuştur. İşlem parametreleri içerisinde de su basıncı, ilerleme hızı, meme-uç mesafesi ve malzeme kalınlığı ASJ tezgahının özellikleri ile parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etki dereceleri dikkate alınarak seçilmiştir.

Seçilen parametrelerin etkilerinin yeterli olarak incelenebilmesi maksadıyla her bir parametre için 3 ayrı seviye değeri alınmıştır. Seviyeler belirlenirken çeşitli kesme koşulları denenmiş ve seviyeleri seçilecek parametreler belli bir mantık sıralamasına sokulmuştur. Sıralamanın ilk basamağını su basıncı oluşturmuştur. Basınç üst seviyesi, tezgahın en üst basınç değeri 4100 bar olmasına rağmen sürekli olarak bu basınç değerinin kullanılmasının tezgahta çeşitli arızalar yaratabileceği düşüncesiyle 3400 bar olarak belirlenmiştir. Alt limit değerinde ise ilerleme hızı aralığını yeterli miktarda açabilmek için 2000 bara kadar düşülebilmıştır. Sonuç olarak basınç değerleri 2000, 2700 ve 3400 bar olarak alınmıştır. İkinci olarak meme-uç mesafesi belirlenmiştir. Yapılan denemelerde 3 mm nin altındaki değerlerde nozulun ısındığı ve dolayısıyla aşınma olasılığının arttığı gözlenmiştir. Bu sebeple alt limit olarak 3 mm kabul edilmiştir. Öte yandan 7 mm nin üzerinde 2000 barlık basıncın malzemenin kesilmesinde zorlandığı görülmüştür ve dolayısıyla aralıklar 3, 5 ve 7 mm olarak tanımlanmıştır. Parametre seçiminin en son durağını ilerleme hızı oluşturmuştur. Çünkü alınabilecek maksimum ilerleme hızı için deney düzeneğinin en kötü koşullarının dikkate alınması gerektiği gözlenmiştir. En kötü kesme koşulu malzemenin en kalın (10 mm), basıncın en düşük (2000 bar) ve parça nozul arası mesafenin en fazla (7 mm) olduğu durumdur. Bu koşullar dahilinde kesim yapılabilmesi için ilerleme hızının alabileceği maksimum hız değeri 150-160 mm/dak olarak ölçülmüştür. Daha yüksek hız değerlerinde parçaların birbirinden tam olarak ayrılmadığı görülmüştür. Bu sebeple herhangi bir ayrılmamaya taviz vermemek amacıyla hız için en üst değer 140 mm/dak olarak belirlenmiştir. Diğer değerler ise 30 mm/dak ve 85 mm/dak olarak seçilmiştir. Deney düzeneği için seçilen parametreler ve karşılık gelen seviyeler Tablo 3 te verilmiştir. Diğer kesme parametreleri ise sabit olarak alınmış ve tezgaha ait parametreler aşınmadan kaynaklanan etkilerin en aza indirilmesi amacıyla kısa süreli aralıklarla yenileri ile değiştirilmiştir. Tablo 4 te sabit tutulan bu parametreler ile ilgili bilgiler verilmektedir.

Tablo 3 Parametreler ve seviyeleri

Sembol	Parametreler	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
P	Su basıncı (bar)	2000	2700	3400
h	Meme-uç mesafesi (mm)	3	5	7
V	İlerleme hızı (mm/dak)	30	85	140
t	Malzeme kalınlığı (mm)	6	8	10

Tablo 4 Sabit tutulan parametreler ile ilgili bilgiler

Orifis Çapı	0.33 mm
Nozul ölçüleri	9.45x1.02x76 mm
Aşındırıcı tane boyutu	80 mesh (150-200 µm)
Aşındırıcı debisi	0.3 kg/dk

3. Deneysel Tasarım

3.1. Tam Faktöriyel Deneysel Tasarımın Uygulanması

Tam faktöriyel deneysel tasarım yöntemi tüm parametrelerin ve bu parametrelere bağlı olan tüm seviyelerin birbirleriyle eşleşmesi durumudur. Deneysel sayısı sistemin toplam serbestlik derecesine eşittir. Bu çalışmada her biri 3 seviyeli toplam 4 parametre için toplam serbestlik derecesi Eşitlik (1) kullanılarak 81 olarak hesaplanmaktadır (bu değer aynı zamanda basit kombinasyon hesabıyla da bulunabilir ($3^4=81$)). Tablo 5'te bu yöntemle oluşturulan deneysel tasarım verilmiştir.

$$SD = [(toplam parametre sayısı) \cdot (her bir parametre seviyesi - 1)] + [(Etkileşimli parametre sayısı) \cdot (Etkileşen parametrelerin seviyelerinin 1 eksiğinin çarpımları)] + 1 \quad (1)$$

Tablo 5 Tam faktöriyel yöntemle oluşturulan deneysel tasarım

Deneysel	t	P	h	V	Deneysel	t	P	h	V	Deneysel	t	P	h	V
1	6	2000	3	30	28	8	2000	3	30	55	10	2000	3	30
2	6	2000	3	85	29	8	2000	3	85	56	10	2000	3	85
3	6	2000	3	140	30	8	2000	3	140	57	10	2000	3	140
4	6	2000	5	30	31	8	2000	5	30	58	10	2000	5	30
5	6	2000	5	85	32	8	2000	5	85	59	10	2000	5	85
6	6	2000	5	140	33	8	2000	5	140	60	10	2000	5	140
7	6	2000	7	30	34	8	2000	7	30	61	10	2000	7	30
8	6	2000	7	85	35	8	2000	7	85	62	10	2000	7	85
9	6	2000	7	140	36	8	2000	7	140	63	10	2000	7	140
10	6	2700	3	30	37	8	2700	3	30	64	10	2700	3	30
11	6	2700	3	85	38	8	2700	3	85	65	10	2700	3	85
12	6	2700	3	140	39	8	2700	3	140	66	10	2700	3	140
13	6	2700	5	30	40	8	2700	5	30	67	10	2700	5	30
14	6	2700	5	85	41	8	2700	5	85	68	10	2700	5	85
15	6	2700	5	140	42	8	2700	5	140	69	10	2700	5	140
16	6	2700	7	30	43	8	2700	7	30	70	10	2700	7	30
17	6	2700	7	85	44	8	2700	7	85	71	10	2700	7	85
18	6	2700	7	140	45	8	2700	7	140	72	10	2700	7	140
19	6	3400	3	30	46	8	3400	3	30	73	10	3400	3	30

20	6	3400	3	85	47	8	3400	3	85	74	10	3400	3	85
21	6	3400	3	140	48	8	3400	3	140	75	10	3400	3	140
22	6	3400	5	30	49	8	3400	5	30	76	10	3400	5	30
23	6	3400	5	85	50	8	3400	5	85	77	10	3400	5	85
24	6	3400	5	140	51	8	3400	5	140	78	10	3400	5	140
25	6	3400	7	30	52	8	3400	7	30	79	10	3400	7	30
26	6	3400	7	85	53	8	3400	7	85	80	10	3400	7	85
27	6	3400	7	140	54	8	3400	7	140	81	10	3400	7	140

3.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Varyans analizi, değişkenlerin başka değişkenler üzerindeki etkisini incelemek üzere yapılan istatistiksel bir analiz yöntemidir. Bu çalışmada varyans analizi Taguchi deney tasarımında uygun ortogonal dizin seçimi için kullanılmıştır. Bu amaçla tam faktöriyel deney tasarımından elde edilen sonuçlar Minitab programında bulunan ANOVA menüsünde %90 güven düzeyinde ($\alpha=0.10$) analiz ettirilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6 Varyans analizi sonuç tablosu

Kaynak	SD	KT	Düz. KT	Düz. KO	F	P
t	2	0,2347	0,2347	0,1174	1,61	0,210
P	2	5,5180	5,5180	2,7590	37,96	0,000
h	2	13,7370	13,7370	6,8685	94,51	0,000
V	2	16,5475	16,5475	8,2738	113,84	0,000
t*P	4	1,2155	1,2155	0,3039	4,18	0,006
t*h	4	0,6563	0,6563	0,1641	2,26	0,077
t*V	4	0,2123	0,2123	0,0531	0,73	0,576
P*h	4	0,2041	0,2041	0,0510	0,70	0,594
P*V	4	0,3344	0,3344	0,0836	1,15	0,344
h*V	4	0,1298	0,1298	0,0324	0,45	0,774
Error	48	3,4885	3,4885	0,0727		
Total	80	42,2781				

Tablo 6 da anlamlılık değerlerine (P) bakıldığında kalınlık haricindeki her bir parametrenin yüzey pürüzlülüğünde etkili olduğu görülmektedir ($P<0,10$). Ancak kalınlık da basınç ve nozul-parça arası mesafe ile etkileşim göstermektedir. Bu sebeple sistem için etkili serbestlik derecesi Eşitlik (1) kullanarak 17 olarak bulunur. Tablo 7'de bu değer hesaplanışı verilmiştir.

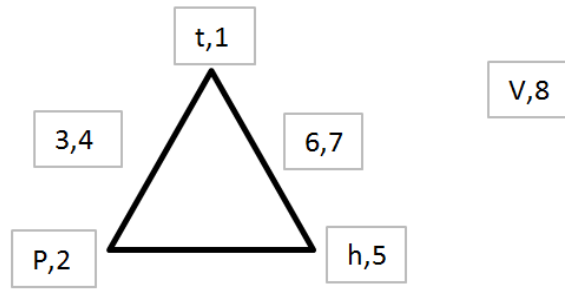
Tablo 7 Etkili serbestlik derecesi

t	(3-1)	2
P	(3-1)	2
h	(3-1)	2
V	(3-1)	2
t*P	(3-1)(3-1)	4
t*h	(3-1)(3-1)	4
Toplam SD		16+1=17

3.3. Taguchi Deney Tasarımı Yönteminin Uygulanması

Taguchi deney tasarımında L4, L8, L9, L16 vs. gibi birçok seri bulunmaktadır. Bu serilerden hangisinin seçileceğini deney tasarımında bulunan parametrelerin seviyeleri ile sistemin etkili serbestlik derecesi belirler. Bu çalışmada her bir parametre için 3'er seviye alınarak etkili serbestlik derecesi iki yönlü varyans analizi sonucunda 17 olarak bulunmuştur. Bu sebeple 3 seviyeli serilerden L9 dan bir büyük olan L27 (3^{13}) serisi seçilmiştir ($9 < 17 < 27$).

L27 serisi için Tablo 8 de verildiği üzere toplamda 13 tane sütun bulunmaktadır. Her bir sütun parametreleri ve/veya etkileşimleri ifade eder. Parametrelerin sütunlara yerleştirilmesi soldan başlanarak yapılır ve kullanılmayan sütunlar deney tasarımından çıkarılır. Sütunların seçiminde çeşitli ortogonal dizin yöntemleri kullanılmaktadır. Şekil 1 de deney tasarımında kullanılan parametrelerin ortogonal üçgen yöntemine göre yerleştirilmesi verilmiştir.



Şekil 1 Parametrelerin Taguchi deney tasarımına göre yerleştirilmesi

Parametreler üçgene yerleştirilirken, malzeme kalınlığı (t) en üste alınıp su basıncıyla (P) meme-uç mesafesi (h) yan taraflara konulmuştur. Bunun sebebi malzeme kalınlığının bu iki parametre ile de etkileşimi olmasıdır. Öte yandan ilerleme hızı (V), herhangi bir parametre ile etkileşimde olmadığından üçgen dışına yerleştirilmiştir. Şekilde parametrelerin yanında yazılan numaralar L27 serisi için alınan sütun numaralarını göstermektedir. İlk olarak t için 1, P için de 2 numaralı sütun seçilmiştir. Daha sonra 3 ile 4 numaralı sütun bu iki parametre arasındaki etkileşime ayrılarak h için 5 numaralı sütun seçilmiştir. Ardından 6. ve 7. sütunlar benzer şekilde t ile h arasındaki etkileşime ayrılmıştır. Sıradaki 8. sütun ise P ile h arasında etkileşim olmadığından V için seçilmiştir. Son durum için Taguchi deney tasarım yönteminin önerdiği deneyler Tablo 9 da verilmiştir.

Tablo 8 L27 Taguchi deney tasarımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
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	1	2	3	3	1	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

Tablo 9 Oluşturulan Taguchi deney tasarımı

Deney	t	P	h	V	Deney No	t	P	h	V	Deney	t	P	h	V
1	1	1	1	1	10	2	1	1	1	19	3	1	1	1
2	1	1	2	2	11	2	1	2	2	20	3	1	2	2
3	1	1	3	3	12	2	1	3	3	21	3	1	3	3
4	1	2	1	2	13	2	2	1	2	22	3	2	1	2
5	1	2	2	3	14	2	2	2	3	23	3	2	2	3
6	1	2	3	1	15	2	2	3	1	24	3	2	3	1
7	1	3	1	3	16	2	3	1	3	25	3	3	1	3
8	1	3	2	1	17	2	3	2	1	26	3	3	2	1
9	1	3	3	2	18	2	3	3	2	27	3	3	3	2

4. Modelleme

Bu bölümde tam faktöriyel ve Taguchi deney tasarımlarından elde edilen veriler ile yüzey yanıt metodu kullanılarak ikinci dereceden tahmin modeller oluşturulmuştur. Aşağıda her iki yöntem sonucunda elde edilen denklemler verilmiştir. Eşitlik (2), tam faktöriyel yöntem sonrasında, Eşitlik (3) ise Taguchi yöntem sonrasında oluşturulan denklemdir.

$$Ra (1) = 1,20490 + 0,123431t + 0,000517710P + 0,396353h + 0,0180699V - 0,0166065t^2 - 0,000000267207P^2 - 0,00828426h^2 - 0,0000375127V^2 + 0,0000750873tP - 0,0148583th + 0,000478131tV + 0,0000160913Ph - 0,00000234892PV + 0,000163687hV$$

(2)

$$Ra (2) = - 0,205454 - 0,0713818t + 0,000992448P + 1,01732h + 0,0191585V - 0,0122222t^2 - 0,000000408991P^2 - 0,0770181h^2 - 0,0000462883V^2 + 0,000105286tP + 0,00220208th$$

(3)

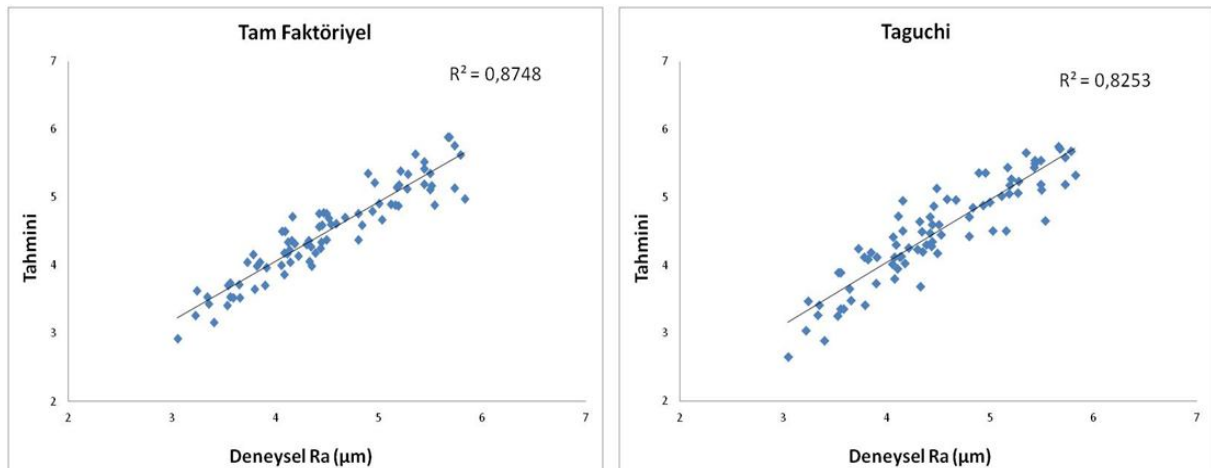
Denklemler oluşturulurken parametrelerin lineer, kareli ve ikili etkileşimleri (kuadratik terimler) dikkate alınmıştır. Tam faktöriyel yöntemin verileriyle oluşturulan modelde tüm ikili etkileşimler dikkate alınırken, Taguchi yönteminin verileriyle oluşturulan modelde yalnızca tP ve th ikili etkileşimleri dikkate

alınmıştır. Bunun nedeni Taguchi deney tasarımının hazırlanmasında diğer ikili etkileşimlerin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin ihmal edilmiş olmasıdır.

5. Sonuç ve Tartışma

Çalışmada aşındırıcılı su jeti ile kesme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemek amacıyla oluşturulacak tahmin modellerde deney tasarımı olarak tam faktöriyel metot ile Taguchi yöntemlerinin kullanılmasının sonuca etkileri araştırılmıştır. İlk bölümde deney tasarımları için kullanılacak parametreler ve bu parametrelerin seviyeleri belirlenmiştir. Daha sonra bu parametrelere bağlı olarak deneyler öncelikle tam faktöriyel yöntemle göre gerçekleştirilip elde edilen sonuçların iki yönlü varyans analizi ile parametrelerin birbirlerine olan etkileri incelenmiştir. Bu etkilerden hareketle en uygun Taguchi deney tasarımı oluşturulmuştur. Son olarak elde edilen verilerden yüzey yanıt yöntemi kullanılarak iki ayrı model oluşturulmuştur.

Modelleme sonrasında oluşturulan formüller tüm eşleştirmeler için (tam faktöriyel hali) tahmin ettirilmiştir. Tahmin edilen değerler deney sonuçları ile karşılaştırılarak doğrusal eğilim çizgisi grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 2 de tam faktöriyel yöntem ve Taguchi yöntem için oluşturulan bu grafikler ve karşılık gelen tutarlılık katsayısı (R^2) değerleri verilmiştir. Tam faktöriyel yöntem ile oluşturulan model için bu değer 0,8745 iken Taguchi yöntem ile oluşturulan modelde 0,8253 olarak bulunmuştur.



Şekil 2 Tahmin modellerden elde edilen sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması

Tablo 10 da her iki modelin deney sonuçlarına göre istatistiksel olarak karşılaştırılması verilmiştir. İstatistiksel parametreler olarak korelasyon katsayısı (R^2), hata kareleri toplamı (HKT) ve hata kareleri ortalaması (HKO) alınmıştır. Bu tablodan Taguchi deney tasarımı yönteminin en doğru dizilimi kullanılarak oluşturulan modelde dahi hata payının (HKT ve HKO) tam faktöriyel yöntem kullanılarak elde edilecek modelden elde edilen hata payına göre yaklaşık %50 oranında daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak genel durum dikkate alındığında ortalama hatanın %9,69<%10 ile kabul edilebilir bir seviyede olduğu söylenebilir. Sonuç olarak aynı parametrelerin alınacağı başka bir malzeme için yapılacak deney tasarımında tam faktöriyel yöntem kadar iyi sonuç vermemesine rağmen deney sayısını 1/3 oranda düşürdüğü, buna bağlı olarak zaman ve deney maliyeti açısından kazanç sağladığı düşüncesiyle, Taguchi yönteminin kullanılmasının faydalı olacağı söylenebilir.

Tablo 10 Tam faktöriyel ve Taguchi yöntemlerinden oluşturulan tahmin modellerinin istatistiksel olarak incelenmesi

Parametreler	Tam faktöriyel	Taguchi
R ²	%87,45	%82,53
HKT	5,29	7,85
HKO	%6,53	%9,69

Kaynaklar

Yasser, M. A. and Wang, J., Machining with Abrasives/Impact Abrasive Machining, (9), 385-419.

Wang, J. and Wong, W.C.K., A Study of Abrasive Waterjet Cutting of Metallic Coated Sheet Steels, Int. J. Mach. Tools Manuf., (39), 1998, 855-870.

Külekcı, M.K. and Akkurt, A., Evolution of Quality of the Surfaces Produced by Abrasive Waterjet Cutting, Niğde Ü. Müh. Bil. Der., (5), 2001, 13-24.

Akkurt, A., Kulekcı M.K., Seker, U., Ercan, F., Effect of Feed Rate on Surface Roughness in Abrasive Waterjet Cutting Applications, J. Mater. Process Tech., (147), 2004, 389-396.

Çaydaş, U. and Haşçalık, A., A Study on Surface Roughness in Abrasive Waterjet Machining Process Using Artificial Neural Networks and Regression Analysis Method, J. Mater. Process Tech., (202), 2007, 574–582.

Jegaraj, J.J.R and Babu, N.R., A soft computing approach for controlling the quality of cut with abrasive waterjet cutting system experiencing orifice and focusing tube wear, J. Mater. Process Tech., (185), 2007, 217–227.

Panigrahi, S.K.P. and Jayaganthan, R., Effect of Ageing on Microstructure and Mechanical Properties of Bulk, Cryorolled, and Room Temperature Rolled Al 7075 Alloy, J. Alloys and Compounds, (509), 2011, 9609-9616.

Certified Inspection Report, certified number 478397, Alcoa (Birmingham, U.K.)

ISO Standarts, ISO 4287-4288.