

HONLAMA PROSESİNDE YÜZEY KALİTESİNİN TAGUCHI METODU İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Mustafa YURDAKUL¹, Serkan GÜNEŞ¹, Yusuf Tansel İÇ²

¹Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 06570, Maltepe, Ankara.

²Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bağlıca, 06810 Etimesgut, Ankara
yurdakul@gazi.edu.tr, serkan.gunes@gazi.edu.tr, ytansel@baskent.edu.tr

(Geliş/Received: 02.06.2015; Kabul/Accepted: 10.12.2015)

ÖZET

Hidrolik sistemlerin oluşturulmasında kullanılan en kritik parçalardan biri farklı et kalınlıklarındaki çelik borulardır. Üretim sonrasında boru iç yüzeyindeki yüzey hataları ve süreksizlikler, boruların içinde çalışan piston ve sızdırmazlık elemanları gibi önemli parçalara zarar verebilmektedir. Bunun önüne geçmek için, boruların ikincil işleme operasyonlarında iç yüzeylerinin tormalanmasının ardından honlama operasyonu gerçekleştirilir. Honlama ile yüzey pürüzlülük değeri oldukça iyi seviyelere getirilebilir. Honlamada yüzey pürüzlülük değerine etki eden kontrol edilebilir faktörlerin en önemlileri; takım ilerleme hızı, takım dönüş hızı ve honlama taşı tane büyüklüğüdür. Bu faktörlerin optimize edilmesi, honlama işlemi verimini arttıracak ve yüzey pürüzlülük değerinin eniyelenmesini sağlayacaktır. Bu çalışmada Taguchi metodu kullanılarak, honlama prosesi yüzey pürüzlülük karakteristiğini etkileyen faktörlerin en iyi seviyeleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Honlama, talaşlı imalat, yüzey pürüzlülüğü, Taguchi metodu

IMPROVEMENT OF THE SURFACE QUALITY IN THE HONING PROCESS USING TAGUCHI METHOD

ABSTRACT

Steel cylinders are critical components of hydraulic systems and they are available in various diameters and thicknesses. Defects and discontinuities that remain on the inner body surfaces of the cylinders after turning operation can harm components that move inside the cylinders such as pistons and piston seals. Honing operation is commonly performed after turning operation as a finishing operation to improve inner surface quality of cylinders. Honing operation reduces surface roughness values to acceptable levels. The most critical parameters that are important in the honing operation are honing tool head forward speed, rotational speed of the tool and honing stone grain size. Optimizing these parameters will increase honing operation productivity and provide the best surface roughness values. This study aims to obtain the values of the most critical parameters that provide the best surface quality in the honing operation using Taguchi method.

Keywords: Honing process, machining, surface roughness, Taguchi method

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Honlama, metal iş parçasında hassas bir yüzey elde etmek amacı ile uygulanan aşındırıcı bir talaşlı imalat yöntemidir. Honlama prosesi çoğunlukla hidrolik boruların ve içten yanmalı motor silindirlerinin iç yüzey iyileştirmesinde gerçekleştirilen son operasyon olarak uygulanmaktadır. Honlama işlemi, kendi eksenine etrafında dönen honlama kafası üzerine monte

edilmiş bir ya da birden fazla honlama taşının kontrollü ve ayarlanabilir bir baskı kuvveti ile silindir/boru iç yüzeyine kuvvet uygulaması ile gerçekleştirilmektedir. Çalışma içeriğinde incelemesi yapılacak olan honlanmış borular hidrolik silindirlerin temel parçalarından olan “kovan” adı verilen elemanlardır ve beton pompalarında sevk silindiri olarak kullanılmakla beraber farklı pek çok sanayi uygulamasında da kullanılmaktadır. Boru iç yüzeyi

pürüzlülük değeri belirlenen tolerans limitleri dışına çıktığı takdirde; piston üzerinde yer alan sızdırmazlık elemanları olan keçe takımları ile pistonun boru içindeki hareketini kolaylaştıran kaydırıcılar, boru iç yüzeyindeki yüzey kalitesizliği sebebiyle zarar görecektir ve görevlerini yerine getiremeyecektir. Piston üzerinde yer alan bu elemanların zarar görmesi sonucunda piston doğrudan boru iç yüzeyi ile temas edecektir. Bu durum ise piston ve boru malzemelerinin aşınmasına, boru iç yüzeyinde derin çiziklere ve piston ile borunun birbirine sıvanmasına neden olabilecektir. Tüm bu etkenler ise, hidrolik silindirin eksenelliğini olumsuz etkileyecek ve eksen kaçıklığına neden olacaktır. Eksen kaçıklığı ise istenmeyen yüklerin silindir elemanlarına taşınması anlamına geleceğinden dolayı, bu durum; i) hidrolik silindirde bulunan diğer elemanlarının kullanım ömürlerinin azalmasına, ii) hidrolik silindir eğer bir şaseye bağlantılı olarak çalışacaksa makinanın şasesinde istenmeyen zorlanmalara ve şekilsel bozulmaların gerçekleşmesine, iii) sistemin çabuk ısınmasına, iv) hidrolik pompada ve elektrik motorunda zorlanmalar nedeniyle güç kayıplarına ve verimde düşüşe sebep olacaktır [1].

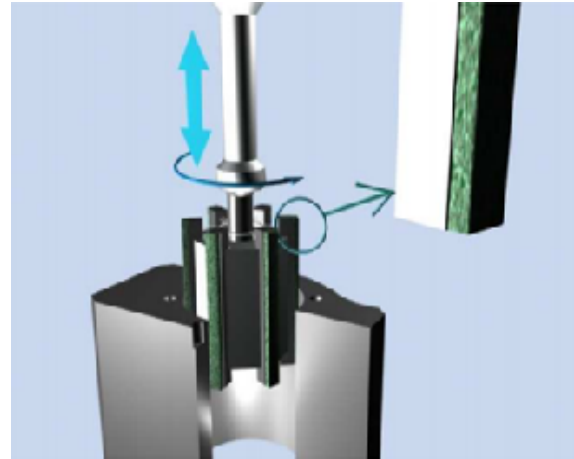
Boruların iç yüzeylerinin pürüzlülüğünü inceleyen ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmaya yönelik yapılan çalışmalar literatürde daha çok motor bloklarının üretimi esnasında silindirlerin iç yüzeylerinin işlenmesi ve yüzey pürüzlülükleri ile ilgilidir [2-5]. Diğer çalışmalar arasında, Buj-Corral vd. [6] honlama işleminde yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmalarında farklı işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini deneysel olarak incelenmişlerdir. Cabanettess vd. [7] ise honlama takımlarının silindir iç yüzeylerinde meydana getirdikleri pürüzlülük değişkenliklerinin haritalandığı bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmada tahribatsız muayene teknikleri kullanılarak motor silindirlerinin iç yüzeylerinin 3 boyutlu topoğrafyası elde edilmiştir. Kersting vd. [8] mikro-bitirme prosesinde farklı proses parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada bir benzetim programından yararlanılmış olup, benzetim programı sonuçlarının doğruluğu gerçek deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Pereria da Silva vd. [9] ise honlama prosesi parametrelerinin optimize edilmesinde cevap yüzeyi metodu ile bir sezgisel optimizasyon yöntemi olan kuş sürüsü algoritmasını kullanmışlardır. Akkurt [10] tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada, farklı özelliklerdeki bitirme işlemlerinden; matkapla delme, delik tornalama, delik taşlama, raybalama, honlama ve ezme işlemleri sonucunda Al-6061 alüminyum alaşımı malzemenin delik iç yüzeyindeki yüzey pürüzlülüğü, mikro yapı ve sertlik değişimlerinin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise sanayide farklı amaçlar için kullanılmakta olan honlanmış boruların, boru iç

yüzeylerindeki yüzey pürüzlülük değerlerine etki eden faktörlerin kullanılabilir işletim değerlerinin arasından yüzey pürüzlülük değerini eniyileyen değerlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Eniyileme yöntemi olarak çalışma kapsamında bir deney tasarımı yöntemi olan Taguchi yöntemi kullanılmıştır.

Makalede öncelikle honlama prosesi, Taguchi yöntemi ve deney tasarımı sırayla açıklanmıştır. Ardından yapılan deneylerin sonuçları analiz edilerek değerlendirilmelerde bulunulmuştur. Makalenin sonuç bölümünde elde edilen bulgular üzerinden daha sonra yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. HONLAMA İŞLEMİ (HONING PROCESS)

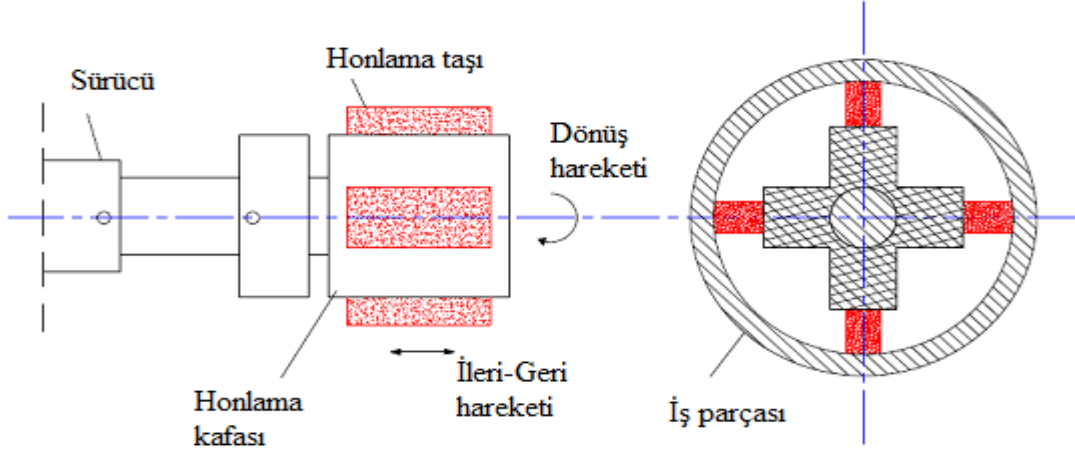
Honlama işleminde honlama taşı üç hareketi aynı anda yapmaktadır (Şekil 1, Şekil 2). Bunlar; hidrolik ya da pnömatik etki ile radyal bir baskı kuvveti uygulayarak içinde çalıştığı deliğin/borunun çapını büyütme hareketi, kendi eksenini etrafında dönme hareketi ve aksel olarak ileri-geri hareketidir. Boru iç yüzeyi honlama operasyonları genel olarak uzun ve kısa kurslu olmak üzere iki ayrı tipe ayrılır. Uzun kurslu honlamada iş akışı, üst üste gelen iki hareket ile tanımlanır ve kurs yönünün değiştirilmesi ile işleme izlerinin kesişmesi ve çapraz taralı bir yüzey elde edilmesi sağlanır. Hassas bitirme olarak ta adlandırılan kısa kurslu honlama kurs boy ve frekans farklılığı ile uzun kurslu honlamadan ayrılmakta ve çok daha iyi yüzey kalitesi vermektedir.



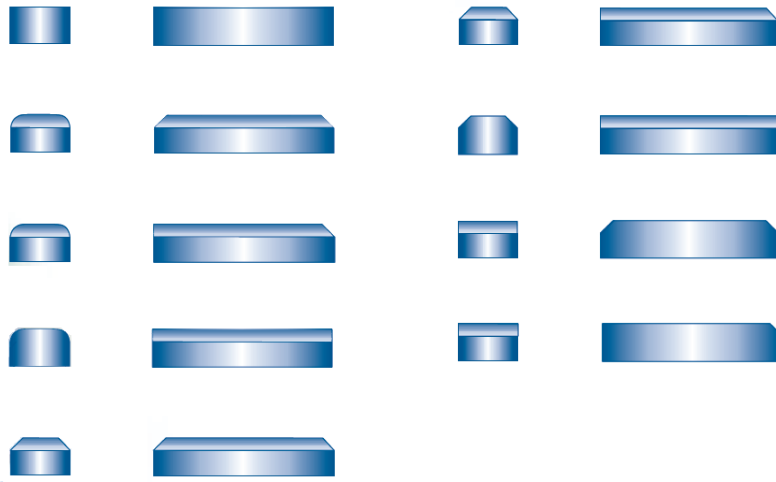
Şekil 1. Honlama prosesinde hareketler (Movements in the honing process)

2.1 Honlama Taşı (Honing Stone)

Honlama işleminde yüksek yüzey kalitesi elde etmek için özel honlama taşları kullanılır (Şekil 3, Şekil 4). Honlama taşları yapıştırıcı bir malzeme ile birbirine bağlanan aşındırıcı parçacıklardan oluşmaktadır. Pratikte en çok kullanılan honlama taşı malzemeleri Silisyum Karbür (SiC) ve Korund (Alüminyum Oksit - Al_2O_3)'dur.



Şekil 2. Honlama işlemi (Honing Process)



Şekil 3. Farklı honlama taşı şekilleri (Different honing stone forms)

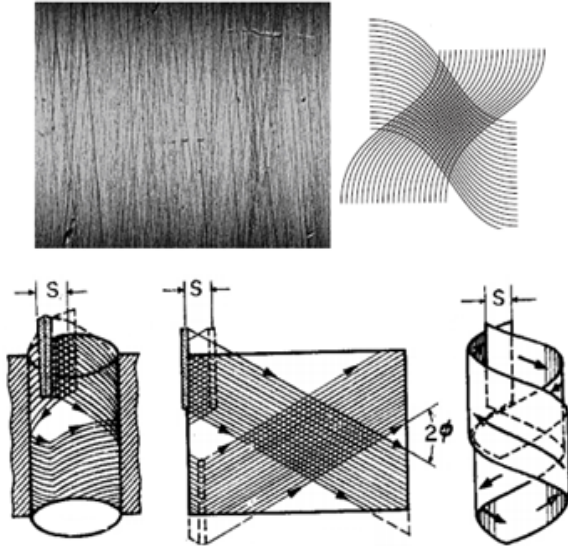


Şekil 4. Honlama kafasına yapıştırılmış honlama taşları (Honing stones glued to the honing head)

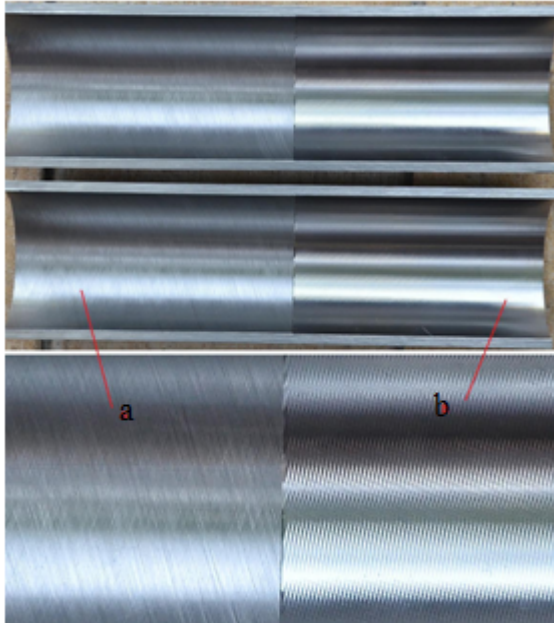
2.2 Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

Fiziksel, kimyasal ve ısı faktörlerinin ve iş parçası ile takım arasındaki temasların etkisiyle, işlenmiş yüzeyde bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalara ve anormalliklere yüzey pürüzlülüğü adı verilir [11]. Honlama prosesi ile işlenen yüzeyde, yüzey

pürüzlülük değeri belirlen tolerans sınırları arasında çekilirken aynı zamanda honlama taşının kendi ekseninde dönüşü ve ileri-geri hareketi ile yüzeyde çapraz taranmış homojen bir yüzey yapısı oluşmasına neden olur (Şekil 5, Şekil 6). Honlama ile elde edilen taranmış yüzey hidrolik borularda boru iç yüzeyinde yağ filminin tutulması ve dağıtılması kabiliyetini arttırması nedeniyle oluşması istenen bir durumdur.



Şekil 5. Honlamada yüzey tarama hareketi (Surface sweep motion in honing process)



Şekil 6. Deney numunesi yüzey profilleri a) Honlama sonrası b) Tornaalama sonrası (The test samples surface profiles after honing process a) After honing process b) After turning process)

3. DENEYLERİN TASARIMI (EXPERIMENTAL DESIGN)

İmalat işlemlerinde, yüzey pürüzlülüğü gibi süreç çıktılarına eniyileme için Kalite Tekniklerini uygulama literatürde önerilmiştir [12]. Bu tekniklerden birisi de Deney Tasarımı tekniğidir [13-15]. Deney Tasarımında; herhangi bir ürün veya süreç tasarımında karşılaşılan problemlerde en iyi sonuçların elde edilebileceği şartları sağlayabilmek için kalite karakteristiği (performans özelliği) belirlenerek bu özelliği etkileyen faktörler incelenmektedir. Bu amaçla kalite karakteristiği üzerinde etkili olan faktörler ve bu faktörlerin farklı seviyeleri kullanılarak oluşturulan deney tasarımlarına

(faktör seviyelerinin farklı kombinasyonlarından oluşan deney senaryoları) göre gerçekleştirilen deneyler sonucunda kalite karakteristiğinin her bir deney senaryosu sonucunda performans değeri ölçülmektedir. Ardından deney tasarımı yönteminin prosedürü işletilerek istatistiksel analizler neticesinde kalite karakteristiğinin en iyi koşulda gerçekleşmesine hizmet eden uygun faktör seviyeleri belirlenebilmektedir. Deney senaryoları farklı zamanlarda tekrar edilerek deneyin gerçekleştirildiği ortam şartlarının ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinin sonuçlar üzerine etkisinin yansıtılması açısından önem arz etmektedir. Taguchi, deney tasarımlarında farklı senaryolara göre gerçekleştirilen deneylerdeki kontrol edilemeyen faktörlerin deney üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla, Sinyal/Gürültü (S/N) oranı olarak adlandırılan bir oran ortaya koymuştur. Sinyal/Gürültü oranı kontrollü bir şekilde araştırılan kalite karakteristiğinin, kontrol altında olmayan ama sonucu etkileyen dışsal faktörlere (gürültü) karşı duyarlılığını en az seviyeye indirmek amacıyla kullanılır. Basit olarak tanımlamak gerekirse S/N, ortalamanın standart sapmaya oranıdır [16]. Genel olarak herhangi bir deneyin amacı sonuç için en yüksek sinyal gürültü oranına ulaşmaktır. Yüksek bir sinyal gürültü oranı sinyalin gürültü faktörlerinin rasgele etkilerine karşı daha yüksek olduğunu gösterir. Taguchi, kalite karakteristiği değerindeki beklentiye göre 3 farklı S/N formülü tanımlamıştır [17]:

i) En küçük en iyi durumu; Bu tür problemlerde, kalite karakteristiği Y'nin hedef değeri sıfırdır ve negatif yönde bir sapma göstermez. Daima alt sınırın sağlanması istenir. Bu durum için sinyal/ gürültü oranı Eşitlik 1 ile tanımlanır;

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

ii) En büyük en iyi durumu; Bu durumda kalite karakteristiği Y'nin hedef değeri sonsuzdur. Yani değişkenin bir üst sınırı yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Bu durum için sinyal / gürültü oranı Eşitlik 2 ile tanımlanır;

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

iii) Nominal en iyi (Hedef değer en iyi) durumu; Bu tür durumlarda Y için belli bir hedef değer verilmiştir ve sapmalar iki yönlü olarak değişebilir. Dolayısıyla iki taraflı toleransa sahiptir. Nominal değer etrafındaki toleranslar saptanırken Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonundan geniş ölçüde yararlanır. Çünkü tolerans tasarımı nihayetinde ekonomik analizler sonucunda kalite kayıplarını ölçmektedir. Bu durum için sinyal/ gürültü oranı Eşitlik 3 ile tanımlanır;

$$\frac{S}{\bar{N}} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Eşitliklerde y_i : Performans yanıtının i . gözlem değeri, n : bir denemede test sayısı, \bar{y} : Gözlem değerlerinin ortalaması ve S^2 : Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

4. DENEYSEL PROSEDÜR (EXPERIMENTAL PROCEDURE)

Bu çalışmada, honlama ile elde edilmek istenilen iç çap boyutuna göre deney numunesi olan boruların iç yüzeyleri tormalanmıştır. Honlama ile kaldırılacak talaş miktarını minimize etmek, dolayısıyla da honlama operasyonu süresini azaltmak amacı ile boru iç çapı tormalama operasyonunda, honlama sonrası elde edilmek istenilen boru iç çap değerinden 0,30 mm-0,40 mm fazla talaş bırakılmıştır. Honlamayı yapacak olan istenen boyutlarda honlama taşları yapıştırılmış ve boru iç çapına uygun honlama kafası Şekil 7'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 7. Honlama kafası (Honing head)

Deneylerde kullanılan honlama taşlarının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Taguchi Metodu ile tasarlanan deneylerin gerçekleştirilmesi için üretim yılı 2014 olan Özhonsan Markalı ÖHM 2500 Model Dikey Honlama Tezgâhı (Şekil 8) kullanılmıştır. Honlama prosesinin gerçekleştirilmesinde honlanacak boru, tezgâh üzerindeki bağlama aparatlarına yerleştirilerek sıkıştırılmakta ve honlama işlemi başlatılmaktadır. Deneylerde rafine edilmiş yüksek kalite mineral yağlar ile özel katkıları kullanılarak hazırlanmış olan YARMIX HD Honlama Yağı kullanılmıştır.

Tormalama ve honlama prosesleri sonucunda elde edilen işlenmiş yüzeylerde yapılan yüzey pürüzlülük değeri ölçümlerinde, Taylor Hobson Surtronic-3 marka yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır.



Şekil 8. ÖHM 2500 Dikey Honlama Tezgâhı (OHM 2500-Vertical honing machine tool)

Tablo 1. Deneylerde kullanılan honlama taşları (Honing stones using in the honing experiments)

ÖZELLİK	Mesh 80
Taş Malzemesi	Silisyum Karbür (SiC)
Kum Büyüklüğü	80: (Mesh) 190: (DIN ISO 6344) 190: (ISO) 190: (JIS)
Sertlik	≤ 200 HRc
Bağlayıcı Türü	Seramik Bağlayıcı
ÖZELLİK	Mesh 100
Taş Malzemesi	Silisyum Karbür (SiC)
Kum Büyüklüğü	100: (Mesh) 140: (DIN ISO 6344) 140: (ISO) 165: (JIS)
Sertlik	≤ 200 HRc
Bağlayıcı Türü	Seramik Bağlayıcı
ÖZELLİK	Mesh 150
Taş Malzemesi	Silisyum Karbür (SiC)
Kum Büyüklüğü	150: (Mesh) 45: (DIN ISO 6344) 57: (ISO) 57: (JIS)
Sertlik	A ≥ HRc ≤ Z
Bağlayıcı Türü	Seramik Bağlayıcı

4.1 Taguchi Metodunun Uygulanması (Application of Taguchi method)

Firmada gerçekleştirilen Beyin Fırtınası, Neden-Sonuç Diyagramı çalışmaları, operatör deneyimleri, Süreç Akış Şemaları ve müşteri geri bildirimleri gibi yöntemler kullanılarak yüzey kalitesi kalite

karakteristiği ile etkileşimi olan kontrol edilebilir faktörler aşağıdaki gibi tespit edilmiştir. Kontrol edilebilir faktörler: 1. İlerleme hızı, 2. Takım dönüş hızı, 3. Honlama taşı tane büyüklüğü, 4. Radyal baskı kuvveti, 5. Talaş miktarı, 6. Kesme sıvısı türü, 7. Boru et kalınlığı, 8. Honlama taşı malzemesi, 9. İşlenecek malzeme çapı, 10. İşlenecek malzeme boyu, 11. Takım geometrisi, olarak belirlenmiştir.

İşletmede gerçekleştirilen Ar-Ge faaliyetlerinin, kalite uygulamalarının, analizlerin, sebep-sonuç diyagramlarının, müşteri geri bildirimlerinin ve operatör deneyimlerinin analiz edilip incelenmesi sonucunda; yüzey pürüzlülüğüne etki eden, “ilerleme hızı, takım dönüş hızı ve honlama taşı tane büyüklüğü” faktörleri, Taguchi Metodu ile deney

tasarımında incelenecek faktörler olarak tespit edilmiştir. Deneylerde farklı seviyelerde olacak ve sabit olacak tüm faktörler ve seviyeleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Bu çalışmada deneylerde farklı seviyelerde üç faktör (Tablo 3) olduğundan dolayı “3 faktörlü 3 seviyeli Taguchi Deney Tasarımı” kullanılmıştır. 3 faktörden oluşan deney tasarımına uygun matris yapısı, Taguchi Ortogonal Dizi Seçim Tablosu’ndan ya da MINITAB paket programına girilen faktör ve seviye değerlerine göre program tarafından otomatik olarak belirlenebilmektedir. Taguchi Ortogonal Dizi Seçim Tablo’suna göre 3 faktör / 3 seviye için en uygun Taguchi Deney Tasarımı, 9 deneyli Taguchi L9 ortogonal dizisidir (Tablo 4).

Tablo 2. Deneylerde kullanılacak faktörler ve seviye değerleri (Factors and their values used in the experiments)

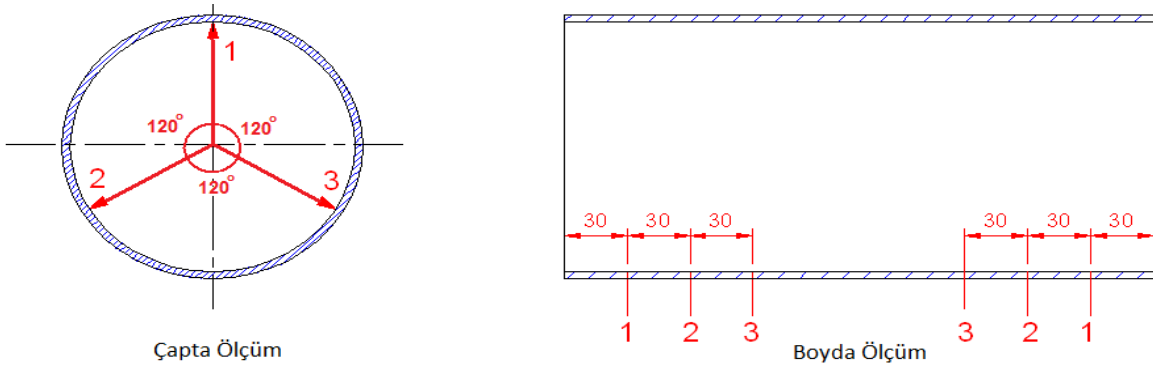
FAKTÖRLER	SEVİYE DEĞERLERİ
İlerleme hızı (kurs/dak)	Alt seviye: 5 / Orta seviye: 10 / Üst seviye: 15
Takım dönüş hızı (dev/dak)	Alt seviye: 70 / Orta seviye: 75 / Üst seviye: 80
Honlama taşı tane büyüklüğü (mikron)	Alt seviye: 80 / Orta seviye: 100 / Üst seviye: 150
Radyal baskı kuvveti (bar)	10
Kaldırılacak talaş miktarı (Honlama prosesinden önce boru iç çapında bırakılan honlama payı)	Boru iç çapı + (0,30~0,40 mm)
Kesme sıvısı türü	YARMIX HD
Boru et kalınlığı (mm)	5
Honlama taşı malzemesi	Silisyum Karbür
İşlenecek malzeme boyu (mm)	250
İşlenecek malzeme çapı (mm)	65 mm (Boru= ø 65x75)
Takım geometrisi	Honlama takımı ekseni ile boru ekseni eş eksenli duruma getirilecek, gerek görülürse malzeme (boru), yatakla desteklenecek. Ancak malzeme boyu kısa seçildiği için yataklamaya gerek yok.

Tablo 3. Taguchi deney tasarımında değerleri değişen üç faktör ve seviyeleri (Three factors whose values change in Taguchi experimental design and their levels)

Faktörler	Birim	Seviye 1 (Alt)	Seviye 2 (Orta)	Seviye 3 (Üst)
İlerleme hızı (A)	kurs/dak	5	10	15
Takım dönüş hızı (B)	dev/dak	70	75	80
Honlama taşı tane büyüklüğü (C)	mikron	80	100	150

Tablo 4. L9 Ortogonal Dizisi (L9 Orthogonal Array)

Deney No	Değişkenler	İlerleme hızı	Takım dönüş hızı	Honlama taşı tane büyüklüğü
1	A1B1C1	1	1	1
2	A1B2C2	1	2	2
3	A1B3C3	1	3	3
4	A2B1C2	2	1	2
5	A2B2C3	2	2	3
6	A2B3C1	2	3	1
7	A3B1C3	3	1	3
8	A3B2C1	3	2	1
9	A3B3C2	3	3	2

**Şekil 9.** Yüzey pürüzlülüğü ölçüm tekniği (Surface roughness measurement technique)**Şekil 10.** Deney numuneleri (Test samples)

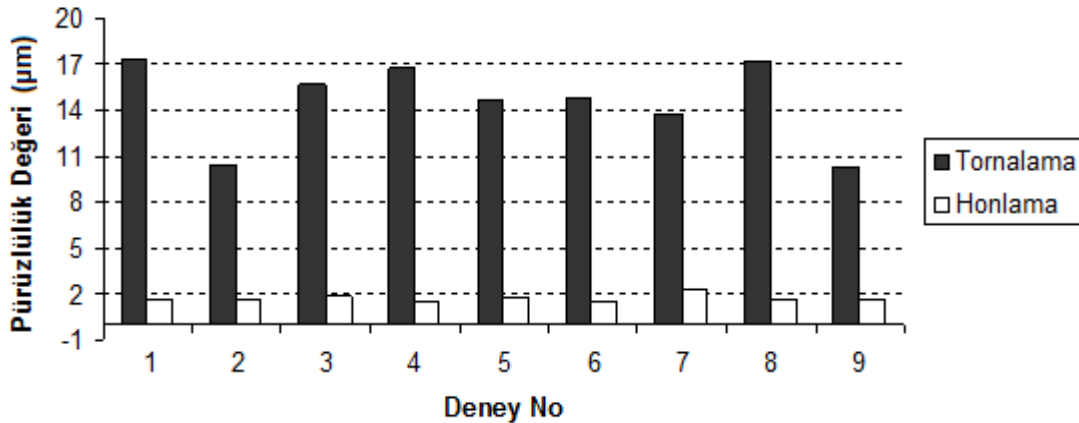
Deneylerin tamamlanması ile numunelerin R_a pürüzlülük değerinin ölçümü yapılmıştır. Pürüzlülük ölçümüne, deney numunesi boruların her iki ucunun başlangıcından 30 mm uzaklıkta başlanmış ve L_c : 0,80 mm örnekleme uzunluğunda, 30 mm aralıklarla 3 adet ölçüm alınmıştır. Her 30 mm'lik ölçüm, boru iç çapında 120 derecelik aralıklarla 3 ölçümden oluşmaktadır (Şekil 9, Şekil 10). 120 derecelik açılarla ölçülen 3 pürüzlülük değerinin aritmetik ortalaması ölçüm yapılan çapta ve örnekleme boyundaki yüzey pürüzlülük değeri olarak alınmıştır. Böylece her borudan toplamda alınan 18 ölçüm, aritmetik ortalama işlemi sonrasında 6 ölçüm sonucuna indirgenmiştir.

5. DENEY SONUÇLARI VE ANALİZİ (EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYSIS)

Birinci deney serisi için tornalama ve honlama sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları Tablo 5'te ve bunların karşılaştırmalı grafiği Şekil 11'de sunulmuştur. Benzer tablolar ve grafikler ikinci ve üçüncü deney serileri için oluşturulmuş ve Tablo 6-Tablo 7 ve Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13'te sunulmuştur. Sonuç tabloları ve grafiklerden açıkça görülebileceği gibi; honlama işlemi tornalama sonrası yüzey pürüzlülük değerlerini çok daha iyi seviyelere getirmektedir.

Tablo 5. Birinci deney serisi için ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri (Surface roughness measurement results for Test Sample-1)

Deney No	Taguchi Deney Tasarımı	1. Deney Serisi			
		Yüzey pürüzlülük değerleri - R_a (μm)			
		Tornalama Sonrası	Ortalama	Honlama Sonrası	Ortalama
1	A1B1C1	18,4 – 18,8 – 18,6 16,2 – 16,2 – 16,4	17,4	1,52 – 1,50 – 1,52 1,68 – 1,74 – 1,72	1,61
2	A1B2C2	11,0 – 11,0 – 11,0 10,0 – 9,8 – 10,2	10,5	1,52 – 1,38 – 1,48 1,78 – 1,86 – 1,56	1,59
3	A1B3C3	14,4 – 14,2 – 14,2 16,6 – 16,8 – 17,2	15,7	1,78 – 1,80 – 1,88 2,16 – 2,02 – 1,78	1,90
4	A2B1C2	16,0 – 15,6 – 16,0 17,6 – 17,8 – 17,2	16,7	1,54 – 1,40 – 1,54 1,48 – 1,46 – 1,46	1,48
5	A2B2C3	15,0 – 15,4 – 15,4 13,4 – 13,6 – 13,4	14,6	1,52 – 1,86 – 1,86 1,56 – 1,74 – 1,56	1,68
6	A2B3C1	14,8 – 16,0 – 15,8 13,8 – 14,2 – 14,2	14,8	1,50 – 1,40 – 1,28 1,86 – 1,58 – 1,42	1,50
7	A3B1C3	13,0 – 12,4 – 13,4 14,6 – 15,0 – 14,2	13,7	2,40 – 2,46 – 2,40 2,04 – 1,86 – 2,50	2,27
8	A3B2C1	18,0 – 16,8 – 17,0 15,8 – 17,8 – 18,0	17,2	1,80 – 1,68 – 1,38 1,76 – 1,44 – 1,24	1,55
9	A3B3C2	10,8 – 10,6 – 11,2 10,0 – 10,0 – 10,0	10,4	2,02 – 1,78 – 1,38 1,62 – 1,78 – 1,38	1,66



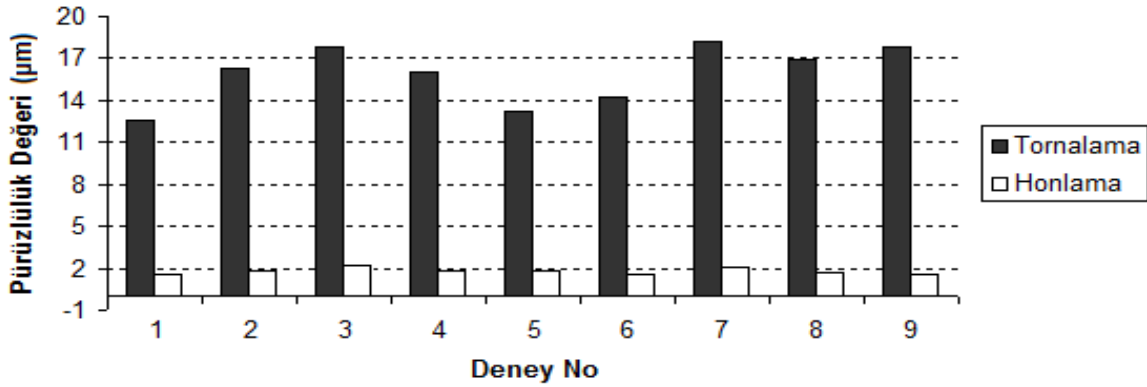
Şekil 11. Birinci deney serisi tornalama ve honlama sonrası yüzey pürüzlülüğü sonuçları karşılaştırma grafiği (Comparison graphics of the surface roughness results after turning and honing for Test Sample-1)

Tablo 6. İkinci deney serisi için ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri (Surface roughness measurement results for Test Sample-2)

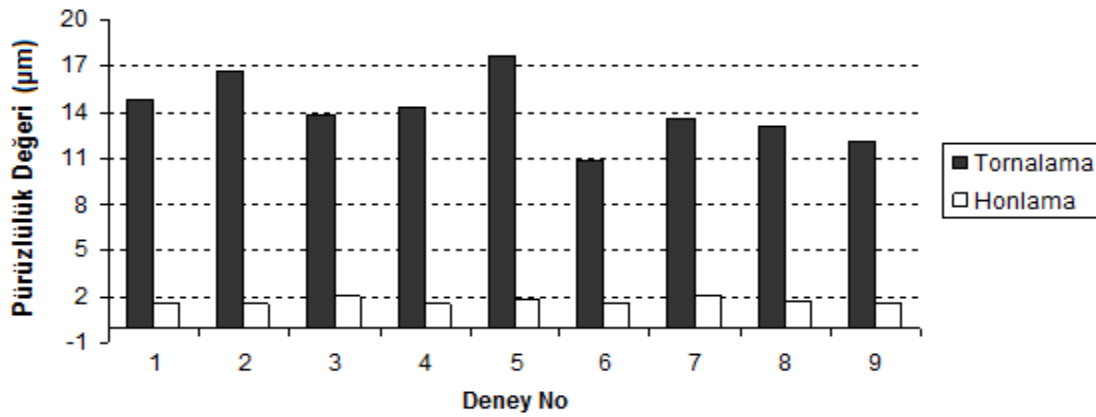
Deney No	Taguchi Deney Tasarımı	2. Deney Serisi			
		Yüzey pürüzlülük değerleri - Ra (μm)			
		Tornalama Sonrası	Ortalama	Honlama Sonrası	Ortalama
1	A1B1C1	13,2 – 13,4 – 13,4 12,0 – 11,6 – 12,0	12,6	1,68 – 1,50 – 1,74 1,58 – 1,64 – 1,62	1,62
2	A1B2C2	17,4 – 17,0 – 16,6 15,4 – 15,4 – 16,4	16,3	1,74 – 1,70 – 1,46 1,92 – 1,92 – 1,94	1,78
3	A1B3C3	16,4 – 18,0 – 17,4 17,8 – 18,0 – 19,6	17,8	2,20 – 2,36 – 2,06 2,00 – 2,24 – 2,04	2,15
4	A2B1C2	17,8 – 17,8 – 18,0 15,8 – 16,0 – 15,6	16,0	1,90 – 1,86 – 1,90 1,74 – 1,92 – 1,82	1,85
5	A2B2C3	13,0 – 12,8 – 12,6 13,8 – 13,4 – 13,6	13,2	1,82 – 1,74 – 1,96 1,84 – 1,78 – 1,78	1,82
6	A2B3C1	13,4 – 13,6 – 13,6 15,0 – 15,0 – 15,2	14,3	1,66 – 1,48 – 1,56 1,60 – 1,68 – 1,58	1,59
7	A3B1C3	18,2 – 16,4 – 17,6 18,8 – 19,8 – 18,8	18,2	1,88 – 2,04 – 2,22 2,10 – 1,86 – 2,10	2,03
8	A3B2C1	18,4 – 17,6 – 16,8 16,2 – 16,2 – 16,6	16,9	1,84 – 1,70 – 1,48 1,76 – 1,60 – 1,48	1,64
9	A3B3C2	17,2 – 17,2 – 17,4 18,4 – 18,2 – 18,8	17,8	1,80 – 1,52 – 1,56 1,34 – 1,54 – 1,44	1,53

Tablo 7. Üçüncü deney serisi için ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri (Surface roughness measurement results for Test Sample-3)

Deney No	Taguchi Deney Tasarımı	3. Deney Serisi			
		Yüzey pürüzlülük değerleri - Ra (μm)			
		Tornalama Sonrası	Ortalama	Honlama Sonrası	Ortalama
1	A1B1C1	13,8 – 14,0 – 13,6 15,4 – 16,4 – 16,0	14,8	1,72 – 1,48 – 1,70 1,72 – 1,50 – 1,66	1,63
2	A1B2C2	17,2 – 18,2 – 18,0 15,8 – 15,4 – 15,6	16,7	1,54 – 1,24 – 1,46 1,76 – 2,08 – 1,64	1,62
3	A1B3C3	14,8 – 14,6 – 14,2 13,0 – 13,2 – 13,0	13,8	1,88 – 1,98 – 2,08 2,16 – 2,12 – 1,92	2,02
4	A2B1C2	13,6 – 13,6 – 13,2 15,2 – 15,2 – 15,4	14,3	1,62 – 1,66 – 1,60 1,66 – 1,58 – 1,40	1,58
5	A2B2C3	17,4 – 18,2 – 18,8 17,0 – 17,6 – 17,2	17,7	1,98 – 1,68 – 1,86 1,80 – 1,90 – 1,96	1,86
6	A2B3C1	11,6 – 11,2 – 11,4 10,6 – 10,2 – 10,4	10,9	1,46 – 1,56 – 1,64 1,60 – 1,72 – 1,66	1,60
7	A3B1C3	15,6 – 14,6 – 14,0 12,8 – 12,6 – 12,4	13,6	2,02 – 2,24 – 1,95 1,94 – 2,03 – 1,92	2,01
8	A3B2C1	14,0 – 13,8 – 13,2 12,6 – 12,6 – 12,4	13,1	1,42 – 1,78 – 1,82 1,70 – 1,58 – 1,66	1,66
9	A3B3C2	11,4 – 11,4 – 11,4 12,8 – 13,2 – 12,6	12,1	1,60 – 1,58 – 1,48 1,76 – 1,38 – 1,46	1,54



Şekil 12. İkinci deney serisi tornalama ve honlama sonrası yüzey pürüzlülüğü sonuçları karşılaştırma grafiği (Comparison graphics of the surface roughness results after turning and honing for Test Sample-2)



Şekil 13. Üçüncü deney serisi tornalama ve honlama sonrası yüzey pürüzlülüğü sonuçları karşılaştırma grafiği (Comparison graphics of the surface roughness results after turning and honing for Test Sample-3)

Tablo 8. S/N oranlarının hesaplanması (Calculation of S/N ratios)

Deney No	Taguchi Deney Tasarımı	Yüzey pürüzlülük değerleri			S/N Oranı
		Deney Ölçüm Sonucu			(Hesaplanan)
		1. SERİ DENEYLER	2. SERİ DENEYLER	3. SERİ DENEYLER	En düşük en iyi olduğu durum
					$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$
1	A1B1C1	1,61	1,62	1,63	- 4,1903
2	A1B2C2	1,59	1,78	1,62	- 4,4304
3	A1B3C3	1,90	2,15	2,02	- 6,1323
4	A2B1C2	1,48	1,85	1,58	- 4,3186
5	A2B2C3	1,68	1,82	1,86	- 5,0489
6	A2B3C1	1,50	1,59	1,60	- 3,8845
7	A3B1C3	2,27	2,03	2,01	- 6,4717
8	A3B2C1	1,55	1,64	1,66	- 4,1762
9	A3B3C2	1,66	1,53	1,54	- 3,9607

5.1 Deney Sonuçlarının İrdelenmesi (Analysis of Experimental Results)

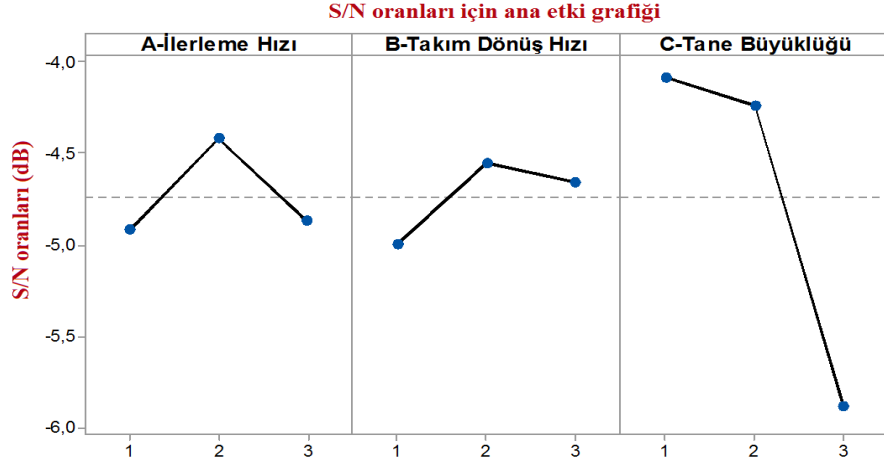
Yüzey pürüzlülük değeri için “en düşük en iyi değeri” uygun olacağı için, S/N oranı hesaplanırken Eş. 2 kullanılmış ve Tablo 8 elde edilmiştir. Tablolar incelendiğinde en iyi değerler; ilerleme hızı için en

büyük değer -4,417 ile A2, takım dönüş hızı için en büyük değer -4,552 ile B2 ve honlama taşı tane büyüklüğü için en büyük değer -4,084 ile C1 olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde, S/N değerinin en büyük yanıtı verdiği durum Şekil 14’te de görülmektedir. Grafikte her bir parametre için işaretli her bir nokta farklı seviyeleri göstermektedir. Bu

Tablo 9. En uygun faktör seviyelerinin belirlenmesi (S/N) (Determination of optimal factor levels (S/N))

Seviye	A- İlerleme hızı	B- Takım dönüş hızı	C- Tane büyüklüğü
1	-4,918	-4,994	-4,084*
2	-4,417*	-4,552*	-4,237
3	-4,870	-4,659	-5,884
Delta	0,500	0,442	1,801
Sıra	2	3	1

*En iyi seviye

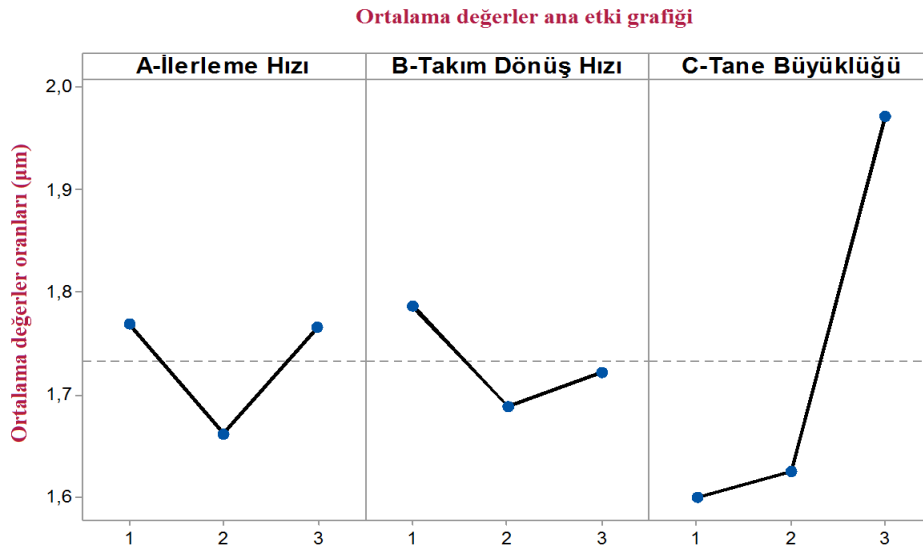


Sinyal/Gürültü oranı: En küçük en iyi

Şekil 14. S/N oranları için faktör etkileri grafiği (Main effects plot for S/N ratios)**Tablo 10.** En uygun faktör seviyelerinin belirlenmesi (ortalamalar) (Determination of optimal factor levels (means))

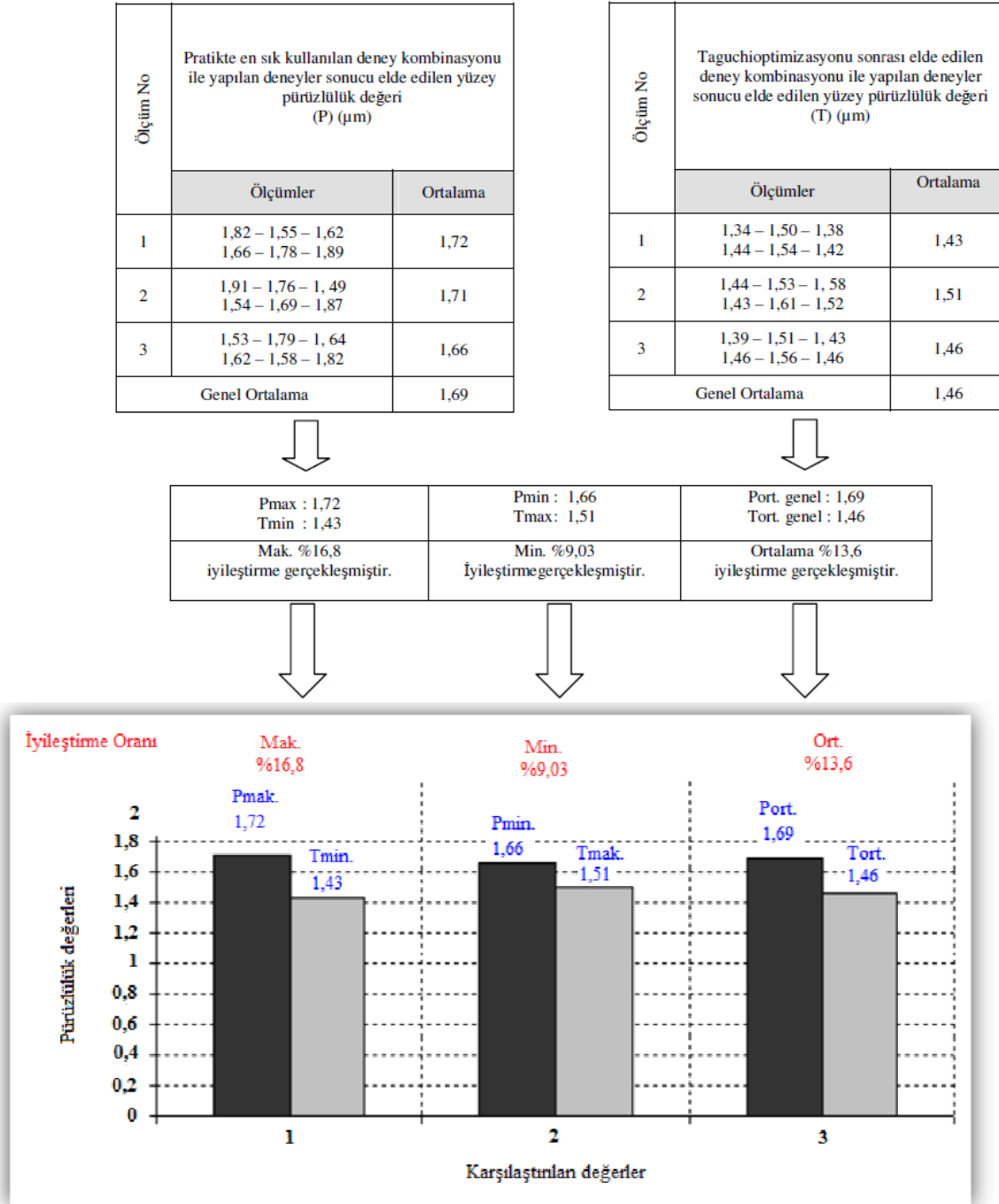
Seviye	A- İlerleme hızı	B- Takım dönüş hızı	C- Tane büyüklüğü
1	1,769	1,787	1,600*
2	1,662*	1,689*	1,626
3	1,766	1,721	1,971
Delta	0,107	0,098	0,371
Sıra	2	3	1

* En uygun seviye

**Şekil 15.** Ortalama değerler için faktör etkileri grafiği (Main effects plot for means)

noktalardan grafiksel değeri en büyük olanı, optimum şartı gerçekleştiren seviyeyi vermektedir. Grafik incelendiğinde A2B2C1 deney kombinasyonunun,

S/N oranına göre en iyi faktör kombinasyonu olduğu görülmektedir. Diğer taraftan S/N oranları hesaplanmaksızın ortalama değerler kullanılarak da en



Şekil 16. Taguchi metodunun pratiğe göre sağladığı iyileştirmenin analizi (Analysis of improvement provided by Taguchi method with respect to common practice)

iyi faktör seviyeleri belirlenmiştir (Tablo 10) ("*" her bir faktörün en uygun seviyesini göstermektedir). Buna göre tabloda, optimum seviyeler; ilerleme hızı için en düşük değer; 1,662 ile A2, takım dönüş hızı için en düşük değer; 1,689 ile B2, honlama taşı tane büyüklüğü için en düşük değer; 1,600 ile C1 olarak tespit edilmiştir. Tablo 8'de hesaplanan değerler kullanılarak oluşturulan Tablo 9'da en iyi sonuçları veren seviyeler belirlenir. Ayrıca aynı sonuçlar ortalama değerler için çizilen Şekil 15'te gösterilen grafikte de tespit edilmiştir. Grafik incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerini gösteren noktalar

A2B2C1 seviyeleri ile en iyi deney kombinasyonu olarak tespit edilmektedir. Elde edilen sonuçlar ışığında A2B2C1 deney kombinasyonu, honlama prosesinde en iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği faktör seviyeleri olarak belirlenmiştir. Sonuçlar üzerine yapılan son analizde honlama işleminde yüzey pürüzlülüğü sonuçları üzerindeki etkili faktörü veya faktörleri belirlemek üzere ANOVA (Analysis of Variance) analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 11). MINITAB programından elde edilen ANOVA tablosunda her bir faktör için "P" değerleri incelenmiştir. P değerleri için

%95 güven düzeyinde P değeri 0,05'ten küçük olan faktörler deney sonuçları üzerinde etkili olarak kabul edilmiştir. Bu kabule göre Tablo 11'de de görülebileceği gibi 0,05'ten küçük "P" değerine sahip olan faktör olarak "tane büyüklüğü" bulunmaktadır. Bu durumda honlama işleminde yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli etkiye sahip faktör tane büyüklüğüdür. Son olarak Taguchi Metodu ile en iyi yüzey pürüzlülük değerini veren A2B2C1 faktör kombinasyonu ile pratikte yoğun olarak kullanılan A2B1C2 kombinasyonunu karşılaştırmak için her bir kombinasyon için 3 deney olmak üzere toplam altı deney daha gerçekleştirilmiştir. Deneylerin sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 16'da sunulmuştur. Şekilden Taguchi yönteminin yüzey pürüzlülüğünde sağladığı iyileştirme % 10'lar civarında olduğu görülmektedir.

6. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Elde edilen sonuçlar belirli bir makine ve özel bir proses için gerçekleştirilmiş olup, elde edilen bulguların kıyaslanabileceği referans bir çalışma literatürde bulunmadığından mevcutta uygulanan honlama prosesi sonuçlarıyla karşılaştırılarak elde edilen iyileşme düzeyleri ortaya konmuştur. Diğer taraftan literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu çalışma sonuçlarının elde edilmesinde özellikle Taguchi yönteminin kullanılması diğer deney tasarımı yöntemlerine göre daha az sayıda deney yapılarak sonuca ulaşma açısından hem süre hem de maliyet açısından fayda sağlayabilmiş, sonuçta da proses için iyileştirme yapılmasına katkıda bulunmuştur.

7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, honlanmış boru imalatı yapılan bir işletmede, honlamada en iyi boru iç yüzey pürüzlülük değerini veren faktör seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; işletme genelinde yürütülen Ar-Ge çalışmaları, kalite faaliyetleri, müşteri geri bildirimleri, operatör tecrübeleri ve analizler incelenerek yüzey pürüzlülük değerine etki eden faktörler ve bu faktörlerin hangi seviyeleri ile deneyler yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Yapılan bu analiz faaliyetlerinin ardından, Taguchi deney tasarımı uygulaması için L9 ortogonal dizisinin kullanılması uygun görülmüştür. Bu matris yapısı; 3 faktör ve bu faktörlerin 3 seviyesi için uygun görülen ortogonal matristir. Boru iç yüzey pürüzlülük değeri kalite karakteristiğini etkileyen faktörler, MINITAB paket programı vasıtasıyla analiz edilmiştir. Program çıktılarında olan ANOVA Analizi ile, honlama taşı tane büyüklüğü faktörünün yüzey pürüzlülüğünde etkili faktör olduğu belirlenmiştir. MINITAB paket programı vasıtasıyla en iyi yüzey pürüzlülüğünü veren faktör seviyeleri belirlenmiştir. Bu analize göre A2B2C1 kombinasyonuna sahip (takım dönüş hızı:75 dev/dak, takım ilerleme hızı:10 kurs/dak ve honlama taşı tane büyüklüğü: 80 mikron) deney tasarımının en

iyi yüzey pürüzlülük değerini verdiği bulunmuştur. Ayrıca, A2B2C1 ve pratikte en çok kullanılan kombinasyon ile deneyler tekrarlanarak Taguchi metodunun yüzey pürüzlülük değerinde ortalama %13,6 oranında iyileştirme sağladığı görülmüştür. Honlama işleminde iyileştirme yapmayı amaçlayan diğer araştırmacıların deneyleri tasarlarken aşağıda sıralanan hususlara dikkat etmesi gerekmektedir:

Honlama işleminde yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen faktör honlama taşı tane büyüklüğüdür. Sonuçlar daha büyük tane yapısına sahip honlama taşlarının tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir. Ancak, bu çalışmada kullanılan honlama taşları ince kum tabir edilen nispeten ufak taneli taşlardır. Diğer çalışmalarda, kalın kum denilen 80 mesh altı kum büyüklüğüne sahip taşların da kullanılması daha kapsamlı sonuçların elde edilmesini sağlayabilir. Pratikte, birçok uygulamada tornalama sonrası honlama prosesinde genellikle 40 mesh ve buna yakın büyüklükteki honlama taşları ile ön honlama yapıp yüzey daha hassas honlamaya hazır hale getirilmekte ve ardından bu çalışmada kullanılan honlama taşları tane büyüklüğü aralığındaki taşlarla son honlama işlemi yapılmaktadır. Pratikte bir diğer uygulamada ise honlama işlemi bitirildikten sonra honlama kafası üzerine zımpara kağıdı sarılarak boru içerisinde zımpara kağıdı ile son bir yüzey temizleme işlemi yapılmaktadır.

İşlenecek malzeme yapısı dikkate alınarak, takım dönüş hızının; tezgahı zorlamayacak ve işlenen malzemenin çok ısınmasına neden olmayacak değerlerde tespit edilmesi uygun ve yeterli olacaktır. Eğer çok yüksek ya da çok düşük dönüş hızları ile honlama yapılırsa honlama taşının, işlem esnasında kırılması ve kırılan taş parçalarının, iş parçası yüzeyine zarar vermesi, derin çiziklere neden olması söz konusu olabilmektedir.

Çok yüksek ilerleme hızları ile çalışılmaması tavsiye edilebilir. İlerleme hızı, özellikle boru boyu ve işlenecek malzeme dikkate alınarak tespit edilmelidir. Örneğin bu çalışmada kullanılan 10 kurs/dak ilerleme hızı değeri 250 mm uzunluğunda ki deney numuneleri için uygun bir hız değeri iken, boru boyunun 1500 mm olması halinde çok düşük bir hız değeri olabilmektedir. Ayrıca, çelik alaşımları ve çelik olmayan malzemeler arasında ilerleme hızı değerinin etkisi de farklılık gösterebilmektedir. Yüksek ilerleme hızları, honlama taşlarının yüzeye dalmasına, yüzeyi çizmesine ve borunun aşırı ısınmasına neden olabilecektir. Aşırı ısınan boruda ise soğuduktan sonra ölçüsel hatalar görülebilecektir.

Bu çalışmaya konu olan deneylerin yapıldığı honlama tezgahı genellikle \varnothing 100 mm ve daha büyük çaplı honlama operasyonlarında daha verimli çalışmaktadır. Daha küçük çaplı borular için farklı tezgahların seçimi söz konusu olabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Arslan M., Serer M., “Hidrolik silindir tasarım ve imalatında kullanılan tolerans ve formüller”, **3. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi**, İzmir, 103-114, 2003.
2. Rosén B-G., Anderberg, C., Ohlsson, R., “Parameter correlation study of cylinder liner roughness for production and quality control”, **Proc Inst Mech Eng B: J Eng Manuf**, Cilt 222, 1-13, 2008.
3. Anderberg, C., Cabanettes, F., Dimkovski, Z., Ohlsson, R., Rosén, B-G., “Cylinder liners and consequences of improved honing”, **Proceeding of the 12th Nordicsymposium in tribology**, 2006.
4. Dimkovski, Z., Anderberg, C., Rosén, B-G., Ohlsson, R., Thomas T., “Quantification of the cold worked material inside the deep honing grooves on cylinder liner surfaces and its effect on wear”, **Wear** Cilt 267, 2235-42, 2009.
5. Dimkovski, Z., Anderberg, C., Ohlsson, R., Rosén B-G., “Characterisation of worn cylinder liner surfaces by segmentation of honing and wear scratches”, **Wear**, Cilt 271, 548-52, 2011.
6. Buj-Corral, I., Vivancos-Calvet, J., Coba-Salcedo, M., “Modelling of surface finish and material removal rate in rough honing”, **Precision Engineering**, Cilt 38, 100-108, 2014.
7. Cabanettes, F., Dimkovski, Z., Rosén, B.-G., “Roughness variations in cylinder liners induced by honing tools’ wear”, **Precision Engineering**, Cilt 41, 40-46, 2015.
8. Kerstinga, P., Jolieta, R., Kansteiner, M., “Modeling and simulative analysis of the micro-finishing process”, **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, Cilt 64, 321-324, 2015.
9. Pereria da Silva, S.L., Filho, M. R., Brandão, L.C., “Particle swarm optimization for achieving the minimum profile error in honing process”, **Precision Engineering**, Cilt 38, 759-768, 2014.
10. Akkurt, A., “Delik Yüzeylerine Uygulanan Yüzey İyileştirme İşlemlerinin Alüminyum Alaşımı Malzemeler Üzerinde Araştırılması”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)**, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
11. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi, **Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarı Deney Föyü**, Deney No:3
12. Besterfield, D.F., Besterfield, C., Besterfield, G.H., Besterfield, M., **Total Quality Management**, Prentice Hall Inc., New Jersey, USA.
13. Montgomery D.C., **Design And Analysis Of Experiment**, John Wiley&Sons, Newyork, USA.
14. Kasapoglu, Ö.A., Talaşlı imalatta bir kalite karakteristiğinin modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilimdalı**, İstanbul, 2007.
15. Durukan, Z., Motorcu, A.R., Güllü, A., “AISİ 304 Çeliğini Farklı Geometrilere Lazerle Kesmede Parametrelerin Boyutsal Doğruluk Üzerine Etkilerinin Modellenmesi” **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 29, No 3, 505-515, 2014.
16. Yıldırım S., **Ürün Tasarımı Geliştirilmesi: Taguchi Tasarımı**, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
17. İç, Y.T., Yıldırım, S., “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Birlikte Taguchi Yöntemini Kullanarak Bir Ürünün Tasarımının Geliştirilmesi” **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 27, No 2, 447-458, 2012.