

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROLİK SİLİNDİR İMALATINDA
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİLİ PARAMETRELERİNİN
TAGUCHI YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Nazmiye YANAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Konya, 2008

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROLİK SİLİNDİR İMALATINDA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİLİ
PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Nazmiye YANAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez .../.../..... tarihinde aşağıdaki juri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ahmet Peker
(Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Turan Paksoy
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Yakup Kara
(Üye)

Konya, 2008

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HİDROLİK SİLİNDİR İMALATINDA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİLİ PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Nazmiye YANAR

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet PEKER

2008, 73 Sayfa

Jüri : Prof. Dr. Ahmet Peker

Yrd. Doç. Dr. Turan Paksoy

Yrd. Doç. Dr. Yakup Kara

Üretilen parçanın kalitesinin artırılması ve maliyetin düşürülmesi ancak kesme parametrelerinin optimizasyonu ile mümkündür. İstenilen yüzey pürüzlülük değerleri ancak kesme parametrelerinin iyi bir kombinasyonu neticesinde elde edilebilmektedir. Bu çalışmada tornalama ve kanal açma operasyonunda kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmış ve ortogonal dizinleri kullanarak deney sayılarını büyük ölçüde azaltan ve aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini en küçükmeye çalışan bir deney tasarım tekniği olan Taguchi metodu kullanılmıştır. Makine devri, ilerleme hızı, talaş derinliği ve kesici takım olmak üzere dört farklı kesme parametre ve iki farklı seviye belirlenmiştir. Birinci deneyde SAE 1040 çelik malzeme iki farklı radyüslü kesici takım ile ikinci deneyde sermet ve TiAIN kesici takım ile işlenmiştir. L₁₆ ortogonal dizini kullanılarak belirlenen şartlarda yapılan deneyler sonucunda, her bir deney konfigürasyonu için ortalama ve S/N oranı değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerler varyans analizi metodu ile analiz edilmiş ve en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir.

Birinci deneyde ilerleme hızı*kesici takım, makine devri*kesici takım interaksyonlarının yanı sıra kesici takım ve makine devri parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak farklılık yarattığı görülmüştür. İkinci deneyde makine devri*ilerleme hızı*talaş derinliği*kesici takım, ilerleme hızı*kesici takım, makine devri*talaş derinliği interaksyonları ve takım parametresinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak farklılık yarattığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Taguchi Metodu, Yüzey Pürüzlülüğü, Varyans Analizi, Kesme Parametreleri

ABSTRACT

MS Thesis

USING TAGUCHI METHOD SPECIFYING THE PARAMETERS THAT AFFECTS SURFACE ROUGHNESS IN HYDRAULIC CYLINDER MANUFACTURING

Nazmiye YANAR

Selçuk University

Graduate School of Natural And Applied Sciences

Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet PEKER

2008, 73 Page

Jury : Prof. Dr. Ahmet Peker

Assist. Prof. Dr. Turan Paksoy

Assist. Prof. Dr. Yakup Kara

Increasing the quality of produced piece and decreasing the cost is only possible with the optimizing the cutting parameters. The desired surface roughness values can only be obtained by a good combination of cutting parameters. In this study, cutting parameters on surface roughness in turning and grooving operations have been investigated and used Taguchi Method which is an experimental design technique that reduces the number of experiments significantly by using the orthogonal arrays and also tries to minimize the effects of the uncontrollable factors. Two levels of control parameters in four cutting parameters have been determined for machine revolution, feed rate, depth of cut and tool. SAE 1040 steel are processed in first experiment by two different radius tools coating and second experiment by sermet and TiAlN tools. As a result of experiments based on the specified conditions by using L_{16} orthogonal arrays, averages and S/N ratios were determined for each experiment configuration. These values were analyzed by variance analysis method and determined the most suitable cutting parameters.

The results of the first experiment indicate that the feed rate*tool, machine revolution*tool interaction besides tool and machine revolution were significant on surface roughness. The results of the second experiment indicate that the machine revolution*feed rate* depth of cut*tool, depth of cut feed rate*tool, machine revolution*depth of cut interaction besides tool were significant on surface roughness.

Keywords: Taguchi Method, Surface Roughness, Variance Analysis, Cutting Parameters

ÖNSÖZ

Talaşlı imalat prosesinde yüzey pürüzlülüğünün önemine dikkat ederek tez çalışmalarımı bu yönde ilerletmem konusunda bana yön veren, çalışmalarımın planlanması, araştırma ve deneylerin yapılması, deney sonuçlarının analizi konusunda yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Ahmet Peker'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerin yapılması için gerekli malzeme ihtiyacının tedarik edilmesi konusunda yardımlarını esirgemeyen Bülent Köşşekoğlu, Vatan Özkaya, Aksel Öztürk'e, deneylerin yapılmasında yardım eden iş arkadaşım CNC Sorumlusu Mehmet İvgen'e, ölçümlerin gerçekleştirilmesini sağlayan iş arkadaşım Kalite Kontrol Sorumlusu Nazmi Övey'e, teknik konularda yardım eden iş arkadaşım Hatice Vural'a ayrıca teşekkür ederim. Tüm bu çalışmalarım sırasında firmanın olanaklarını bana sunan ve çalışmalarımı destekleyen Alfa Hidrolik Makine Otomotiv A.Ş. yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Konya, 2008

Nazmiye YANAR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	7
SİMGELER.....	8
KISALTMALAR	9
TABLO LİSTESİ.....	10
ŞEKİL LİSTESİ.....	12
1. GİRİŞ.....	13
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	15
3. MATERYAL VE METOD	21
3.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemi.....	21
3.1.1. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler	24
3.1.1.1. Makine devri	24
3.1.1.2. İlerleme hızı.....	25
3.1.1.3. Talaş derinliği.....	25
3.2. Taguchi Yaklaşımı.....	25
3.2.1. Taguchi yaklaşımının tarihsel gelişimi	26
3.2.2. Kalite felsefesi.....	27
3.2.3. Kayıp fonksiyonu.....	28
3.2.4. Taguchi'nin üretim/kalite sistemi ve deney tasarımı	30
3.2.5. Sistem tasarımı	33
3.2.6. Parametre tasarımı.....	34
3.2.7. Tolerans tasarımı.....	34
3.2.8. Ürün ve proses performansını etkileyen faktörler	35
3.2.9. Deney tasarım adımları	38
3.3. Deneysel Çalışma.....	39
3.3.1. Kullanılan tezgâh, takım, cihaz ve malzemeler.....	39
3.3.2. Deneyin yapılışı.....	44
3.3.2.1. İç çap deneyinin yapılışı.....	46
3.3.2.2. Kanal deneyinin yapılışı.....	48
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	50
4.1. İç Çap Deney Sonuçları.....	50
4.2. Kanal Deney Sonuçları.....	57
5. SONUÇ	64
6. KAYNAKLAR	68

SİMGELER

a_r	: Elmas Genişliği
D	: İş Parçası Çapı
d	: Elmas Yüksekliği
D_1	: Elmas Delik Çapı
f	: İlerleme Hızı
L	: Örnekleme Uzunluğu
l	: Elmas Bir Kenar Uzunluğu
L_n	: Ölçüm Uzunluğu
l_a	: Elmas Uç Genişliği
M	: Profil Ortalama Çizgisi, Ölçüm Sayısı
n	: İş Parçasının Dakikadaki Devir Sayısı, Örnekleme Uzunluğu, Örnekleme Adeti
r	: Elmas Uç Radyüsü
R	: Elmas Uç Radyüsü
R_a	: Yüzey pürüzlülük Aritmetik Ortalaması
R_t	: Yüzey Pürüzlülük Yüksekliği
s^2	: Varyans
t	: Talaş Derinliği, Elmas Uç Genişliği
V	: Kesme Hızı
y	: Performans Karakteristiği

KISALTMALAR

BSD	: Bilgisayar Sayısal Denetimli
CLA	: Merkez Ortalama Çizgisi
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
SD	: Serbestlik Derecesi
S/N	: Sinyal/Gürültü Oranı
TiAIN	: Titanyum Alüminyum Nitrür

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No:</u>
Tablo 3. 1. Çevrim içi ve Çevrim Dışı Kalite Bileşenleri ve İçerikleri (Kasap 2006)	32
Tablo 3. 2. SAE 1040 Çeliğin Teknik Özellikler	39
Tablo 3. 3. TOP TURN CNC S-20 Tezgahı Teknik Özellikleri	40
Tablo 3. 4. Deneyde Kullanılan DCMT Kesici Takımların Teknik Özellikleri (Anonim 2005)	43
Tablo 3. 5. Deneyde Kullanılan N123H2 Kesici Takımların Teknik Özellikleri (Anonim 2008)	44
Tablo 3. 6. İç Çap Deneyi Kesme Parametreleri	46
Tablo 3. 7. Standart L ₁₆ Ortogonal Dizi	47
Tablo 3. 8. İç Çap Deney Parametreleri için Hazırlanmış L ₁₆ Ortogonal Dizi	48
Tablo 3. 9. Kanal Deneyi Kesme Parametreleri	49
Tablo 3. 10. Kanal Deney Parametreleri için Hazırlanmış L ₁₆ Ortogonal Dizi	49
Tablo 4. 1. İç Çap Deneyi Yüzey Pürüzlülük Sonuçları ve S/N Oranı	50
Tablo 4. 2. İç Çap Parametreleri ile Elde Edilen Sonuçlara Göre Varyans Analizi Tablosu	51
Tablo 4. 3. İç Çap Deneyi İlerleme Hızı* Takım İnteraksiyonu Games-Howell Test Sonuçları	52
Tablo 4. 4. İç Çap Deneyi İlerleme Hızı* Takım İnteraksiyonu Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri	53
Tablo 4. 5. İç Çap Deneyi Makine Devri* Takım İnteraksiyonu Games-Howell Test Sonuçları	53
Tablo 4. 6. İç Çap Deneyi Makine Devri* Takım İnteraksiyonu Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri	55
Tablo 4. 7. İç Çap Deneyi Takım Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri	55
Tablo 4. 8. İç Çap Deneyi Makine Devri Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri	56
Tablo 4. 9. İç Çap Deneyi Duncan Testi Sonuçları	56
Tablo 4. 10. Kanal Deneyi Yüzey Pürüzlülük Sonuçları ve S/N Oranı	57
Tablo 4. 11. Kanal Parametreleri ile Elde Edilen sonuçlara Göre Varyans Analizi Tablosu	58
Tablo 4. 12. Kanal Deneyi Duncan Testi Sonuçları	59

Tablo 4. 13. Kanal Deneyi İlerleme Hızı*Takım İnteraksiyonu Games-Howell Test Sonuçları	60
Tablo 4. 14. Kanal Deneyi İlerleme Hızı*Takım İnteraksiyonu Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri.....	61
Tablo 4. 15. Kanal Deneyi Makine Devri *Talaş Derinliği İnteraksiyonu Games-Howell Test Sonuçları.....	62
Tablo 4. 16. Kanal Deneyi Makine Devri*Talaş Derinliği İnteraksiyonu Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri.....	62
Tablo 4. 17. Kanal Deneyi Takım Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri.....	63

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No:</u>
Şekil 3. 1. Yüzey Pürüzlülüğünün Yapısı (Motorcu 2006).....	22
Şekil 3. 2. Yüzey Pürüzlülüğü İle İlgili Parametreler (Sakarya 2005)	23
Şekil 3. 3. Kim Daha İyi Nişancı (Şirvancı 1997).....	29
Şekil 3. 4. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi (Kayı 2006)	30
Şekil 3. 5. Çalışmada Kullanılan TOP TURN CNC S-20 Tezgahı	41
Şekil 3. 6. Deneyde Kullanılan Mitutoyo SJ 201 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Cihazı	42
Şekil 3. 7. Mitutoyo SJ 201 Ölçme Cihazı İlerleme Şekli	42
Şekil 3. 8. Deneyde Kullanılan DCMT Kesici Takımların Genel Görünüşü (Anonim 2005)	43
Şekil 3. 9. Deneyde Kullanılan N123H2 Kesici Takımların Genel Görünüşü (Anonim 2007)	44
Şekil 3. 10. Deneyde İşlenen Piston Parçası Teknik Resmi.....	45

1. GİRİŞ

Yapılan mühendislik çalışmaları ve araştırma geliştirme çalışmalarının ana hedefi tasarlanan sistemin veya ürünün maksimum performansa sahip olmasıdır. Bu amaçla öncelikli performansı etkileyen parametrelere yönelik araştırmalar yapılarak, bu faktörler belirlenir ve incelenir. Faktörlerin etkilerini incelemek ve optimum seviyeyi bulmak amacıyla deneyler yapılır ve optimum şartlar belirlenir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu doğru yöntemin seçilmesidir. Geleneksel deney çalışmalarında her bir faktör tek tek ele alınarak kalite üzerine etkileri belirlenir. Ancak burada unutulmuş bir konu faktörlerin birbiri ile etkileşmesi sonucu meydana gelebilecek kalite etkileridir. Ayrıca her bir faktörün birbiri ile etkileşmesine yönelik deneylerin yapılması hem zaman kaybına hem de maliyet artışına neden olduğu için şirketler tarafından pek seçilmemektedir. Deneylerde dikkat edilmesi gereken ikinci önemli konu ise deney sonuçlarının analizinde uygun istatistiksel yöntemin seçilmesidir. Çünkü yapılan her bir deney belirli bir hata payı ve belirsizlik içermektedir.

Deney tasarım yöntemlerinin uygulanması hem zaman ve maliyet açısından hem de sonuçların doğru yorumlanması açısından son derece önem arz eden bir yaklaşım olmuştur. Ayrıca bu tekniklerin uygulanması ile bulunan sonuçlar diğer yöntemler ile de karşılaştırma kolaylığı sağlamaktadır. Bu çerçevede Taguchi Deney Tasarımı metodu problemlerin çözümünde başarılı bir metod olarak ortaya çıkmıştır. Taguchi metodu kontrol edilebilen faktörlerin yanı sıra kontrol edilemeyen faktörlerin değerlendirilmesi ve kayıp fonksiyonu ile ürünün topluma yol açtığı kaybı minimize ederek yeni bir kalite maliyeti anlayışı getirmiştir.

Talaşlı imalat prosesinde ki tornalama operasyonu sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değeri ürün kalitesi açısından önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu amaçla CNC tezgahlarında parça işleme süreçleri analiz edilecek, süreçlerdeki yüzey pürüzlülüğünü etki eden faktörler tespit edilerek, süreç iyileştirme teknikleri ve deney tasarım yöntemleri ile ürün ve proseste değişkenliğe neden olan ve kontrol

edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek değişkenlik minimize edilecek ve sonuçlar istatistiksel yöntemler yardımı ile analiz edilecektir.

Bu proje neticesinde elde edilecek sonuçlar üç birimi ilgilendirmektedir. Bunlar, uygulama yapılan firmanın üretim planlama, kalite güvence ve satın alma birimleridir. Proje neticesinde kalitede artış, fire oranlarında azalma, maliyetlerde düşme, kayıp zamanlarda azalma, en uygun çalışma parametrelerin belirlenmesi ve stoklu alımlarda azalma gibi kazanımların elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu kazanımlar sayesinde üretim planlama iş emri adetini net olarak belirleyecek, kalite kontrol bölümü %100 kontrol yerine numune örnek alma planına göre ölçümlerini gerçekleştirecek ve zamandan tasarruf sağlanacak, satın alma birimi yüzde fire oranını bilerek en uygun satın alma miktarını gerçekleştirecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Eriksen'nin (1998) yaptığı çalışmada, torna ile işlenen kısa elyaflarla güçlendirilmiş termoplastik malzemelerin değişik kesme ve ilerleme hızları, kesici takım uç yarıçapı ve elyaf doğrultusu ile etkileşimlerini incelemiştir. Optimum işleme koşullarını deneysel olarak belirlemenin mümkün olduğu, ancak teorik olarak hesaplanan değerler ile bu parametrelerin uyuşmadığı ifade edilmiştir. Çalışmalarında, ilerleme hızının 0.1 mm/dev değerinin üzerinde olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğünün arttığı, takım uç yarıçapı küçüldüğünde yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, kesme hızı 500 m/min değerine ulaştığı zaman yüzey pürüzlülüğünün bozulduğu, kesme hızı 1500 m/min'e varan yüksek kesme hızlı işlemlerde yüzey pürüzlülüğünün kesme hızından bağımsız olduğu belirtilmiştir.

Özçatalbaş'ın (2000) yaptığı deneysel çalışmalarda, artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmiştir. Ancak kesme hızı artışının düşük ilerleme miktarlarında etkisinin fazla olduğu gözlemlenmiş iken artan ilerleme miktarında ise kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi azalmıştır. Benzer şekilde, değişik ısı işlemler uygulanmış Ç4140 çeliğinde, düşük kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri yüksek iken, artan kesme hızlarıyla numunelerin yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir.

Çoğun ve Özses'in (2002) yaptıkları deneysel çalışmada, bilgisayar sayısal denetimli "BSD" iki torna, bir dikey işleme merkezi ve bir yatay işleme merkezi tezgâhı kullanılarak işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. BSD torna tezgâhlarında yapılan deneylerde, sabit takım ilerlemesi için iş parçası dönüş hızı arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. İş parçası dönüş hızının sabit tutulduğu ve takım ilerlemesinin arttırıldığı deneylerde yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Sabit işleme hızında yüzey pürüzlülüğünün paso derinliği arttıkça bozulduğu görülmüştür. Büyük uç yarıçaplı kesici takım ile yapılan tornalama işlemlerinde düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. Sünek parçaların uç yarıçapı küçük olan uçlar ile işleminde talaş kırılmasının zorlaştığı ve talaşın iş parçasına dolanarak yüzey pürüzlülüğünü bozduğu gözlemlenmiştir. Aşınmamış yeni takımlarla (kesici kenarı

keskin) yapılan tornalama operasyonlarında daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. BSD yatay işleme merkezinde, takım dönme hızı sabit tutulup, tabla ilerleme hızı azaltılarak yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. BSD dik işleme merkezi ile yapılan deneylerde, iş parçası malzemesine uygun olarak kataloglardan seçilen önerilen kesme hızının, yaklaşık 1.5 kat arttırıldığında da çok iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. İş mili dönme hızının arttırılması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin düştüğü görülmüştür. Takım ilerlemesinin artması ile yüzey pürüzlülüğü değeri artmıştır.

Özsas'ın (2002), AISI 5140, AISI 4140, St37 malzemeleri üzerinde yaptığı deneysel çalışmalarda, malzemenin karbon miktarına bağlı olarak değişen sertlik ve mekanik özelliklerin yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür. İşleme parametreleri olarak kesme hızının artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği fakat kesme hızının artırılması durumunda takım aşınmasının hızlandığı dolayısı ile takım ömrünün azaldığı anlaşılmıştır. İlerleme miktarındaki artış ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Kesici uç yarıçapının da yüzey pürüzlülüğünü etkilediği, uç yarıçapının büyümesi ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlenmiştir.

Davim ve Figueira'nın (2006), istatistiksel yöntem kullanarak yaptıkları çalışmalarda seramik takımlarla soğuk iş takım çeliğini tornalayarak işlenebilirliğini incelemişlerdir. Varyans analizi "ANOVA" ve ortogonal tasarım tekniğiyle sonuçları değerlendirmiştir. Sonuç olarak; kesme hızının artması ile takım aşınmasının arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin iyileştiği ve artan ilerleme miktarıyla ise kötüleştiği rapor edilmiştir.

Choudhury ve Baradie'nin (1997), yüksek dayanımlı çeliğin kaplamasız karbür takımlarla tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmini için model oluşturmuştur. Çalışmalarında kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde ilerleme miktarının etkisinin kesme hızı ve talaş derinliğinin etkisinden daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır.

Motorcu'nun (2006), ısı işlemsiz ve ısı işlem görmüş Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin kaplamalı karbür, sermet, seramik ve kübik bor nitrür kesici takımlarla işlenmesinde kesme parametreleri ve takım geometrisinin yanı sıra, iş

parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü, takım aşınması, talaş atılabilirliği ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili parametreler sırasıyla ilerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliği olmuştur. Isıl işlemsiz Ç1050 çeliğinin işlenmesinde kaplamalı seramik takımlar daha iyi yüzey pürüzlülükleri sağlamışken Ç4140 çeliklerinin işlenmesinde ise kaplamasız seramik takımlarla daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Isıl işlem görmüş çeliklerin işlenmesinde genelde en düşük yüzey pürüzlülükleri sırasıyla kübik bor nitrür, kaplamasız seramik, kaplamalı seramik ve kaplamalı karbür takımlarla elde edilmiştir.

İşbilir'in (2006), basılı kaynaklarda yer alan bilgilere dayalı olarak, tornalama işlemlerinde takım ömrüne etkili faktörler sebep-sonuç diyagramı halinde ortaya konulmuş, yapılan araştırma verilerinden hareketle çeşitli parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü üzerine etkisi tespit edilmiş, incelenen bu faktörlere göre yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü modellenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde kesme hızı, malzeme sertliği, uç radyüsü ve ilerleme faktörlerinin etkili olduğu, kesme sıvısının ve kesme derinliğinin de etkili olmadığı bulunmuştur. İlerleme hızı ve malzemenin sertliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünün artmakta olduğu bulunmuştur. Kesme hızı ve kesici uç radyüsü arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azalmakta olduğu bulunmuştur.

Demirayak'ın (2006), kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici takım üzerindeki kaplama tabakasının yüzey kalitesine ne gibi etkiler yaptığı incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en büyük etkiyi ilerleme oranı yapmıştır. İlerleme oranındaki azalma kesme kuvvetlerini azaltarak sönümlenme etkisini çoğaltmış ve böylece meydana gelen titreşimi azaltarak daha güzel bir yüzey kalitesi elde edilmesini sağlamıştır. Yüzey kalitesi üzerindeki diğer bir faktör ise kesme hızıdır. Kesme hızının artması kuvvetleri düşürerek titreşimin azalmasına sebep olmuş ve böylece daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiştir. Düşük ilerleme ve yüksek kesme hızı parametrelerinin birleştiği noktalarda en iyi yüzey kalitesi değerleri elde edilmiştir. Bir diğer kesme parametresi olan talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde göze çarpan bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Talaş derinliğinin %100 oranında artırılması bile yüzey kalitesi üzerinde dikkate değer bir artış yaratmamıştır. Bir ısı kalkanı görevi gören TiAlN kaplama tabakasına sahip IC907 kesici takımında ise

aşınma direnci daha düşük olduğundan kesme kuvvetinde bir artış olmamış dolayısıyla yüzey kalitesinde de çok belirgin bir değişme gözlenmemiştir.

Kartal'ın (2000), sert maden uçlu kalem ile belirlenmiş kesme hızları, ilerleme miktarları ve talaş derinliklerinde St 33 çelik malzeme ve St 52 çelik malzeme işlenmiş deneylerden elde edilen veriler Varyans analizi ve Taguchi Metodu yardımıyla değerlendirilerek en uygun kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) bulunmuştur. Varyans analizi yardımıyla St 33 malzemenin yüzey pürüzlülüğü için en uygun kesme parametreleri olarak; kesme hızı 180 m/min, ilerleme miktarı 0.1 mm/dev ve talaş derinliği 1 mm bulunmuştur. St 33 malzeme için, her kesme parametresinin yüzey pürüzlülüğüne etkinlik yüzdelerinin tespiti yapılmıştır. Bu değerler; kesme hızı için % 8.2, ilerleme miktarı için % 75.2 ve talaş derinliği için % 1.9'dur. Varyans analizi yardımıyla St 52 malzemenin yüzey pürüzlülüğü için en uygun kesme parametreleri olarak; kesme hızı 180 m/min, ilerleme miktarı 0.1 mm/dev ve talaş derinliği 1.5 mm bulunmuştur. St 52 malzeme için, her kesme parametresinin yüzey pürüzlülüğüne etkinlik yüzdelerinin tespiti yapılmıştır. Bu değerler; kesme hızı için % 8.40, ilerleme miktarı için % 72.56 ve talaş derinliği için % 6.88'dir.

Sakarya'nın (2005), plastik hacim kalıplarının talaşlı imalatında yaygın olarak kullanılan cep işleme işleminde takım yolu stratejileri ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. EN/DIN 1.2738 kalıp çeliği üzerinde tek yönlü, zigzag ve spiral takım yolları kullanılarak yüksek hız çeliği "HSS" kesici takımlarla cep işleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Her üç takım yolunda kontrol edilebilen kesme parametreleri olan, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici yanal adımı için dört farklı seviye değerleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmada pürüzlülük için seçilen "En Küçük – En İyi" Sinyal/Gürültü "S/N" oranı yardımıyla ANOVA çizelgeleri oluşturulmuş, etken parametreler ve ilgili parametreler için etken seviyeler belirlenmiştir. Cep işleme için son talaş işleminde yapılan deney neticesinde oluşan pürüzlülük değerleri açısından 23 m/min kesme hızı, 120 mm/min ilerleme, 0.2 mm talaş derinliği ve 2 mm kesici yanal adımı ve spiral takım yolunun en ideal olduğu görülmüştür.

Dabade ve ark.'nın (2003), freze işleminde en uygun parametreler Taguchi metodu ile analiz edilmiş olup L_{27} ortogonal dizi kullanılmıştır. Deney sonuçları

ANOVA metodu ile analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün % 95 güven düzeyinde kesme açısı, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı oluşu, kesme açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.

Kopac ve ark.'nın (2002), C15 E4 çeliği malzemesi kullanarak yaptığı deneysel çalışmada yüzey pürüzlülüğü sonuçlarını Taguchi Metodu ile analiz etmiştir. L_{16} seviyesinde yapılan çalışmada deney parametreleri olarak iş parçası 42 mm den 40 mm çekilmiş malzeme ve 42 mm 34 mm çekilmiş malzeme, kesme hızı 25 m/min ve 400 m/min, kesici uç Sermet ve Sermet-TiN, talaş derinliği 0.3 mm, 0.5 mm, ve tek kademeli ve iki kademeli kesme olarak belirlenmiştir. TiN kaplamalı uçların yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etkilerin olduğu tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en büyük etkinin kesme hızı olduğu ve yüksek kesme hızında yüzeylerin daha düzgün olduğu bulunmuştur. Üçüncü derecede talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü etkilediği, talaş derinliği azaldıkça yüzey pürüzlülüğünün daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Davim'in (2001), tornalama işleminde kesme parametrelerin yüzey pürüzlülüğünü etkileri incelenmiş olup sonuçlar Taguchi metodu ile analiz edilmiştir. L_{27} ortogonal seviyede yapılan deneyde deney parametreleri kesme hızı 250 m/min, 150 m/min, 100 m/min, ilerleme 0.10 mm/rot, 0.16 mm/rot, 0.25 mm/rot, talaş derinliği 0.5 mm, 0.75 mm ve 1 mm olarak belirlenmiştir. Deney sonucunda kesme hızının ilerlemeye oranla yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha büyük etkiye sahip olduğu, talaş derinliğinin ise etkisinin olmadığı bulunmuştur.

Yang ve Tarng'in (1998), tornalama operasyonda S45C malzemesi seçmiş olup, optimum kesme parametrelerini bulmak için Taguchi metodu, L_9 ortogonal dizi, sinyal gürültü oranı ve Varyans analizi kullanılmıştır. Deney parametreleri olarak kesme hızı 135 m/min, 210 m/min, 285 m/min, ilerleme 0.08 mm/rev, 0.20 mm/rev, 0.32 mm/rev, talaş derinliği 0.6 mm, 1.1 mm ve 1.6 mm olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı olarak bulunmuştur. En iyi kesme parametreleri kesme hızı 135 m/dak, ilerleme 0.08 mm/dev ve talaş derinliği 1.1 mm olarak bulunmuştur.

Zhang ve ark.'nın (2007), CNC freze tezgahında optimum yüzey kalitesi için Taguchi metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada ilerleme, dönme hızı, talaş derinliği parametreleri dikkate alınarak L_9 ortogonal dizide analiz yapılmış ve sonuçlar

ANOVA yöntemine göre değerlendirilmiştir. Dönme hızı ve ilerlemenin talaş derinliğine göre yüzey pürüzlülüğü üzerine daha büyük etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Nalbant ve ark.'nın (2007), yüzey pürüzlülüğünü etkileyen optimum kesme parametresini bulmak için Taguchi metodu kullanılmıştır. AISI çeliği ve TiN elması ile yapılan deneyde radyüs, ilerleme ve talaş derinliği parametreleri dikkate alınarak L₉ ortogonal dizi, sinyal gürültü oranları ve varyans analizi yöntemleri kullanılmıştır. Radyüs değeri 0.4 mm, 0.8 mm, 1.2 mm, ilerleme 0.15 mm/rev, 0.25 mm/rev, 0.35 mm/rev ve talaş derinliği 0.5 mm, 1.5 mm, 2.5 mm olarak seçilmiştir. Yapılan deney sonucunda yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör uç radyüsü ve ilerleme olarak bulunmuştur. Uç radyüsü % 48.54, ilerleme % 46.95 ve talaş derinliği % 3.39 oranında yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür. Uç radyüsü 1.2 mm, ilerleme 0.15 mm/rev ve talaş derinliği 0.5 mm olarak bulunmuştur.

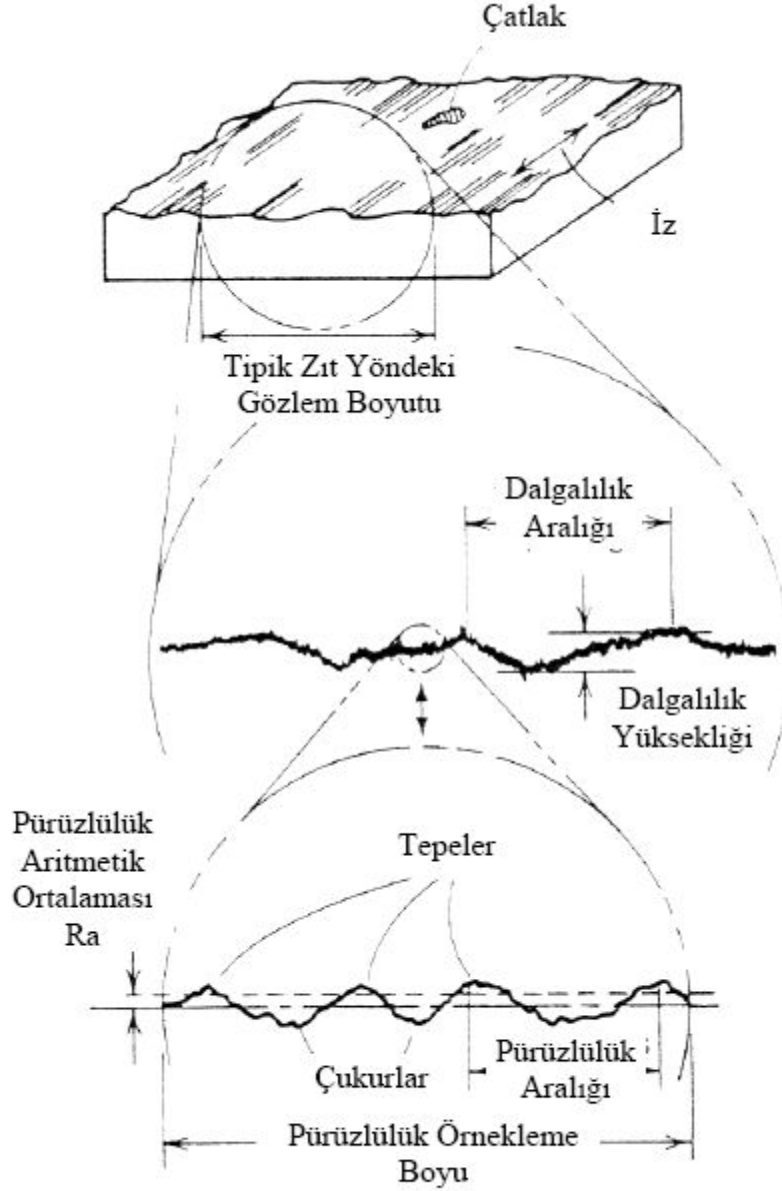
3. MATERYAL VE METOD

3.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemi

İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu yüzden makina parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir. Talaşlı imal usulleri kullanılarak yapılan yüzey operasyonları birçok değişkenden etkilenebilmektedir (Çoğun ve Özses 2002).

Talaş kaldırmada bir parçanın yüzeyi iki önemli görüntüsü ile tanımlanır ve kontrol edilir. Birincisi yüzeyin geometrik düzensizlikleri, ikincisi ise yüzey ve yüzey katmanındaki metalürjik değişikliklerdir. İkinci özellik yüzey bütünlüğü ile ilgilidir. Yüzey bütünlüğü ve yüzey özellikleri tanımlanmalı, ölçülmeli ve ürünün istenilen özel sınırları içerisinde olmalıdır. Yüzey yapısı; pürüzlülük, dalgalılık, tepeler ve çukurluklar ile belirlenir. Şekil 3.1’de yüzey pürüzlülük yapısı gösterilmiştir (Motorcu 2006). Talaş kaldırarak şekillendirme sırasında; seçilen yöntem, kesici cinsine ve işleme şartlarında bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısıl faktörlerin ve kesici-iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmediği halde işleme izleri oluşmaktadır. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denmektedir (İşbilir 2006). Genelde talaş kaldırmayla yapılan imalat işlemlerinde ilerlemenin etkisiyle oluşmaktadır. Dalgalılık; yüzey yapısı üzerindeki daha geniş aralıkların bileşimi şeklinde oluşmaktadır. Genelde, makine ve iş parçasındaki titreşim ve tırlamalar sonucu oluşmaktadır. Tepeler ve çukurluklar ise yüzey üzerinde istenmeyen kesintilerdir. Yüzey pürüzlülüğü, bir ürünün kalitesini tanımlayan bir kalite değişkeni olduğu için tornalama işlemlerinde önemli bir kalite

belirleyicisidir. Daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde etmek için işleme öncesi uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi gereklidir (Motorcu 2006).

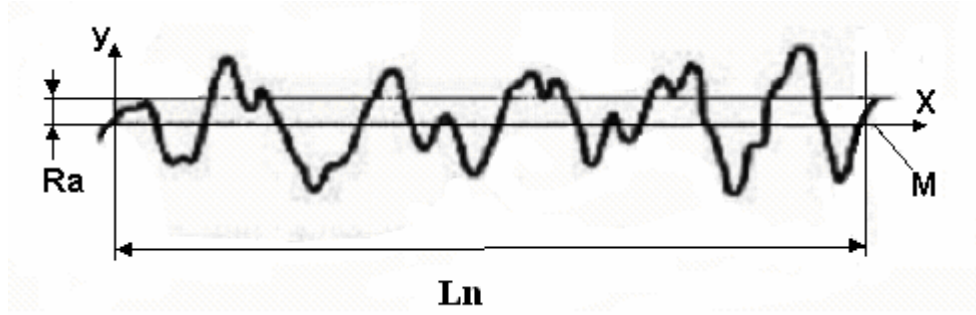


Şekil 3. 1. Yüzey Pürüzlülüğünün Yapısı (Motorcu 2006)

Pürüzlülük aritmetik ortalaması (R_a): Merkez ortalama çizgisi “CLA” olarak ta bilinen, yükseklik aritmetik ortalaması kalite kontrolünde oldukça sık kullanılan pürüzlülük parametresidir. Bir örnekleme boyu üzerindeki ortalama çizgisinin altında ve üstünde kalan mutlak düzensiz pürüzlülüklerin aritmetik ortalamasıdır. Bu parametreyi tanımlamak ve ölçmek çok kolaydır ve yükseklik dağılımları hakkında

iyi ve genel bir tanımlama verir. Fakat bu parametre dalga boyu hakkında hiçbir bilgi vermez ve profildeki küçük değişiklikler için hassas değildir (Motorcu 2006).

Yüzey pürüzlülük değeri, pürüz yüksekliği R_t değerinin ortalama değeri olan R_a ile belirtilir. R_t bir yüzey için her ölçümde farklılıklar gösterebilir, R_a değeri istenilen yüzey kalitesine göre standart değerlerdedir. Bu değer kullanılan imalat yöntemi ve işleme tarzına göre belirli limitler arasındadır. Şekil 3.2’de yüzey pürüzlüğü ile ilgili bazı parametreler gösterilmektedir (Sakarya 2005).



Şekil 3. 2. Yüzey Pürüzlülüğü İle İlgili Parametreler (Sakarya 2005)

Profil üzerinde alınan örnekleme uzunluklarının “L” bir araya gelmesi ile “ L_n ” ile ifade edilen ölçüm uzunluğu oluşur. Eğer profil “n” adet örnekleme uzunluğu içeriyorsa ölçüm uzunluğu eşitlik 3.1’e göre hesaplanır.

$$L_n = L \times n \quad (3.1)$$

Örnekleme uzunluğu “ L_n ” için “ R_a ” değeri, profil ortalama çizgisi “M” ölçülen yükseklik değişimlerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalaması olup eşitlik 3.2 formülüne göre hesaplanır:

$$R_a = \frac{(R_{t_1} + R_{t_2} + R_{t_3} + \dots + R_{t_m})}{M} \quad (3.2)$$

Burada, “ R_t ” alınan yükseklik ölçümlerinin değeri, “M” ise ölçüm sayısıdır. Ölçüm uzunluğu için “ R_a ” değeri, “n” sayıdaki “ R_a ” değerinin aritmetik ortalamasıdır.

3.1.1. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler

Talaş kaldırma teorisinin odak noktası talaşın oluşumudur. Talaş ana malzemeden plastik şekil değiştirmenin sonucu meydana gelmektedir. Keskin bir uç malzemeye nüfus ederek hareket ettiğinde, malzeme ile temas noktasında malzemenin plastik şekil değiştirmesine neden olan yüksek gerilmeler ve sıcaklık meydana gelmektedir. Gerilmeler malzemenin akma sınırını aştığında talaş olarak adlandırılan belli bir yüzey tabakası, iş parçası boyunca takımın kesme yüzeyinden kayarak parçadan ayrılır. Talaşın kesici takım kesme yüzeyinde kayması yüksek basınçlar altında meydana gelir ve oluşan sürtünmeden dolayı takım yüzeyinde yüksek sıcaklıklar oluşur (Demirayak 2006).

Talaş kaldırma sırasında yüzey pürüzlülüğüne etkileyen kesme parametreleri makine devri, ilerleme hızı, talaş derinliği ve takımdan oluşmaktadır.

3.1.1.1. Makine devri

Kesme hızı, sabit bir kesici takıma göre iş parçasının dönme hızı ile ilgili hareketi olup parça üzerindeki bir noktadan takımın dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak tanımlanır. Kesme hızı V ile gösterilir ve birimi m/dak olarak ifade edilir. İş parçasının dönme hızı veya tezgâhın devir sayısı iş parçasının dış çapıyla ilgili olduğundan kesme hızı eşitlik 3.3'e göre hesaplanır.

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte D : İş parçasının çapı (mm), V : Kesme hızı (m/min), n : İş parçasının dakikadaki devir sayısını (dev/min) ve 1000 ise ölçülerin genelde mm olmasından dolayı 1m 1000 mm'ye eşit olduğundan bu eşitliği mm çevirmektedir (Şahin 2003).

3.1.1.2. İlerleme hızı

İlerleme hızı, iş parçasının her bir dönüşünde, yani birim zamanda takımın iş eksenini boyunca hareket ettiği mesafe veya her bir pasoda kaldırılan malzeme miktarıdır. İlerleme hızı birimi genelde mm/dev veya mm/min olup f ile gösterilir. İş parçası dönme eksenine paralel ilerleme hareketi yapar. Fakat alın tornalamada ise dik ilerleme hareketi yapar (Şahin 2003).

3.1.1.3. Talaş derinliği

Talaş derinliği, talaş kaldırma işleminde üçüncü boyutu göstermekte olup takımın iş parçası içine dikey olarak daldığı mesafedir. İlk çapla son çap arasındaki farkın yarısına eşittir. Genellikle t ile gösterilir (Şahin 2003). Tornalamada talaş kaldırma işlemi, iş parçasından istenen özelliklere göre kaba talaş kaldırma ve son paso işlemleri tatbik edilmektedir. Kaba talaş kaldırmada maksat birim zamanda mümkün olduğu kadar çok talaş kaldırmaktır. Bu yüzden paso derinliği 1-25 mm, devir başına ilerleme 0.05-3 mm arasındadır. Son paso ise, düzgün yüzey elde etmek için yapılır. Kesme hızı arttıkça, yüzey düzgünleşir. Son pasoda paso derinliği 0.1-0.5 mm, devir başına ilerleme 0.05-1.5 mm arasındadır (Anık ve ark. 2000).

3.2. Taguchi Yaklaşımı

Endüstride süreç gelişimi araştırmalarında yapılan deneyleri tasarlamak için, en çok bilgiyi en kısa sürede, en az maliyet ve işgücüyle elde eden çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Deney tasarımı için klasik sayılabilecek bazı yöntemlerin zorlukları, bu konuda yeni çalışmaların yapılmasına neden olmuştur. 1980 ve sonrası özellikle ürün geliştirmede kullanılan Taguchi yöntemi bu çalışmalardan biridir. Yapı olarak klasik kesirli yöntem ve Taguchi yöntemi birbirinden farklıdır. Bu farklılık 3^k sisteminde daha önem kazanmaktadır. Klasik kesirli çok etkenli tasarımda

etkileşimlerin tümü ihmal edilmedikçe ana etkilerin tahminleri hakkında bilgi elde edilmesinin çok zor olduğu söylenmektedir (Montgomery 2001; Hicks 1973). Fakat Taguchi tasarımında dikey dizinin görselliği, sapmanın hangi etkileşim bileşenlerinden kaynaklandığını gösterdiğinden bazı tasarımlar için daha iyi tahminler elde edilebilmektedir.

3.2.1. Taguchi yaklaşımının tarihsel gelişimi

Deney tasarımı, 1920'lerde istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher ayrıca deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan varyans analizi yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem kısa süre içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama düzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır (Şirvancı 1997).

Japonya'nın kalite konusunda yaptığı büyük atılımlarda katkısı olan kişilerden bir tanesi de, özellikle 1940'lardan bugüne kadar kalite konusunda birçok çalışma yapan Dr. Genichi Taguchi'dir. Dr. Taguchi Japonya'da endüstriyel ürün ve proses geliştirmesinde önemli çalışmalar yapmış olan bir mühendistir. Deney tasarımı ile ilgili çalışmaları vardır. Taguchi, Ronald Fisher'in geliştirdiği deney tasarımı yöntemine kattığı yeniliklerle, İkinci Dünya Savaşı sonrasında Japonya'daki en önemli projelerden birisi olan Japon telefon sisteminin geliştirilmesi projesinde yaptığı çalışmalardaki başarısıyla adını dünyaya duyurmuştur. Projenin amacı ABD'deki AT&T Bell telefon şirketinin laboratuvarlarında kullanılan iletişim sistemin aynısının Japonya'da kurulmasıydı. Ancak Nippon telefon ve telgraf araştırma merkezinin büyüklüğü AT&T'nin % 2'si kadar olduğundan projenin bitirilmesinin yaklaşık 20 yıl süreceği tahmin ediliyordu. Dr. Taguchi robust tasarım ve kesirli faktöriyel tasarım yöntemlerinin kullanılmasını önererek projenin sadece 4 yılda bitirilmesini sağlamıştır. Robust tasarımı geliştiren ve birçok ürünün geliştirilmesinde kullanan Taguchi 1962'de kalite alanındaki en önemli ödüllerden biri olarak kabul edilen Deming ödülüne layık görülmüştür (Şanyılmaz 2006).

Deney tasarımı daha sonra kimya ve ilaç sektörlerinde de uygulanmış olmasına rağmen imalat sektöründeki uygulamaları 1970'lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır. Amerika'da imalat sektörü, 1980'lerin başında deney tasarımını Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetmiştir. Deney tasarımı, o tarihlerde Japonya'da Profesör Genichi Taguchi önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmaktaydı. Taguchi, deney tasarımına kuramsal yenilikler getirmemiştir. Ancak klasik deney tasarım yöntemleri kullanımları endüstriyel şartlar altında verimli ve sağlıklı olmayan yaklaşımlardır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da çok hızlı şekilde artmaktadır. Genichi Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği artıracak bir çözüm getirmiştir (Şirvancı 1997).

3.2.2. Kalite felsefesi

Japonya'da Toplam Kalite anlayışının gelişmesinde önemli katkılara sahip olan Kaoru Ishikawa Japonya'da gelişen kalite hareketinde, kalite denetim çabalarının evriminde üç aşama olduğunu belirtmektedir. Bunlar, geleneksel muayene, istatistiksel kalite denetimi, ürün ve süreç tasarımıdır (Ishikawa 1984).

Ürün ve süreç tasarımında kalitenin geliştirilmesi konusunda en önemli katkıyı yapan Genichi Taguchi Taguchi'nin kalite felsefesi yedi noktada özetlenebilir (Kackar 1986):

1. Ürün kalitesinin önemli bir boyutu, o ürünün kalitesizliğinin toplumda yol açabileceği toplam kayıp olarak ifade edilebilir.
2. Rekabetçi bir ekonomide işletmenin varlığını sürdürebilmesi için kaliteyi sürekli olarak geliştirmesi ve maliyetleri düşürmesi gereklidir.
3. Sürekli kalite geliştirme programları, ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmalarının kayda değer miktarda azaltılmasını içermelidir.
4. Ürün performansındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ve müşterilerin katlandığı kayıp, yaklaşık olarak, performans karakteristiğinin hedef değerden sapmasının karesi ile doğru orantılıdır.

5. Ürünün nihai kalite ve maliyeti, önemli oranda ürünün ve imalat sürecinin mühendislik tasarımları tarafından belirlenir.

6. Ürün veya sürecin performans varyansı, ürün ve süreç parametrelerinin performans karakteristikleri üzerindeki eğrisel etkileri giderilerek azaltılabilir.

7. İstatistiksel olarak planlanmış deneyler performans varyansını azaltan ürün veya süreç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

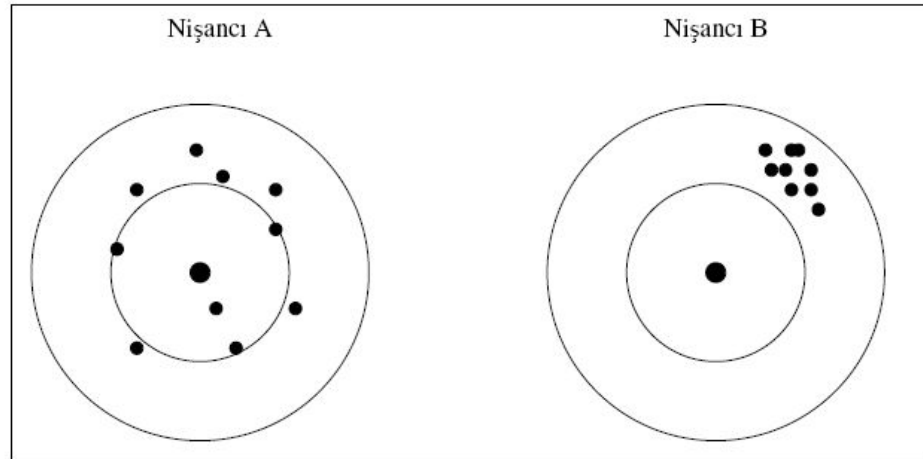
3.2.3. Kayıp fonksiyonu

Taguchi kaliteyi, ürünün yeterli bir kalite düzeyine ulaşmaması durumunda uğradığı kayıp olarak tanımlamaktadır. Bu kayıp müşterinin memnuniyetsizliği, yenileme veya tamir maliyetleri, pazardaki imaj kaybı ve pazar payı kaybı olarak ifade edilebilir. Taguchi oldukça istatistiksel olan yaklaşımına bağlı kalarak, bir ürünün yalnızca spesifikasyonlara uymaması durumunda değil, aynı zamanda bir hedef değerden sapması durumunda da bu kaybın ortaya çıkacağını ifade etmektedir. Kalite kaybı, bir ürün teslim edildikten sonra topluma yüklenen bir kayıptır. Bu toplumsal kayıp bir ürünün istenilebilirliğini belirler. Burada kaybın az olması ürünün istenilebilirliğini artırır. Taguchi için toplumsal kayıp kalite maliyetine ilişkin kararları etkiler. Diğer bir deyişle, kalite geliştirme için yapılan yatırımlar, yalnızca işletmede değil, toplumda yaratacağı tasarruflarla karşılaştırılmalıdır. Sonuçta, toplum işletmeyi toplumda sağlayacağı tasarruflara bakarak ödüllendirecek veya cezalandıracaktır (Schonberger ve Knod 1991).

Ford Şirketi'nin 1980'lerdeki bir deneyimi, parça üretiminde hedef değerden sapma sonucunda oluşan değişkenliğin, işletmeye parasal kayıp olarak döndüğünü ortaya koymuştur. Ford Şirketi, imal etmekte olduğu otomobillere şanzıman üretmek üzere iki ayrı firmaya sipariş vermiştir. Tedarikçi firmalardan biri Ford Şirketi'nin A.B.D.'deki kendi üretim tesisi, diğeri ise Japon Mazda firmasıdır. Her iki firma da şanzımanları, Ford'un spesifikasyonlarına uygun olarak üretip teslim ederler. Garanti süresi içinde şanzıman sorunlarından kaynaklanan garanti talepleri ortaya çıkar. Ford yetkilileri sorunlu şanzımanları üretici firmaya göre sınıflandırdıklarında, A.B.D. firmasının ürettiği parça grubunun sayısal olarak diğerdinden birkaç kat daha fazla olduğunu görürler. Bunun üzerine parçaların bazı kritik performans değerlerinin

olasılık dağılımlarını hesaplarlar. Burada her iki firmanın ürettiği parçaların performans ortalamaları aynı olmakla birlikte, A.B.D. firmasının parçalarının performanslarının standart sapması, dolayısıyla varyansı Mazda'ninkilerden daha fazladır. Bu durumda A.B.D. firmasının parçaları daha sık arıza yapıp Ford'un maliyetlerini arttırmaktadırlar (Gunter 1987).

Kayıp fonksiyonu çeşitli şekillerde yorumlanabilir. Örneğin kaybın azaltılması için varyansının azaltılması gerekmektedir. Ayrıca, kaybın azaltılması için ürün ve sürecin sürekli olarak iyileştirilerek hedeften sapmaların azaltılması gerekir. Yalnızca spesifikasyonları karşılamak kalitenin zayıf bir göstergesidir. Kalite ölçütü öngörülen hedeften uzaklaştıkça performans da buna bağlı olarak aşınmaktadır. Önemli olan spesifikasyonlar karşılandığı halde varyansın azaltılmasıdır (Barker 1986).



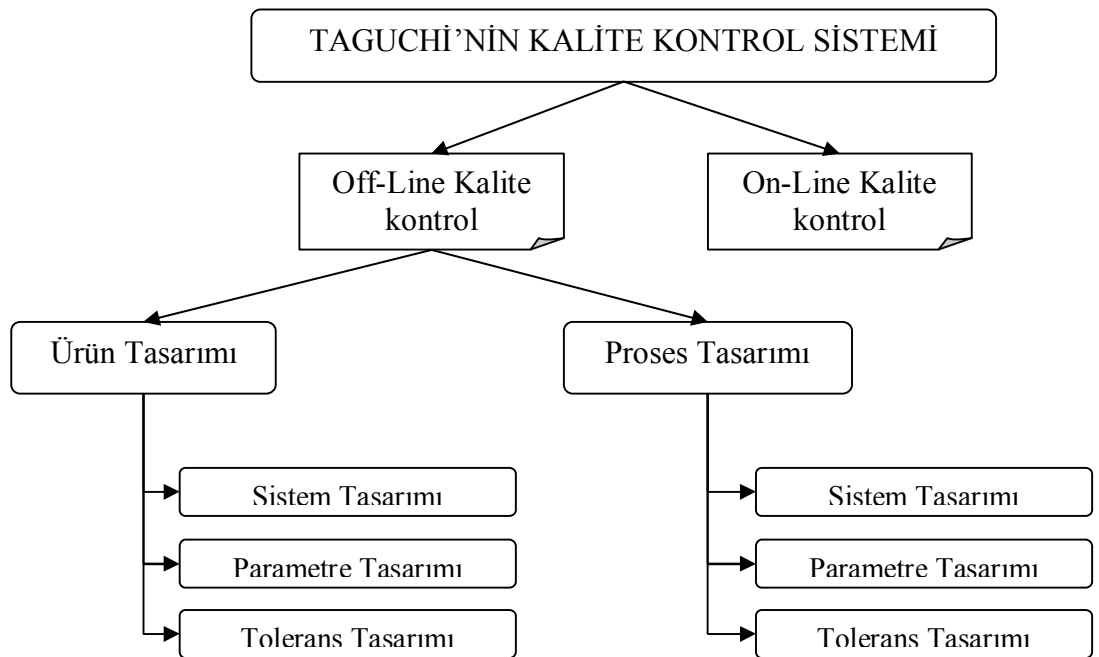
Şekil 3. 3. Kim Daha İyi Nişancı (Şirvancı 1997)

Üretim sürecindeki varyasyonu gidermenin zor bir konu olduğunu belirtmek için Taguchi, bir makalesinde daha önce başka yazarlar tarafından da kullanılan Şekil 3.3'de verilen şemayı "Kim Daha iyi Nişancı?" başlığı altında vermiştir (Şirvancı 1997). Bu örnekte her iki nişancı da onar atış yaparlar. Nişancı A'nın ortalama pozisyonu hesaplanırsa, ortalama hedefte ya da hedefe çok yakın olduğu görülür. Diğer yandan, nişancı B'nin ortalaması hedeften çok uzaktadır; ancak atışları çok tutarlıdır. Her iki nişancı için de varyasyon hesaplandığında, nişancı B'nin

varyasyonunun çok daha az olduğu görülecektir. B'nin atışlarını bir ayarla düzeltmek mümkünken, belki de A hiçbir zaman iyi bir nişancı olamayacaktır (Bayraktar 2007).

3.2.4. Taguchi'nin üretim/kalite sistemi ve deney tasarımı

Kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetler Taguchi tarafından On-line ve Off-line olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Deney tasarımı, Taguchi'nin kalite sisteminde, off-line kalite kontrol içinde, ürün ve proses tasarımı aşamalarında kullanılmaktadır. Bu durum Şekil 3.4.'de gösterilmiştir (Kayı 2006).



Şekil 3. 4. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi (Kayı 2006)

Off-line (Çevrim Dışı) kalite kontrol, pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır (Şirvancı 1997).

On-Line (Çevrim İçi) kalite kontrol ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası örneğinin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses

kontrolü ve çeşitli muayeneler on-line kalite kontrol faaliyetlerindedir (Şirvancı 1997).

Üretim boyunca değişkenliğe sebep olan ve böylelikle ürün kalitesini etkileyen kaynakları genel olarak şu şekilde tanımlanabilir (Kasap 2006):

• Malzemedен (ham ve yardımcı malzeme) ve satın alınan ekipmandan kaynaklanan değişkenlikler,

• İş akışından, kullanılan teçhizat, makine arızalarından v.b. kaynaklananlar,

• Yöneticilerden ve personelden kaynaklananlar,

• Üretim sürecinden kaynaklanan değişkenlikler.

Tablo 3.1'de çevrim içi ve çevrim dışı kalite bileşenleri ve içerikleri gösterilmiştir (Kasap 2006).

Tablo 3. 1. Çevrim İçi ve Çevrim Dışı Kalite Bileşenleri ve İçerikleri (Kasap 2006)

ÇEVİRİM DIŞI KALİTE KONTROL	1. Aşama Ürün Tasarımı	<u>Konular</u> 1. Müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin belirlenmesi 2. Müşteri ihtiyaç ve beklentisini karşılayacak ve aynı zamanda sürekli ve ekonomik olarak imal edilebilecek ürünün tasarımı	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Sistem Tasarımı 2. Parametre Tasarımı 3. Tolerans Tasarımı
	2. Aşama Süreç Tasarımı	<u>Konu</u> İmatlar için açık ve yeterli standart spesifikasyon, yöntem, üretim araçlarının tasarımı	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Sistem Tasarımı 2. Parametre Tasarımı 3. Tolerans Tasarımı
ÇEVİRİM İÇİ KALİTE KONTROL	1. Aşama Üretim	<u>Konu</u> Ürünün, daha önce ürün tasarımı ve süreç tasarımı aşamalarında belirlenen standart ve spesifikasyonlara göre üretilmesi	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Süreç Teşhisi 2. Ayarlama 3. Muayene ve ıskartaya ayırma
	2. Aşama Müşteri ilişkileri	<u>Konu</u> Müşteriye servis hizmetinin verilmesi ve ürünün kullanımı sırasında çıkan problemlerle ilgili bilginin, ürün ve süreç tasarımının gelişmesi için kullanımı	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Tamir, değiştirme 2. Geri besleme bilgisi 3. Ürün, süreç spesifikasyon dizaynının değiştirilmesi

Taguchi'nin kalite felsefesini aşağıda belirttiğimiz üç madde ile özetlemek mümkündür. Bu şekilde özetlemek ülkemizde sıkça kullanılmayan bu tekniğin anlaşılmasını da kolaylaştıracaktır.

- Kalite, muayene ile değil, ürünün tasarımında gerçekleştirilecektir,

- Kalitenin en iyi şekilde elde edilmesi, kalite karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmalarının minimize edilmesi ile gerçekleşir. Ürün, kontrol edilemeyen çevresel faktörlerden etkilenmeyecek şekilde tasarlanmış olmalıdır,

- Kalitenin maliyeti, nominal değerlerden sapmaların bir fonksiyonu olarak ölçülmelidir. Kayıplar sistem içerisinde ölçülebilir olmalıdır.

Taguchi, çevre, makine, teçhizat ve diğer dış faktörlerin günlük ve mevsimsel değişkenlerine duyarsız (sağlam) üretim-kalite sistemini geliştirmiştir. Yukarıda belirtilen üç prensip, bu sistemlerin geliştirilmesi, üretim parametrelerinin belirlenmesi ve üretim kalitesine etki eden faktörlerin etkilerinin test edilmesine yardımcı olmuştur (Çay 2006).

Taguchi tasarım kavramını, kalite sağlama aşaması olarak hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için üç kalite aşaması biçiminde tanımlamıştır. Bunlar, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı aşamalarıdır (Noori ve Radford 1995).

3.2.5. Sistem tasarımı

Sistem tasarımı metodun ilk aşamasıdır. Bu aşamada tasarımcı tarafından yapıların değişimi incelenir, bir ürünün istenen fonksiyonları elde edebilmesi için teknolojiler tasarlanır ve ürün için en uygun olan bir tanesi seçilir. Üretilmesi düşünülen ürünle ilgili; pazarın tanımlanması, buluşların değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Ayrıca burada malzeme alımında, ürün ağacındaki parçaların özelliklerinin iyileştirilmesinde bir takım kararlar verilir. Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının yatırıma dönük aşaması da denilebilir. Burada temel amaç, üretim aşamasında, spesifik limitler ve toleranslar dahilinde en düşük maliyetle, mamul üretimini gerçekleştirmektir. Bunun için pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir (Kayı 2006).

3.2.6. Parametre tasarımı

Nihai ürünlerdeki varyansa en fazla katkıda bulunan faktörler belirlenir. Mühendislik tasarımlarının varyansın kaynaklarına duyarlılığını, diğer bir deyişle topluma vereceği beklenen zararı minimize eden değerleri belirlemek için bir dizi deneyler yapılır.

Ürün parametre tasarımı, ürün parametrelerinin malzeme (çelik, lastik, kağıt, plastik vb.) formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi optimal değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Parametre tasarımında amaç, üründe ortaya çıkabilecek varyansları enaza indirerek ürünün hem imalat hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktır (Şirvancı 1997)

Proses parametre tasarımı, kontrol edilebilen imalat süreç parametreleri (hat hızı gibi çeşitli hızlar, fırın sıcaklığı gibi çeşitli sıcaklıklar, çeşitli basınçlar ve çeşitli süreler) için optimal düzey ve ayarların belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır.

Her iki parametre tasarımında da amaç, üründe ve süreçte varyansın (hedef değerden sapmanın, yani kalitesizliğin) minimize edilmesidir. Parametre tasarımı aşamasında gürültü faktörlerine karşı kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal olacak şekilde belirlenmesi, ürün ve süreçteki varyansı minimuma indirebilir. Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımına robüst tasarım demektedir. Burada robüst, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin, nem, toz, ısı, yol durumu gibi çevre koşullarına, müşterilerin bu ürünü kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemelerdeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve süreç anlamında kullanılmaktadır. Bir ürün veya sürecin robüslüğü, bu ürün veya sürecin performansı ve kontrol edilemeyen faktörlerin bu performansı etkilemesi açısından tanımlanmaktadır (Snee 1993). Taguchi gürültü faktörlerinin kalite üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ya da ortadan kaldırmak, bir başka deyişle robüst tasarıma ulaşmak için deney tasarımı uygulamasını önermiştir.

3.2.7. Tolerans tasarımı

İkinci aşamadaki hedef tasarım parametre değerleri için kabul edilebilir toleranslar belirlenir. Bu aşamada tasarım toleransları uygulamaya konulur.

Parametre tasarımıyla elde edilen azaltılmış değişkenlik yeterli değilse tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımı aşamasında, varyansları, çıktı değişimlerinde büyük etkiye yol açan ürün parametreleri ile süreç faktörleri toleranslarının daraltılmasına çalışılır. Tolerans tasarımı, daha iyi derece malzeme, parça, makine alımı için para harcayarak gerçekleştirilebilir.

Taguchi yaklaşımında sistem ve parametre tasarımı bir yandan daha yüksek kalite elde ederken aynı zamanda maliyetleri düşürme olanağı sağlamaktadır. Tolerans tasarımı ise daha yüksek kalite için daha yüksek maliyetlere katlanmayı zorunlu kılmaktadır (Gunter 1987). Bu nedenle Taguchi yaklaşımında sistem tasarımı ve özellikle parametre tasarımının önemi çok fazladır.

3.2.8. Ürün ve proses performansını etkileyen faktörler

Deney tasarımı daha önce geliştirilmiş olmasına rağmen, bu kavramı ürün performansındaki varyansın azaltılması için ilk uygulayan kişi Taguchi olmuştur. Taguchi, deney tasarımının kullanımının şu noktalarda önemli olduğunu belirtmiştir (Box ve ark. 1987).

- Ortalama ya da hedef değerden olacak varyansın minimize edilmesi,
- Çevre koşullarına karşı robüst ürün üretilmesi,
- Parçalardaki varyansa karşı duyarlı olmayan ürünlerin üretilmesi.
- Ürünlerin ömür uzunluğu konusunda yapılan testler.

Bunlardan ilk üç tanesi Taguchi'nin parametre tasarımı adını verdiği kategorilerdir. Taguchi deney tasarımında, ürün ya da sürecin performans karakteristiğini etkileyen faktörleri şu şekilde belirlemektedir (Logothesis 1992).

1. Kontrol edilebilen faktörler (tasarım faktörleri): bunlar değerleri tasarım ya da süreç mühendisi tarafından kolayca belirlenebilen faktörlerdir.

2. Kontrol edilemeyen faktörler (gürültü faktörleri): bunlar çoğu kez üretim ortamı ile ilişkili olan varyansın kaynaklarını oluştururlar. Genel performansı, ideal olarak, bunlardaki varyansa duyarlı olmamalıdır.

Kontrol edilebilen faktörler kendi içinde üçe ayrılmaktadır:

1. Sinyal faktörleri (hedef kontrol faktörleri): Bunlar söz konusu olan ortalama tepki düzeyini etkileyen faktörlerdir.

2. Varyans kontrol faktörleri: Bunlar tepkideki varyansı etkileyen faktörlerdir.

3. Maliyet faktörleri: Bunlar ortalama tepkiyi ya da varyansı etkilemeyen ve ekonomik koşullara göre belirlenen faktörlerdir.

Taguchi yaklaşımıyla geleneksel tolerans yöntemleri ya da muayeneye dayalı kalite denetimi arasındaki fark, Taguchi yaklaşımında varyansa verilen bu önemdir. Burada amaç, bir yandan hedef kontrol faktörlerinde yapılan ayarlamalar yoluyla gerekli ortalama performans sürdürülürken, diğer yandan varyans kontrol faktörlerinde değişikliğe gidilerek varyansın azaltılmasıdır.

Tasarım parametrelerinin belirlenmesi için yapılan deneyin amacı gürültü faktörlerinin performans karakteristiği üzerindeki etkisini minimize eden tasarım parametreleri değerlerini belirlemektir. Bu işlem,

1. Deneyde tasarım parametreleri değerlerini sistematik olarak değiştirme yoluyla,

2. Her bir deney için gürültü faktörlerinin etkisini karşılaştırarak gerçekleştirilir. Parametre tasarımı deneyi iki bölümden oluşur: tasarım parametre matrisi ve gürültü faktörleri matrisi (Kackar 1986).

Parametre matrisi ürün ya da süreçten sorumlu mühendisin seçtiği değerlerden oluşur. Bu değerler ürünün ya da sürecin tasarım spesifikasyonlarını belirler. Tasarım parametre matrisinin sütunları tasarım parametrelerini, satırları ise test değerlerinin farklı bileşimlerini ifade eder. Gürültü faktörleri ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmasına neden olan değişkenlerdir. Gürültü faktörleri matrisi gürültü faktörlerinin test değerlerini belirler. Bu matrisin sütunu ise gürültü faktörlerini, satırları ise gürültü düzeylerinin değişik bileşimlerini ifade eder. Deneyin tamamı tasarım parametreleri ile gürültü faktörleri matrisinin bileşiminden oluşur. Her deneyde tasarım parametreleri matrisi gürültü faktörleri matrisinin tüm satırlarıyla karşılaştırılır.

Taguchi tasarım parametreleri ve gürültü faktörleri matrisini oluşturmak için ortogonal dizinin kullanılmasını önermektedir. Ortogonal dizin tasarım parametrelerinin değişik sayıdaki değerlerinin belirlenmesini sağlar. Ayrıca karşılıklı olarak çift dengeleme özelliği nedeniyle deneme sayılarını minimize eder (Kackar 1985). Örneğin otomobil direksiyonunun geliştirilmesinde mühendisler bu ürünün performansını etkileyen 13 adet kritik tasarım değişkenini belirlemişlerdir. Bu örnekte mühendislerin her bir değişken için karşılaştırma amacıyla standart, düşük ve

yüksek değer belirlemeleri durumunda, 1594323 adet deney alternatifi söz konusu olacaktır. Ancak Taguchi her seferinde tek bir değişken yerine, ortogonal dizini kullanarak bu deney sayısını 27'ye düşürülmüştür. Böylece deneyleri yaparken bazı faktörleri aynı anda değiştirme yoluna gitmiştir. Böylece faktörlerin ortalama etkilerini belirlemede az sayıda deney yeterli olmaktadır. Direksiyon örneğinde yaklaşık 1.5 milyon deney yerine sadece 27 deney yeterli olmuştur (Taguchi ve Clausing 1990) .

Performans karakteristiklerinin yukarıdaki şekildeki gibi sürekli olması durumunda performans istatistiği adı verilen bir ölçütü hesaplamak için tasarım parametreleri matrisinin her bir deneyinden elde edilen çoklu gözlemler kullanılır. Hesaplanan performans istatistik değerleri tasarım parametrelerinin değerlerine ilişkin daha iyi tahminlerin elde edilmesinde kullanılır. Taguchi performans istatistiği ölçütü olarak sinyal-gürültü oranının kullanmasının gerekliliğini de ileri sürmüştür (Byrne ve ark. 1987). Sinyal, ürünün (ya da unsurlarının veya alt montajın) bize vermeye çalıştığı şeydir. Gürültü ise sinyali olumsuz olarak etkileyen müdahalelerdir. Bunlar bazen ürünün bünyesinde yer alan unsurlardan ya da dışarıdan gelen müdahalelerdir. Örneğin Sony Şirketinin mühendisleri televizyonu tasarlarken, verici istasyonun çok uzağında, şimşeklerin çaktığı bir sırada, aynı anda mutfak robotunun çalıştığı, hatta elektrik voltajının düştüğü zamanlarda bile müşterilerin iyi görüntü veya “sinyal” vermeyi sürdüren bir tasarımı arzu edeceklerini düşünmüşlerdir. Karlanan ya da diğer rahatsız edici “gürültüleri” üreten TV alıcılarını benimsemeyeceklerdir. Müşteriler televizyonun sesini her açtıklarında görüntü kötüleşirse bundan dehşete düşeceklerdir. Bu yüzden robüslüğün, yüksek sinyal/gürültü oranı olarak tanımlanması akla uygundur (Taguchi ve Clausing 1990). S/N oranı belirlenen kontrol faktörleri düzeyinde fonksiyonun robüslüğünü değerlendirir. Parametre tasarımının amacı kayıpları azaltarak robüslüğü arttırmaktır. Bu oran aynı zamanda hedef performans civarındaki varyansı da ölçer. S/N oranı varyansa neden olan kontrol edilemeyen faktörlerin mevcut olması durumunda performansın istikrar ve güvenilirliğini ölçer (Eureka ve Ryan 1995).

S/N oranı ile hem ortalama, hem de ortalamanın etrafındaki değişkenlik kontrol edilebilmektedir. Ortalama dikkate alınmadığında varyans tek başına bir anlam taşımayacağından S/N oranı bulunurken dikkat edilmesi gereken nokta,

ortalama ve varyansın aynı anda kontrol edilmesidir. Kontrol edilemeyen faktörleri tam olarak ölçmek çok zor veya imkânsız olduğundan Taguchi S/N oranını hesaplariken, kayıp fonksiyonunda olduğu gibi yaklaşık fonksiyonlar kullanılmaktadır. S/N oranının yapısına (sürekli veya kesikli oluşuna ve statik veya dinamik oluşuna) göre farklı S/N oranları vardır (Şanyılmaz 2006).

Taguchi'nin performans karakteristiğinin olması istenilen durumlarına göre geliştirdiği S/N oranları içerisinde en fazla kullanılan 3'ü aşağıda verilmektedir (Şanyılmaz 2006).

- Performans karakteristiğinin “Hedef değer en küçük” olduğu durumda (gürültü, zararlı maddeler, kirlenme vb.). Bu tür problemlerde, performans karakteristiği y'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda Sinyal/Gürültü oranı eşitlik 3.4'de verildiği gibi tanımlanabilir.

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (3.4)$$

- “Hedef değer en büyük”; (güç, mukavemet vb.). Bu durumda y'nin hedef değeri sonsuzdur ve Sinyal/Gürültü oranı eşitlik 3.5'de ki gibi tanımlanır.

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (3.5)$$

- “Hedef değer En iyi” (ürün boyutları, elektrik voltajı vb.). Bu tür problemlerde, y için belli bir hedef değer verilmiştir ve Sinyal/Gürültü oranı eşitlik 3.6'da ki gibi tanımlanır.

$$S/N = 10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2}\right) \quad (3.6)$$

Yukarıda S/N oranları için belirtilen eşitliklerde “y” performans karakteristiği değerini, “s²” ise varyansı ifade etmektedir.

3.2.9. Deney tasarım adımları

Taguchi Deney Tasarımı tekniğine göre yapılacak bir çalışmada izlenecek adımlar aşağıdaki şekildedir;

1. Faktör ve etkileşimlerinin belirlenmesi,
2. Her bir faktör için seviye sayısının belirlenmesi

3. Ortogonal düzenin seçimi
4. Ortogonal düzene göre faktör ve seviyeleri ile etkileşim
5. Deneyleerin yapılması
6. Deney sonuçların analizi.
7. Etkili parametrelerin önerilmesi

3.3. Deneysel Çalışma

3.3.1. Kullanılan tezgâh, takım, cihaz ve malzemeler

Çalışmada, hidrolik silindirin bir parçası olan SAE 1040 çelik malzemeden oluşan piston parçası TOP TURN CNC S20 torna tezgâhında işlenmiş ve yüzey pürüzlülüğü Mitutoyo SJ 201 ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Tornalanan malzeme ve kullanılan kesici takımın cinsine göre elde edilen yüzey pürüzlük değerleri Taguchi Metodu ve Varyans Analizi ile değerlendirilerek makine devri, ilerleme hızı, talaş derinliği ve kesici takım parametreleri için optimum değer belirlenmiştir. Tablo 3.2’de deneyde kullanılan malzemenin analiz sonucu verilmiştir.

Tablo 3. 2. SAE 1040 Çeliğin Teknik Özellikler

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Fe
% miktarı	0.39	0.18	0.73	0.016	0.017	0.10	0.13	0.09	0.02	98,32

Tablo 3.3’de deneyde kullanılan TOP TURN CNC S-20 tezgahının teknik özellikleri ve Şekil 3.5’de TOP TURN CNC S-20 tezgahının fotoğrafı verilmiştir.

Tablo 3. 3. TOP TURN CNC S-20 Tezgahı Teknik Özellikleri

Özellik	Birimi	Ölçü
Ayna ölçüsü	inch	8"
Maksimum Çevirme Çapı	mm	560
Maksimum Tornalama Çapı	mm	280
Maksimum Tornalama Boyu	mm	600
Merkezler Arası Mesafe	mm	800
Kızak Tipi		Lineer
X Eksen Hareketi	mm	200
Z Eksen Hareketi	mm	730
X, Z Eksen Hızlı Hareketleri	m/dk	20
Hidrolik Taret İstasyonu	adet	10
Çubuk Kapasitesi	mm	52
Punta		MT.No.1
Punta Çapı	mm	70
Punta Hareketi	mm	540
Soğutma Tank Kapasitesi	litre	65
Hidrolik Tank Kapasitesi	litre	60
Soğutma Pompası	hp	1/4
Makine Ölçüleri	mm	2700x1700
Makine Yüksekliği	mm	1710
Makine Ağırlığı	kg	4200

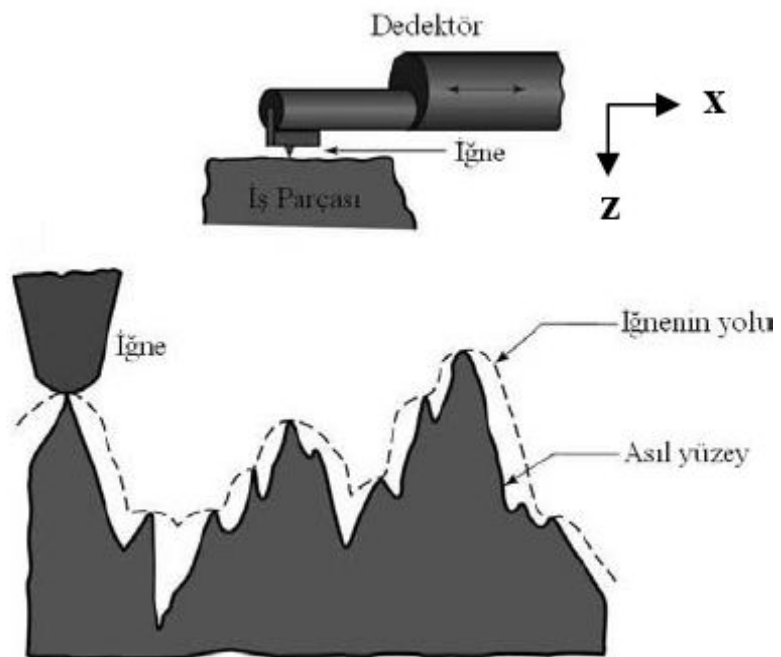


Şekil 3. 5. Çalışmada Kullanılan TOP TURN CNC S-20 Tezgahı

Mitutoyo SJ 201 ölçme cihazı ile düz ve silindirik gibi farklı yüzey şekline sahip parçaların yüzey pürüzlülük değerlerini ölçerken, elmas uçlu iğnenin bulunduğu dedektör kısmı, sürücü ünitesine vidalar ile monte edilebilen burun parçaları ile ölçülen yüzeye teğet konuma getirilir. Destek ayakları kullanılarak sürücü ünitesinin ölçülen yüzeye paralel olması sağlanır. Cihazın kalibrasyonun yapılabilmesi için yüzey pürüzlülüğü belirli olan hassas kalibrasyon numunesi bulunmaktadır. Dedektör, sürücü ünitesine bağlıdır, bir motor vasıtasıyla yatay olarak iş parçası üzerinde ileri-geri hareketini yapar. Dedektörün parça üzerindeki yatay hareketi esnasında yüzey üzerindeki pürüzlüklere değen dedektöre bağlı elmas uçlu iğnenin dikey hareketinin oluşturduğu mekanik sapmaların sürücü ünitesi tarafından elektrik sinyallerine çevrilip yükseltilmesi ve verilere göre filtrelenmesine, yüzey pürüzlülük parametrelerinin hesaplanmasına, ekranda gösterilmesini sağlar. Şekil 3.6’da Mitutoyo SJ 201 ölçme cihazının fotoğrafı ve Şekil 3.7’de Mitutoyo SJ 201 ölçüm cihazının izlediği yol verilmiştir.

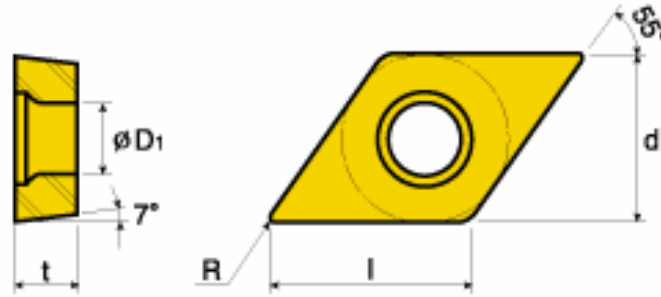


Şekil 3. 6. Deneyde Kullanılan Mitutoyo SJ 201 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Cihazı



Şekil 3. 7. Mitutoyo SJ 201 Ölçme Cihazı İlerleme Şekli

Deneyde 4 farklı kesici takım kullanılmaktadır. Bunlar DCMT 11T304 PV3010, DCMT 11T308 PV3010, N123H2-0400-0004-GF 4125 ve N123H2-0400-0004-GF 1125 olarak belirlenmiştir. DCMT kesici takımların genel görünüşü Şekil 3.8’de verilmiştir (Anonim 2005).



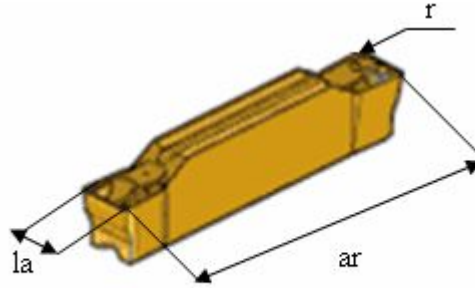
Şekil 3. 8. Deneyde Kullanılan DCMT Kesici Takımların Genel Görünüşü
(Anonim 2005)

DCMT 11T304 PV3010 ve DCMT 11T308 PV3010 kesici takımların teknik özellikleri Tablo 3.4’de verilmiştir (Anonim 2005).

Tablo 3. 4. Deneyde Kullanılan DCMT Kesici Takımların Teknik Özellikleri
(Anonim 2005)

Uç Adı	l (mm)	d (mm)	t (mm)	R (mm)	Ø D ₁ (mm)
DCMT 11T304 PV3010	11.2	9.52	3.97	0.4	4.4
DCMT 11T308 PV3010	10.8	9.52	3.97	0.8	4.4

N123H2 kesici takımların genel görünüşü Şekil 3.9’da verilmiştir (Anonim 2007),



Şekil 3. 9. Deneyde Kullanılan N123H2 Kesici Takımların Genel Görünüşü
(Anonim 2007)

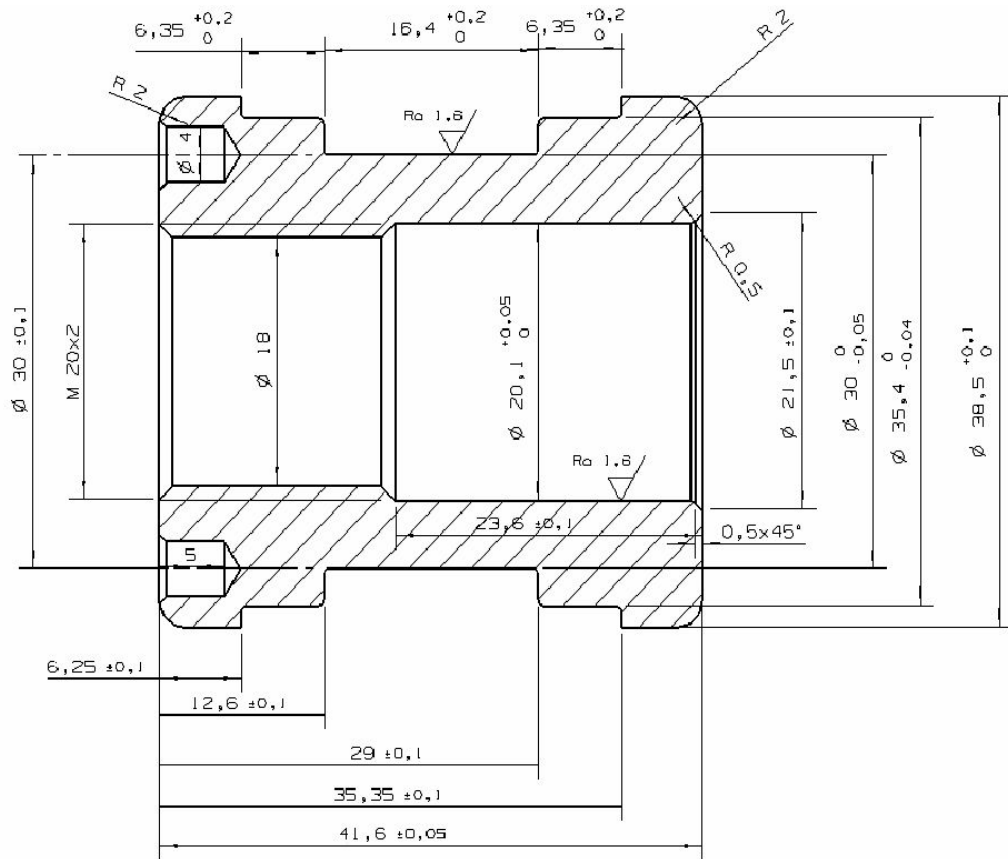
N123H2-0400-0004-GF 4125 ve N123H2-0400-0004-GF 1125 kesici takımların teknik özellikleri Tablo 3.5’de verilmiştir (Anonim 2008)

Tablo 3. 5. Deneyde Kullanılan N123H2 Kesici Takımların Teknik Özellikleri
(Anonim 2008)

Uç Adı	l_a (mm)	a_r (mm)	r (mm)	Kaplama Cinsi
N123H2-0400-0004-GF 4125	4	24.4	0.4	Sermet
N123H2-0400-0004-GF 1125	4	24.4	0.4	Sermet+TiAlN

3.3.2. Deneyin yapılışı

Deneyler hidrolik silindir imalatı yapan bir işletmede yürütülmüştür. Deneyde Ø 40 çapında ve 45 mm uzunluğundaki SAE 1040 malzemeler temin edilmiştir. Şekil 3.10’da deneyde işlenecek piston parçasının teknik resmi verilmiştir.



Şekil 3. 10. Deneyde İşlenen Piston Parçası Teknik Resmi

Deney iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm piston parçasının iç çapı ile ilgili iç çap deneyi, ikinci bölüm ise pistonun dış çapındaki kanal ile ilgili kanal deneylerinden oluşmaktadır. Her iki deney yapılırken Şekil 3.10'da gösterilen parça resmine göre CNC program kodları yazılmış ve programda belirtilen kriterler doğrultusunda kesici uçlar katerlere bağlanmıştır. Malzemeler tezgâh aynasına bağlanarak komparatör saati yardımı ile tezgâh tablasına paralel olacak şekilde konumlandırılmıştır. Her bir deney grubunda kesici uç değiştirilerek deney şartları eşit olması sağlanmıştır. Parametrelere ilişkin seviye değerleri literatür, katalog ve deneyimler sonucu belirlenmiştir. Deney sırasında kesici uçların ısınması nedeniyle tezgâhta soğutma sıvısı kullanılmıştır. Deneyler yapıldıktan sonra işleme yüzeyine dik olacak şekilde yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçüm yapılarak yüzey pürüzlülük değerleri not alınmıştır.

3.3.2.1. İç çap deneyinin yapılışı

İç çap deneyinde makine devri, ilerleme hızı, talaş derinliği ve kesici takım olmak üzere dört farklı parametre ve iki farklı seviye belirlenmiştir. Makine devri en düşük 1250 dev/min en yüksek 2000 dev/min olarak belirlenmiştir. İlerleme hızı en düşük 0.08 mm/min ve en yüksek 0.13 mm/min olarak belirlenmiştir. Talaş derinliği en düşük 0.1 mm ve en yüksek 0.2 mm olarak belirlenmiştir. Birinci kesici takım olarak DCMT 11T304 PV3010 ve ikinci kesici takım olarak ta DCMT 11T308 PV3010 seçilmiştir. Tablo 3.6'da iç çap deneyi kesme parametreleri verilmiştir.

Tablo 3. 6. İç Çap Deneyi Kesme Parametreleri

Kesme Parametresi	Seviye 1	Seviye 2
Makine Devri (dev/min)	1250	2000
İlerleme Hızı (mm/min)	0.08	0.13
Talaş Derinliği (mm)	0.1	0.2
Kesici Takım	DCMT 11 T 304 PV 3010	DCMT 11 T 308 PV 3010

Dört farklı kesme parametresi ve iki farklı seviye için kullanılan standart L_{16} parametre dizisi Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3. 7. Standart L₁₆ Ortogonal Dizi

Deney No	Makine Devri	İlerleme hızı	Talaş Derinliği	Takım	Yüzey Pürüzlülüğü
1	1	1	1	1	-
2	1	1	1	2	-
3	1	1	2	1	-
4	1	1	2	2	-
5	1	2	1	1	-
6	1	2	1	2	-
7	1	2	2	1	-
8	1	2	2	2	-
9	2	1	1	1	-
10	2	1	1	2	-
11	2	1	2	1	-
12	2	1	2	2	-
13	2	2	1	1	-
14	2	2	1	2	-
15	2	2	2	1	-
16	2	2	2	2	-

İç çap deneyi için belirlenen kesme parametreleri ve seviyelerine göre hazırlanan L₁₆ parametre dizisi Tablo 3.8’de verilmiştir. Her bir deney grubundan 4 adet malzeme olmak üzere toplam 64 adet malzeme işlenmiştir.

Tablo 3. 8. İç Çap Deney Parametreleri için Hazırlanmış L₁₆ Ortogonal Dizi

Deney No	Makine Devri (dev/min)	İlerleme Hızı (mm/min)	Talaş Derinliği (mm)	Kullanılan Takım	Kodlama
1	1250	0.08	0.1	DCMT 11 T 304 PV 3010	1111
2	1250	0.08	0.1	DCMT 11 T 308 PV 3010	1112
3	1250	0.08	0.2	DCMT 11 T 304 PV 3010	1121
4	1250	0.08	0.2	DCMT 11 T 308 PV 3010	1122
5	1250	0.13	0.1	DCMT 11 T 304 PV 3010	1211
6	1250	0.13	0.1	DCMT 11 T 308 PV 3010	1212
7	1250	0.13	0.2	DCMT 11 T 304 PV 3010	1221
8	1250	0.13	0.2	DCMT 11 T 308 PV 3010	1222
9	2000	0.08	0.1	DCMT 11 T 304 PV 3010	2111
10	2000	0.08	0.1	DCMT 11 T 308 PV 3010	2112
11	2000	0.08	0.2	DCMT 11 T 304 PV 3010	2121
12	2000	0.08	0.2	DCMT 11 T 308 PV 3010	2122
13	2000	0.13	0.1	DCMT 11 T 304 PV 3010	2211
14	2000	0.13	0.1	DCMT 11 T 308 PV 3010	2212
15	2000	0.13	0.2	DCMT 11 T 304 PV 3010	2221
16	2000	0.13	0.2	DCMT 11 T 308 PV 3010	2222

3.3.2.2. Kanal deneyinin yapılışı

Kanal deneyinde makine devri, ilerleme hızı, talaş derinliği ve kesici takım olmak üzere dört farklı parametre ve iki farklı seviye belirlenmişti. Makine devri en düşük 1500 dev/min en yüksek 2200 dev/min olarak belirlenmiştir. İlerleme hızı en düşük 0.05 mm/min ve en yüksek 0.1 mm/min olarak belirlenmiştir. Talaş derinliği en düşük 0.1 mm ve en yüksek 0.2 mm olarak belirlenmiştir. Birinci kesici takım olarak N123H2-0400-004 GF 4125 ve ikinci kesici takım olarak ta N123H2-0400-004 GF 1125 seçilmiştir. Tablo 3.9’da kanal deneyi kesme parametreleri verilmiştir.

Tablo 3. 9. Kanal Deneyi Kesme Parametreleri

Kesme Parametresi	Seviye 1	Seviye 2
Makine Devri (dev/min)	1500	2200
İlerleme Hızı (mm/min)	0.05	0.1
Talaş Derinliği (mm)	0.1	0.2
Kesici Takım	N123H2-0400-004 GF 4125	N123H2-0400-004 GF 1125

Dört farklı kesme parametresi ve iki farklı seviye için kullanılan standart L_{16} parametre dizisi Tablo 3.7’de verilmiştir

Dış çap deneyi için belirlenen kesme parametreleri ve seviyelerine göre hazırlanan L_{16} parametre dizisi Tablo 3.10’da verilmiştir. Her bir deney grubundan 4 adet malzeme olmak üzere toplam 64 adet malzeme işlenmiştir.

Tablo 3. 10. Kanal Deney Parametreleri için Hazırlanmış L_{16} Ortogonal Dizi

Deney No	Makine Devri (dev/min)	İlerleme Hızı (mm/min)	Talaş Derinliği (mm)	Kullanılan Takım	Kodlama
1	1500	0.05	0.1	N123H2-0400-004 GF 4125	1111
2	1500	0.05	0.1	N123H2-0400-004 GF 1125	1112
3	1500	0.05	0.2	N123H2-0400-004 GF 4125	1121
4	1500	0.05	0.2	N123H2-0400-004 GF 1125	1122
5	1500	0.1	0.1	N123H2-0400-004 GF 4125	1211
6	1500	0.1	0.1	N123H2-0400-004 GF 1125	1212
7	1500	0.1	0.2	N123H2-0400-004 GF 4125	1221
8	1500	0.1	0.2	N123H2-0400-004 GF 1125	1222
9	2200	0.05	0.1	N123H2-0400-004 GF 4125	2111
10	2200	0.05	0.1	N123H2-0400-004 GF 1125	2112
11	2200	0.05	0.2	N123H2-0400-004 GF 4125	2121
12	2200	0.05	0.2	N123H2-0400-004 GF 1125	2122
13	2200	0.1	0.1	N123H2-0400-004 GF 4125	2211
14	2200	0.1	0.1	N123H2-0400-004 GF 1125	2212
15	2200	0.1	0.2	N123H2-0400-004 GF 4125	2221
16	2200	0.1	0.2	N123H2-0400-004 GF 1125	2222

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1. İç Çap Deney Sonuçları

Her bir deney grubu için 4 farklı parça olmak üzere toplam 64 adet parça işlenmiştir. Her bir parçadan 10 adet yüzey pürüzlülük ölçüm değeri alınarak ortalamaları hesaplanmıştır. Her bir deney grubu için S/N değerleri eşitlik 3.7'ye göre hesaplanmıştır. Tablo 4.1'de ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması ve S/N oranları verilmiştir.

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (3.7)$$

Tablo 4. 1. İç Çap Deneyi Yüzey Pürüzlülük Sonuçları ve S/N Oranı

Deney No	Rastsal Sıra	Kodlama	R _a				Ortalama R _a	S/N Oranı
			1. parça	2. parça	3. parça	4. parça		
1	5	1111	2.73	1.83	2.12	2.25	2.23	-7.07
2	10	1112	2.41	5.20	3.43	5.23	4.07	-12.55
3	1	1121	2.52	2.61	2.40	2.49	2.51	-7.98
4	9	1122	4.28	4.33	3.67	4.06	4.08	-12.24
5	2	1211	2.72	3.07	2.62	2.80	2.80	-8.97
6	16	1212	3.67	4.26	4.84	4.58	4.34	-12.79
7	8	1221	3.43	2.74	3.21	3.26	3.16	-10.02
8	12	1222	3.06	3.12	4.28	3.82	3.57	-11.15
9	13	2111	1.23	1.44	1.05	1.37	1.27	-2.16
10	3	2112	1.85	1.28	1.89	1.73	1.69	-4.62
11	6	2121	1.65	1.67	1.50	0.54	1.34	-3.04
12	7	2122	3.04	2.16	1.13	1.38	1.93	-6.31
13	15	2211	2.03	1.83	2.48	1.52	1.96	-6.00
14	11	2212	0.95	1.61	1.25	1.43	1.31	-2.49
15	14	2221	1.53	1.56	1.61	1.36	1.51	-3.62
16	4	2222	0.68	0.88	0.84	0.84	0.81	1.80

İç çap deneyinde elde edilen sonuçlar ele alınarak %95 güven aralığında yapılan varyans analizine ilişkin sonuçlar Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4. 2. İç Çap Parametreleri ile Elde Edilen Sonuçlara Göre Varyans Analizi Tablosu

Değişim Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Anlam Düzeyi
Devir	55.745	1	55.745	207.849	.000 (***)
İlerleme	.031	1	.031	.116	.735
Talaş	.145	1	.145	.542	.465
Takım	6.256	1	6.256	23.327	.000 (***)
Devir*İlerleme	.646	1	.646	2.409	.127
Devir*Talaş	.068	1	.068	.254	.616
Devir*Takım	8.172	1	8.172	30.472	.000 (***)
İlerleme*Talaş	.958	1	.958	3.572	.065
İlerleme*Takım	3.672	1	3.672	13.691	.001 (***)
Talaş*Takım	.395	1	.395	1.474	.231
Devir*İlerleme*Talaş	.078	1	.078	.290	.593
Devir*İlerleme*Takım	.199	1	.199	.743	.393
İlerleme*Talaş*Takım	.298	1	.298	1.113	.297
Devir*İlerleme*Talaş*Takım	.669	2	.335	1.248	.296
Hata	12.874	48	.268		
Toplam	462.456	64			

*** p<0.001

Varyans analizi sonuçlarına göre ilerleme hızı*kesici takım interaksyonu (p<0.001) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. İlerleme hızı*kesici takım kombinasyonlarından yüzey pürüzlülüğü ortalamaları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan tek yönlü varyans analizi sonucunda, varyanslar homojen çıkmadığından Games-Howell testine göre analiz edilmiştir. Games-Howell analiz sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4. 3. İç Çap Deneyi İlerleme Hızı*Takım İnteraksiyonu Games-Howell Test Sonuçları

İlerleme Hızı_Kesici Takım	İlerleme Hızı_Kesici Takım	Ortalama	Standart Sapma	Anlam Düzeyi	%95 Güven Aralığı	
					En Düşük	En Yüksek
11	12	-1.10438(*)	.38353	.041	-2.1735	-.0353
11	21	-.52313	.23975	.152	-1.1756	.1293
11	22	-.66938	.42478	.414	-1.8595	.5208
12	11	1.10438(*)	.38353	.041	.0353	2.1735
12	21	.58125	.39234	.465	-.5067	1.6692
12	22	.43500	.52620	.841	-.9970	1.8670
21	11	.52313	.23975	.152	-.1293	1.1756
21	12	-.58125	.39234	.465	-1.6692	.5067
21	22	-.14625	.43275	.986	-1.3526	1.0601
22	11	.66938	.42478	.414	-.5208	1.8595
22	12	-.43500	.52620	.841	-1.8670	.9970
22	21	.14625	.43275	.986	-1.0601	1.3526

- Bu farklılık 0.05 anlam düzeyinde anlamlıdır.

Games-Howell testinden elde edilen sonuçlara göre 0.08 mm/min ilerleme hızı * 0.4 mm radyüslü takım kombinasyonundan (11) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalaması, 0.08 mm/min ilerleme hızı * 0.8 mm radyüslü takım kombinasyonundan (12) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşük bulunmuştur.

Tablo 4.4'de verilen ilerleme hızı*takım interaksiyon sonuçlarına göre 0.08 mm/min ilerleme hızı * 0.4 mm radyüslü takım kombinasyonu ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.838 μm olarak bulunmuştur. Ortalama yüzey pürüzlülüğüne ilişkin veriler incelendiğinde ilerleme hızı ve kesici takım radyüs çapı azaldıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmaktadır.

Tablo 4. 4. İç Çap Deneyi İlerleme Hızı*Takım İnteraksiyonu Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri

İlerleme Hızı	Kesici Takım	Ortalama	Standart Hata	%95 Güven Aralığı	
				En Düşük	En Yüksek
0.08	DCMT 11 T 304 PV 3010	1.838	.129	1.577	2.098
0.08	DCMT 11 T 308 PV 3010	2.942	.129	2.682	3.202
0.13	DCMT 11 T 304 PV 3010	2.361	.129	2.100	2.621
0.13	DCMT 11 T 308 PV 3010	2.507	.129	2.247	2.767

Varyans analizi sonuçlarına göre makine devri*kesici takım interaksiyonu ($p<0.000$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Makine devri*kesici takım kombinasyonlarından yüzey pürüzlülüğü ortalamaları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan tek yönlü varyans analizi sonucunda, varyanslar homojen çıkmadığından Games-Howell testine göre analiz edilmiştir. Games-Howell analiz sonuçları Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4. 5. İç Çap Deneyi Makine Devri*Takım İnteraksiyonu Games-Howell Test Sonuçları

Makine Devri_Kesici Takım	Makine Devri_Kesici Takım	Ortalama	Standart Sapma	Anlam Düzeyi	%95 Güven Aralığı	
					En Düşük	En Yüksek
11	12	-1.34000(*)	.22185	.000	-1.9534	-.7266
11	21	1.15187(*)	.14959	.000	.7451	1.5586
11	22	1.24125(*)	.18594	.000	.7322	1.7503
12	11	1.34000(*)	.22185	.000	.7266	1.9534
12	21	2.49188(*)	.22114	.000	1.8800	3.1037
12	22	2.58125(*)	.24718	.000	1.9069	3.2556
21	11	-1.15187(*)	.14959	.000	-1.5586	-.7451
21	12	-2.49188(*)	.22114	.000	-3.1037	-1.8800
21	22	.08937	.18508	.962	-.4176	.5963
22	11	-1.24125(*)	.18594	.000	-1.7503	-.7322
22	12	-2.58125(*)	.24718	.000	-3.2556	-1.9069
22	21	-.08937	.18508	.962	-.5963	.4176

* Bu farklılık 0.05 anlam düzeyinde anlamlıdır.

Games-Howell testinden elde edilen sonuçlara göre 1250 dev/min makine devri * 0.4 mm radyüslü kesici takım kombinasyonundan (11) elde edilen iç çap

yüzey pürüzlülüğü ortalaması, 1250 dev/min makine devri * 0.8 mm radyüslü kesici takım kombinasyonundan (12) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşük bulunmuştur.

Games-Howell testinden elde edilen sonuçlara göre 2000 dev/min makine devri * 0.4 mm radyüslü kesici takım kombinasyonundan (21) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalaması, 1250 dev/min makine devri * 0.4 mm radyüslü kesici takım kombinasyonundan (11) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşük bulunmuştur.

Games-Howell testinden elde edilen sonuçlara göre 2000 dev/min makine devri * 0.4 mm radyüslü kesici takım kombinasyonundan (21) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalaması, 1250 dev/min makine devri * 0.8 mm radyüslü kesici takım kombinasyonundan (12) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşük bulunmuştur.

Games-Howell testinden elde edilen sonuçlara göre 2000 dev/min makine devri * 0.8 mm radyüslü kesici takım kombinasyonundan (22) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalaması, 1250 dev/min makine devri * 0.4 mm radyüslü kesici takım kombinasyonundan (11) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşük bulunmuştur.

Games-Howell testinden elde edilen sonuçlara göre 2000 dev/min makine devri * 0.8 mm radyüslü kesici takım kombinasyonundan (22) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalaması, 1250 dev/min makine devri * 0.8 mm radyüslü kesici takım kombinasyonundan (12) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşük bulunmuştur.

Tablo 4.6'da verilen makine devri* kesici takım interaksiyon sonuçlarına göre 2000 dev/min makine devri* 0.8 mm radyüslü kesici takım kombinasyonu ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.434 μm olarak bulunmuştur. Ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına ilişkin veriler incelendiğinde makine devri artıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmaktadır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için makine devri arttırıldığında takım radyüsü de arttırılmalıdır.

Tablo 4. 6. İç Çap Deneyi Makine Devri*Takım İnteraksiyonu Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Makine Devri	Kesici Takım	Ortalama	Standart Hata	%95 Güven Aralığı	
				En Düşük	En Yüksek
1250	DCMT 11 T 304 PV 3010	2.675	.129	2.415	2.935
1250	DCMT 11 T 308 PV 3010	4.015	.129	3.755	4.275
2000	DCMT 11 T 304 PV 3010	1.523	.129	1.263	1.783
2000	DCMT 11 T 308 PV 3010	1.434	.129	1.173	1.694

Varyans analizi sonuçlarına göre iki farklı takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.000$). Tablo 4.7’de verilen sonuçlara göre 0.4 mm radyüslü takım ile elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri 2.099 μm ve 0.8 mm radyüslü takım ile elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri 2.724 μm olarak bulunmuştur. Ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına ilişkin veriler incelendiğinde düşük yarıçaplı takımlar ile daha iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşıldığı görülmüştür.

Tablo 4. 7. İç Çap Deneyi Takım Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Kesici Takım	Ortalama	Standart Hata	%95 Güven Aralığı	
			En Düşük	En Yüksek
DCMT 11 T 304 PV 3010	2.099	.092	1.915	2.283
DCMT 11 T 308 PV 3010	2.724	.092	2.540	2.908

Varyans analizi sonuçlarına göre iki farklı makine devri ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.000$). Tablo 4.8’de verilen sonuçlara göre 1250 dev/min makine devri ile elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri 3.345 μm ve 2000 dev/min makine devri ile elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri 1.478 μm olarak bulunmuştur. Ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına ilişkin veriler incelendiğinde makine devri arttırıldıkça daha iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşıldığı görülmüştür.

Tablo 4. 8. İç Çap Deneyi Makine Devri Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Makine Devri	Ortalama	Standart Hata	%95 Güven Aralığı	
			En Düşük	En Yüksek
1250	3.345	.092	3.161	3.529
2000	1.478	.092	1.294	1.663

Varyans analizi sonucuna göre makine devri*ilerleme hızı*talaş derinliği*kesici takım kombinasyonu istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$). Tablo 4.9’da verilen Duncan Testi sonuçlarına göre en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü 0.81 μm değeri makine devri 2000 dev/min, ilerleme hızı 0.13 mm/min, talaş derinliği 0.2 mm ve 0.4 mm radyüslü kesici takım kombinasyonu (2222) ile elde edilmiştir. 2111, 2212, 2121 ve 2221 kombinasyonlarından elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri de istatistiksel olarak 2222 kombinasyonundan farksız bulunmuştur.

Tablo 4. 9. İç Çap Deneyi Duncan Testi Sonuçları

Makine Devri_ İlerleme Hızı_ Talaş Derinliği_ Kesici Takım	N	Anlam Düzeyi 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
2222	4	.8100							
2111	4	1.2725	1.2725						
2212	4	1.3100	1.3100						
2121	4	1.3400	1.3400						
2221	4	1.5150	1.5150	1.5150					
2112	4		1.6875	1.6875	1.6875				
2122	4		1.9275	1.9275	1.9275				
2211	4		1.9650	1.9650	1.9650				
1111	4			2.2325	2.2325	2.2325			
1121	4				2.5050	2.5050	2.5050		
1211	4					2.8025	2.8025	2.8025	
1221	4						3.1600	3.1600	
1222	4							3.5700	3.5700
1112	4								4.0675
1122	4								4.0850
1212	4								4.3375
Anlam Düzeyi		.091	.108	.086	.050	.148	.097	.052	.060

4.2. Kanal Deney Sonuçları

Her bir deney grubu için 4 farklı parça olmak üzere toplam 64 adet parça işlenmiştir. Her bir parçadan 10 adet yüzey pürüzlülük ölçüm değeri alarak ortalamaları hesaplanmıştır. Her bir deney grubu için S/N değerleri eşitlik 3.8'e göre hesaplanmıştır. Tablo 4.10'da ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması ve S/N oranları verilmiştir.

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (3.8)$$

Tablo 4. 10. Kanal Deneyi Yüzey Pürüzlülük Sonuçları ve S/N Oranı

Deney No	Rastsal Sıra	Kodlama	R _a				Ortalama R _a	S/N Oranı
			1. parça	2. parça	3. parça	4. parça		
1	2	1111	2.19	1.57	2.14	3.08	2.25	-7.27
2	8	1112	0.97	0.93	0.82	1.06	0.94	0.47
3	5	1121	3.53	2.48	2.75	4.26	3.25	-10.44
4	12	1122	0.95	1.87	1.33	0.93	1.27	-2.46
5	15	1211	1.94	1.63	1.95	1.58	1.77	-5.01
6	13	1212	1.33	0.80	1.93	1.88	1.48	-3.82
7	4	1221	2.80	2.91	2.65	3.46	2.95	-9.45
8	1	1222	1.26	0.88	2.12	1.32	1.40	-3.34
9	9	2111	3.54	2.52	2.01	2.78	2.71	-8.84
10	14	2112	1.49	0.86	1.06	0.64	1.01	-0.51
11	10	2121	2.62	2.65	2.21	2.65	2.53	-8.09
12	11	2122	0.98	0.96	1.05	1.12	1.03	-0.24
13	6	2211	2.14	3.14	2.53	2.44	2.56	-8.25
14	7	2212	0.89	1.42	0.79	1.90	1.25	-2.46
15	16	2221	1.96	2.23	1.96	2.03	2.05	-6.23
16	3	2222	1.68	1.15	0.69	0.70	1.06	-1.07

Kanal deneyinde elde edilen sonuçlar ele alınarak %95 güven aralığında yapılan varyans analizine ilişkin sonuçlar Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4. 11. Kanal Parametreleri ile Elde Edilen sonuçlara Göre Varyans Analizi Tablosu

Değişim Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Anlam Düzeyi
Devir	.318	1	.318	1.578	.215
İlerleme	.057	1	.057	.283	.597
Talaş	.599	1	.599	2.972	.091
Takım	28.316	1	28.316	140.579	.000 (***)
Devir*İlerleme	.018	1	.018	.089	.767
Devir*Talaş	2.727	1	2.727	13.537	.001 (***)
Devir*Takım	.035	1	.035	.172	.680
İlerleme*Talaş	.157	1	.157	.780	.382
İlerleme*Takım	1.366	1	1.366	6.782	.012 (*)
Talaş*Takım	.517	1	.517	2.565	.116
Devir*İlerleme*Talaş	.023	1	.023	.114	.738
Devir*İlerleme*Takım	.071	1	.071	.352	.556
İlerleme*Talaş*Takım	.052	1	.052	.260	.613
Devir*İlerleme*Talaş*Takım	1.655	2	.828	4.109	.023 (*)
Hata	9.668	48	.201		
Toplam	263.472	64			

* p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001

Varyans analizi sonucuna göre makine devri*ilerleme hızı*talaş derinliği*kesici takım kombinasyonu istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.05). Tablo 4.12’de verilen Duncan Testi sonuçlarına göre en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü 0.9450 µm değeri makine devri 1500 dev/min, ilerleme hızı 0.05 mm/min, talaş derinliği 0.1 mm ve TiAlN kaplamalı kesici takım (GF 1125) kombinasyonu (1112) ile elde edilmiştir. İkinci en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü 1.0125 µm değeri makine devri 2200 dev/min, ilerleme hızı 0.05 mm/min, talaş derinliği 0.1 mm ve TiAlN kaplamalı kesici takım kombinasyonu (2112) ile elde edilmiştir. . Üçüncü en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü 1.0275 µm değeri makine devri 2200 dev/min, ilerleme hızı 0.05 mm/min, talaş derinliği 0.2 mm ve TiAlN kaplamalı kesici takım kombinasyonu (2122) ile elde edilmiştir.

Tablo 4. 12. Kanal Deneyi Duncan Testi Sonuçları

Makine Devri Hızı_Talaş Derinliği Takım	N	Anlam Düzeyi 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
1112	4	.9450						
2112	4	1.0125						
2122	4	1.0275						
2222	4	1.0550	1.0550					
2212	4	1.2500	1.2500					
1122	4	1.2700	1.2700					
1222	4	1.3950	1.3950	1.3950				
1212	4	1.4850	1.4850	1.4850				
1211	4		1.7750	1.7750	1.7750			
2221	4			2.0450	2.0450	2.0450		
1111	4				2.2450	2.2450		
2121	4					2.5325	2.5325	
2211	4					2.5625	2.5625	2.5625
2111	4					2.7125	2.7125	2.7125
1221	4						2.9550	2.9550
1121	4							3.2550
Anlam Düzeyi		.153	.050	.066	.169	.065	.233	.050

Varyans analizi sonuçlarına göre ilerleme hızı*kesici takım etkisi (p<0.05) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. İlerleme hızı*kesici takım kombinasyonlarından yüzey pürüzlülüğü ortalamaları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan tek yönlü varyans analizi sonucunda, varyanslar homojen çıkmadığından Games-Howell testine göre analiz edilmiştir. Games-Howell analiz sonuçları Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4. 13. Kanal Deneyi İlerleme Hızı*Takım İnteraksiyonu Games-Howell Test Sonuçları

İlerleme Hızı_Takım	İlerleme Hızı_Takım	Ortalama	Standart Sapma	Anlam Düzeyi	%95 Güven Aralığı	
					En Düşük	En Yüksek
11	12	1.62250(*)	.18142	.000	1.1158	2.1292
11	21	.35187	.21448	.373	-.2327	.9365
11	22	1.39000(*)	.20589	.000	.8272	1.9528
12	11	-1.62250(*)	.18142	.000	-2.1292	-1.1158
12	21	-1.27062(*)	.15364	.000	-1.6959	-.8454
12	22	-.23250	.14139	.374	-.6220	.1570
21	11	-.35187	.21448	.373	-.9365	.2327
21	12	1.27062(*)	.15364	.000	.8454	1.6959
21	22	1.03813(*)	.18189	.000	.5432	1.5330
22	11	-1.39000(*)	.20589	.000	-1.9528	-.8272
22	12	.23250	.14139	.374	-.1570	.6220
22	21	-1.03813(*)	.18189	.000	-1.5330	-.5432

* Bu farklılık 0.05 anlam düzeyinde anlamlıdır.

Games-Howell testinden elde edilen sonuçlara göre 0.05 mm/min ilerleme hızı*TiAlN kaplamalı kesici takım kombinasyonundan (12) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalaması, 0.05 mm/min ilerleme hızı*sermet kaplamalı kesici takım (GF 4125) kombinasyonundan (11) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşük bulunmuştur.

Games-Howell testinden elde edilen sonuçlara göre 0.05 mm/min ilerleme hızı*TiAlN kaplamalı kesici takım kombinasyonundan (12) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalaması, 0.1 mm/min ilerleme hızı*sermet kaplamalı kesici takım (GF 4125) kombinasyonundan (21) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşük bulunmuştur.

Games-Howell testinden elde edilen sonuçlara göre 0.1 mm/min ilerleme hızı*TiAlN kesici kaplamalı takım kombinasyonundan (22) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalaması, 0.05 mm/min ilerleme hızı*sermet kaplamalı kesici takım kombinasyonundan (11) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşük bulunmuştur.

Games-Howell testinden elde edilen sonuçlara göre 0.1 mm/min ilerleme hızı*TiAlN kaplamalı kesici takım kombinasyonundan (22) elde edilen iç çap yüzey

pürüzlülüğü ortalaması, 0.1 mm/min ilerleme hızı*sermet kaplamalı kesici takım kombinasyonundan (21) elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşük bulunmuştur.

Tablo 4.14’de verilen ilerleme hızı*kesici takım interaksiyon sonuçlarına göre 0.05 mm/min ilerleme hızı*TiAlN kaplamalı kesici takım kombinasyonu ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.064 μm olarak bulunmuştur. Ortalama yüzey pürüzlülüğüne ilişkin sonuçlar incelendiğinde ilerleme hızı azaldıkça ve TiAlN kaplamalı kesici takımlar seçildiğinde yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmüştür. Sermet kaplamalı uçlar seçildiğinde ise en iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşmak için ilerleme hızı arttırılmalıdır.

Tablo 4. 14. Kanal Deneyi İlerleme Hızı*Takım İnteraksiyonu Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri

İlerleme Hızı	Kesici Takım	Ortalama	Standart Hata	%95 Güven Aralığı	
				En Düşük	En Yüksek
0.05	N123H2-0400-004 GF 4125	2.686	.112	2.461	2.912
0.05	N123H2-0400-004 GF 1125	1.064	.112	.838	1.289
0.1	N123H2-0400-004 GF 4125	2.334	.112	2.109	2.560
0.1	N123H2-0400-004 GF 1125	1.296	.112	1.071	1.522

Varyans analizi sonuçlarına göre makine devri*talaş derinliği interaksiyonu ($p < 0.05$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Makine devri*talaş derinliği kombinasyonlarından yüzey pürüzlülüğü ortalamaları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan tek yönlü varyans analizi sonucunda, varyanslar homojen çıkmadığından Games-Howell testine göre analiz edilmiştir. Games-Howell analiz sonuçları Tablo 4.15’de verilmiştir.

Tablo 4. 15. Kanal Deneyi Makine Devri *Talaş Derinliği İnteraksiyonu Games-Howell Test Sonuçları

Makine Devri_Talaş Derinliği	Makine Devri_Talaş Derinliği	Ortalama	Standart Sapma	Anlam Düzeyi	%95 Güven Aralığı	
					En Düşük	En Yüksek
11	12	-.60625	.30416	.218	-1.4446	.2321
11	21	-.27187	.27294	.753	-1.0196	.4759
11	22	-.05250	.23522	.996	-.6928	.5878
12	11	.60625	.30416	.218	-.2321	1.4446
12	21	.33438	.34554	.769	-.6064	1.2752
12	22	.55375	.31659	.320	-.3139	1.4214
21	11	.27187	.27294	.753	-.4759	1.0196
21	12	-.33438	.34554	.769	-1.2752	.6064
21	22	.21937	.28672	.869	-.5627	1.0015
22	11	.05250	.23522	.996	-.5878	.6928
22	12	-.55375	.31659	.320	-1.4214	.3139
22	21	-.21937	.28672	.869	-1.0015	.5627

Tablo 4.16’da verilen makine devri*talaş derinliği interaksiyon sonuçlarına göre 1500 dev/min makine devri * 0.1 mm talaş derinliği kombinasyonu ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.613 μm olarak bulunmuştur. Ortalama yüzey pürüzlülüğüne ilişkin sonuçlar incelendiğinde makine devri azaldıkça ve talaş derinliği azaldıkça yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmüştür. Makine devrinin artırılması durumunda en iyi yüzey pürüzlülük değerinde ulaşmak için talaş derinliğinin de artırılması gerektiği görülmüştür.

Tablo 4. 16. Kanal Deneyi Makine Devri*Talaş Derinliği İnteraksiyonu Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Makine Devri	Talaş Derinliği	Ortalama	Standart Hata	%95 Güven Aralığı	
				En Düşük	En Yüksek
1500	0.1	1.613	.112	1.387	1.838
1500	0.2	2.219	.112	1.993	2.444
2200	0.1	1.884	.112	1.659	2.110
2200	0.2	1.665	.112	1.439	1.891

Varyans analizi sonuçlarına göre iki farklı kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur

($p < 0.000$). Tablo 4.17’de verilen sonuçlara göre sermet kaplamalı kesici takım ile elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri $2.510 \mu\text{m}$ ve TiAlN kaplamalı kesici takım ile elde edilen iç çap yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri $1.180 \mu\text{m}$ olarak bulunmuştur. Ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına ilişkin veriler incelendiğinde TiAlN kaplamalı kesici takım ile sermet kaplamalı kesici takıma göre daha iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşıldığı görülmüştür.

Tablo 4. 17. Kanal Deneyi Takım Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Kesici Takım	Ortalama	Standart Hata	%95 Güven Aralığı	
			En Düşük	En Yüksek
N123H2-0400-004 GF 4125	2.510	.079	2.351	2.670
N123H2-0400-004 GF 1125	1.180	.079	1.020	1.340

5. SONUÇ

Bu çalışmada Ç1040 çeliğinde iç çap ve kanal tornalama işleminde makine devri, ilerleme hızı, talaş derinliği ve kesici takım parametrelerinin yüzey pürüzlüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. Her bir kesme parametresi için iki farklı seviye belirlenerek Taguchi metodu standart L_{16} ortogonal dizi seçilmiştir. Her bir kesme parametrelerine ilişkin 4 farklı parça olmak üzere 64 adet parça seçilmiştir. Bu deney düzeneğinden hem iç çap hem de kanal için ayarlanmış ve toplamda 128 adet parça seçilmiştir. Deneyler son tornalama işlemi için gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kaba paso işleminde aynı kesici takım ve parametreler kullanılmış olup her bir deney grubunda yeni kesici takım seçilmiştir. Deneyler sonucunda her bir parçadan 10 adet ölçüm değeri alınarak ortalamaları hesap edilmiştir. İç çap ve kanal deneyinden elde edilen sonuçlar SPSS 15.0 programında % 95 güven aralığında analiz edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda iç çap deneyinde ilerleme hızı*kesici takım, makine devri* kesici takım kombinasyonlarının yanı sıra kesici takım ve makine devri parametrelerinin istatistiksel olarak farklılık yarattığı görülmüştür.

İlerleme hızı*kesici takım kombinasyonunda; düşük ilerleme hızı ve düşük yarıçaplı kesici takım ile en iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşıldığı görülmüş ve 0.08 mm/min ilerleme hızı * 0.4 mm radyüslü kesici takım kombinasyonu ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.838 μm olarak bulunmuştur. Yüksek ilerleme hızı seçildiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerine ulaşmak için kesici takım yarıçapı düşük seçilmelidir. Kesici takım yarıçapı yüksek seçildiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerine ulaşmak için ilerleme hızı yüksek seçilmelidir. Eriksen (1998) yaptığı çalışmada benzer sonuçlar bulunmuş olup ilerleme hızının 0.1 mm/dev değerinin üzerinde olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğünün arttığı, takım uç yarıçapı küçüldüğünde yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. Özses'in (2002) yaptığı deneysel çalışmalarda ilerleme miktarındaki artış ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Davim ve Figueira'nın yaptığı çalışmada (2006)

düşük ilerleme hızı ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. Demirayak'ın (2006) yaptığı çalışmada ilerleme hızı azaldığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.

Makine devri*kesici takım kombinasyonunda; yüksek makine devri ve yüksek yarıçaplı kesici takım ile en iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşıldığı görülmüş ve 2000 dev/min makine devri* 0.8 mm radyüslü kesici takım kombinasyonu ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.434 μm olarak bulunmuştur. Düşük makine devri seçildiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerine ulaşmak için kesici takım yarıçapı düşük seçilmelidir. Kesici takım yarıçapı düşük seçildiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerine ulaşmak için makine devri yüksek seçilmelidir.

Kesici takım parametresi ele alındığında; düşük radyüslü kesici takımlar ile en iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşıldığı görülmüş ve 0.4 mm radyüslü kesici takım ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 2.099 μm olarak bulunmuştur. İşbilir'in yaptığı çalışmada (2006) kesici uç radyüsü arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azalmakta olduğu bulunmuştur. Deneysel çalışma sonucu kesici takım ile ilgili bulunan sonucun aksine Özses'in (2002) yaptığı deneysel çalışmalarda uç yarıçapının büyümesi ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını gözlemiştir. Nalbant ve ark.'nın (2007) yaptığı deneysel çalışmada da uç yarıçapının büyümesi ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını gözlemiştir. Coğun ve Özses'in (2002) yaptıkları deneysel çalışmada büyük uç yarıçaplı kesici takım ile yapılan tornalama işlemlerinde düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir

Makine devri parametresi ele alındığında; yüksek makine devri ile en iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşıldığı görülmüş ve 2000 dev/min makine devri ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.478 μm olarak bulunmuştur. Makine devri ile kesme hızının doğru orantılı olması nedeniyle literatürde kesme hızı ile ilgili çalışmalar ile karşılaştırılmalar yapılmış olup Eriksen'nin (1998) yaptığı çalışmada kesme hızı 500 m/min değerine ulaştığı zaman yüzey pürüzlülüğünün bozulduğu, kesme hızı 1500 m/min'e varan yüksek kesme hızlı işlemlerde yüzey pürüzlülüğünün kesme hızından bağımsız olduğu belirtilmiştir. Özçatalbaş'ın (2000) yaptığı deneysel çalışmalarda, artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmiştir. Özses'in (2002) yaptığı deneysel çalışmalarda kesme hızının

artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği fakat kesme hızının artırılması durumunda takım aşınmasının hızlandığı dolayısı ile takım ömrünün azaldığı anlaşılmıştır. Davim ve Figueira'nın yaptığı çalışmada (2006) kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmüştür. İşbilir'in yaptığı çalışmada (2006) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azalmakta olduğu bulunmuştur. Demirayak'ın (2006) yaptığı çalışmada kesme hızının artması kuvvetleri düşürerek titreşimin azalmasına sebep olmuş ve böylece daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiştir. Kopac ve ark.'nın (2002) yaptığı çalışmada yüksek kesme hızında yüzeylerin daha düzgün olduğu bulunmuştur. Çoğun ve Özses'in (2002) yaptıkları deneysel çalışmada kesme hızı arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.

Tüm parametreler ele alındığında makine devri 2000 dev/min, ilerleme hızı 0.13 mm/min, talaş derinliği 0.2 mm ve 0.4 mm radyüslü takım kombinasyonu ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0.81 μm olarak bulunmuştur.

Yapılan analizler sonucunda kanal deneyinde makine devri*ilerleme hızı*talaş derinliği*kesici takım, ilerleme hızı*kesici takım, makine devri*talaş derinliği kombinasyonları ve takım parametresinin istatistiksel olarak farklılık yarattığı görülmüştür.

Makine devri*ilerleme hızı*talaş derinliği*kesici takım kombinasyonunda; makine devri 1500 dev/min, ilerleme hızı 0.05 mm/min, talaş derinliği 0.1 mm ve TiAIN kaplamalı kesici takım ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0.9450 μm olduğu görülmüştür. Bu kombinasyonda sadece makine devri 2200 dev/min seçildiğinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.0125 μm ; sadece talaş derinliği 0.2 mm seçildiğinde de 1.0275 μm olduğu görülmüştür. Yang ve Tarn'ın (1998) yaptığı çalışmada benzer sonuçlar bulunmuş olup düşük kesme hızı, düşük ilerleme hızı ve düşük talaş derinliği ile yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmüştür.

İlerleme hızı*kesici takım kombinasyonunda; düşük ilerleme hızı ve TiAIN kaplamalı kesici takım ile en iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşıldığı görülmüş ve 0.05 mm/min ilerleme hızı * TiAIN kaplamalı kesici takım kombinasyonu ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.064 μm olarak bulunmuştur. İlerleme hızı 0.1 mm/min seçildiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerine ulaşmak için TiAIN

kaplamalı kesici takım seçilmelidir. Sermet kaplamalı takım seçildiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerine ulaşmak için ilerleme hızı 0.1 mm/min seçilmelidir

Makine devri*talaş derinliği kombinasyonunda; düşük makine devri ve düşük talaş derinliği ile en iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşıldığı görülmüş ve 1500 dev/min makine devri * 0.1 mm talaş derinliği kombinasyonu ile en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.613 μm olarak bulunmuştur. Yüksek makine devri seçildiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerine ulaşmak için talaş derinliği yüksek seçilmelidir. Yüksek talaş derinliği seçildiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerine ulaşmak için makine devri yüksek seçilmelidir. Çoğun ve Özses'in (2002) yaptıkları çalışmalarda sabit kesme hızında talaş derinliği artıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür.

Kesici takım parametresi ele alındığında; TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile en iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşıldığı görülmüş ve en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.180 μm olarak bulunmuştur. Deneyde elde edilen sonuçlarının aksine Demirayak'ın (2006) yaptığı çalışmada TiAlN kaplama tabakasına sahip IC907 kesici takımında ise aşınma direnci daha düşük olduğundan kesme kuvvetinde bir artış olmamış dolayısıyla yüzey kalitesinde de çok belirgin bir değişim yaratmadığı görülmüştür. Kopac ve ark.'nın (2002) yaptığı çalışmada sermet kaplı uçlara nazaran TiN kaplamalı uçların yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etkilerin olduğu tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

Anık S., Dikiciođlu, A., Vural, M. 2000. İmal usulleri. Birsen. İstanbul

Anonim. 2005. Turning application. TaeguTec Catalog

Anonim. 2007. New cutting tools from sandvik coromant. Sandvik Coromant Catalog. Elander, Sweden

Anonim. 2008. Sipariş kataloğu tornalama- frezeleme- delik delme- delik işleme- takım tutucu sistemleri. Sandvik Coromant Catalog. Elander, Sweden

Barker, T, B. 1986. Quality engineering by design: Taguchi's Philosophy. Quality Progress, Vol. 19, No.12, pp. 32-33

Bayraktar, T. 2007. Kalite geliştirmede deneysel tasarım ve bir uygulama. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara

Box, G. E.P., Bisgaard S. 1987. The scientific context of quality improvement. Quality Progress, June, pp. 54-61

Byrne, D. M., Taguchi, S. 1987. The taguchi approach to parameter design, Quality Progress, Dec. pp. 20

- Choudhury, I.A., El-Baradie, M.A. 1997. Surface roughness prediction in turning of high-strength steel by factorial design of experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 67: 55–61
- Çay, S. 2006. Kalite geliştirme tekniklerinin talaşlı imalatta uygulanabilirliği. Marmara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Çoğun, C., Özses, B. 2002. Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 17, No 1, 59-75, Ankara
- Dabade, U. A., Joshi S.S., Ramakrishnan, N. 2003. Analysis of surface roughness and chip cross-sectional area while machining with self-propelled round inserts milling cutter. *Journal of Materials Processing Technology*, 132: 305-312
- Davim, J. P., Figueira, L. 2006. Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques. *Journal of Materials Processing Technology*, 1186–1191
- Davim J.P. 2003. A note on the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 116:305-308
- Demirayak, İ. 2006. Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının talaş kaldırma işlemine etkileri. Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa

- Engin, O., Serarslan, N. 2001. Motor piston imalatı yapan işletmede dökümden kaynaklanan üretim hatalarının elimine edilmesinde deney tasarımı uygulaması. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Konya
- Eriksen, E. 1998. Influence from production parameters on the surface roughness of a machined short fibre reinforced thermoplastic. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 39: 1611-1618
- Eureka W., Ryan. N. E. 1995. A manager's guide to Taguchi methods and Qfd Quality Up, Costs Down, ASI Press, New York, pp. 24-39.
- Gunter, B. 1987. A perspective on the taguchi method. Quality Progress, June, pp. 44-52
- Gündüz, A. 2006. Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetlerinin bulanık mantık ve yapay sinir ağlarıyla tahmini. Marmara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Hicks, C. 1973. Deney düzenlemede istatistiksel yöntemler. Çev. Muluk, F.Z., Toktamış,Ö., Karaağaoğlu,E., Kurt,S. Akademi Matbaası, Ankara.Inc., New York, 1995. Irwin, Boston
- Ishikawa, K. 1984. Quality and standardization: progress for economic success. Quality Progress, 1:16-20

- İşbilir, F. 2006. Takım ömrünün sebep-sonuç diyagramları ile açıklanması, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne etkili faktörlerin analizi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Kackar, R. N. 1985. Off-line quality control, parameter design and the taguchi method. *Journal of Quality Technology*, Vol. 17, No: 4, pp. 176-187
- Kackar, R. N. 1986. Taguchi's quality philosophy: analysis and commentary. *Quality Progress*, 21-29
- Kartal, M. S. 2000. Alaşımız çeliklerin CNC torna tezgâhında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının taguchi yöntemiyle incelenmesi. Marmara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Kasap, Ş. 2006. F-4 uçaklarında yakıt tüketimini etkileyen faktörlerin 2k deneyleri ve taguchi yöntemiyle belirlenmesi. Anadolu Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Kayı, Y. 2006. Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine etkilerinin taguchi metodu ile incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli
- Kopac, J., Bahor, M., Sokovic M. 2002. Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42: 707-716

- Logothesis, N. 1992. Managing for total quality, from deming to taguchi and spc, Prentice Hall International, New York
- Montgomery, D. C. 2001. Design and analysis of experiments. 5th Edition, John Wiley, Wiley & Sons, New York
- Motorcu, A.R. 2006. Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi, Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Nalbant, M., Gökkaya, H., Sur, G. 2007. Application of taguchi method in the optimization of cutting parameter for surface roughness in turning. Materials & Design, 28: 1379-1385
- Noori, H., Radford, R. W. 1995. Production and operations management, McGraw-Hill, New York
- Özçatalbaş, Y. 2000. Isıl işlemlerin Cr-Mo Esaslı Bir Çeliğin işlenebilirliğine Etkisi. 10. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, sf.759-765
- Özses, B. 2002. Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgâhlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Sakarya, N. 2005. Cep işlemede takım yolu hareketlerinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi. Karaelmas Üniversitesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük

Şahin, Y. 2003. İmal Usulleri. Gazi Kitabevi, Ankara

Şanyılmaz, M. 2006. Deney tasarımı ve kalite geliştirme faaliyetlerinde Taguchi yöntemi ile bir uygulama”, Dumlupınar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya

Schonberger, R. J., Edward M. K, Jr. 1991. Operations Management, 4th ed., Richard D. Irwin, Inc., Boston

Snee, R. D. 1993. Creating robust work processes. Quality Progress, Feb., pp.37-41

Şirvancı, M. 1997. Kalite için deney tasarımı, Literatür, İstanbul

Taguchi, G., Clausing, D. 1990. Robust quality”, Harvard Business Review, Vol. 68, No 1, pp 65-75

Yang, W. H., Tarn, Y. S. 1998. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method”, Journal of Materials Processing Technology, 84: 122-129

Zhang, J.,Z., Chen J., C., Kirby, E., D. 2007. Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method. Journal of Materials Processing Technology, 184: 233-239