



**HONLAMA PROSESİNDE YÜZEY KALİTESİNİ ETKİLEYEN  
PARAMETRELERİN TAGUCHI METODU İLE OPTİMİZASYONU**

**Serkan GÜNEŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2015**

Serkan GÜNEŞ tarafından hazırlanan “HONLAMA PROSESİNDE YÜZEY KALİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN TAGUCHI METODU İLE OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Başkan :** Doç. Dr. Y. Tansel İÇ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Başkent Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Üye :** Yrd. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

Tez Savunma Tarihi: 16/06/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....  
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Serkan GÜNEŞ

16.06.2015

# HONLAMA PROSESİNDE YÜZEY KALİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN TAGUCHI METODU İLE OPTİMİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Serkan GÜNEŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2015

## ÖZET

Ağır sanayi ve iş makinaları sektöründe yoğun biçimde kullanılan hidrolik silindirlerin en önemli parçalarından biri de farklı et kalınlıklarında çelik borulardır. Bunlarda oluşabilecek herhangi bir uygunsuzluk tüm sistemin zarar görmesine neden olabilecek bir durumdur. Özellikle boru iç yüzeyinde oluşan yüzey hataları ve pürüzlülük sapsmaları, bu boruların içinde çalışan piston, sızdırmazlık elemanları gibi diğer önemli parçalara da zarar verebilir. Bunun önüne geçmek için, boruların tornalanmasının ardından honlama operasyonu gerçekleştirilir. Honlama ile yüzey pürüzlülük değeri oldukça iyi seviyelere getirilebilir. İşte bundan dolayı honlama prosesi sanayide sık kullanılan önemli bir proses olmuştur. Honlamada yüzey pürüzlülük değerine etki eden kontrol edilebilir faktörlerin en önemlileri; takım ilerleme hızı, takım dönüş hızı ve honlama taşı tane büyüklüğüdür. Bu faktörlerin optimize edilmesi, honlama verimini arttıracak ve yüzey pürüzlülük değerinin en iyilenmesini sağlayacaktır. Bu optimizasyonu gerçekleştirmek için Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi metodu, honlama prosesi yüzey pürüzlülük karakteristiği için belirlenen faktörler ve bu faktörlerin belirlenen seviyelerini kullanarak çeşitli deney kombinasyonları ortaya koymaktadır. Belirlenen bu kombinasyonlara uygun olarak yapılan deneylerin ardından hem elle hesaplanarak hem de MINITAB paket programı aracılığıyla en iyi yüzey pürüzlülük değerini veren deney kombinasyonu belirlenebilmektedir. Belirlenen en iyi kombinasyon kullanılarak yapılan sınama deneyleri de iyileştirme olduğunu göstermiş ve faktörlerin hangi seviyelerinin yüzey pürüzlülük değerini en iyilediği tespit edilmiştir. Böylece başka honlama uygulamalarında da bu kombinasyonun kullanılacağı ya da hangi faktör seviyesinin kullanılacağı uygun olacağı tespit edilmiştir. Sonuç olarak honlama prosesi sonrası yüzey pürüzlülük değerinin optimize edilmesine yönelik sistematik bir bilgi edinilmiştir.

Bilim Kodu : 914.1.140

Anahtar Kelimeler : Honlama, Tornalama, Talaşlı imalat, Yüzey pürüzlülüğü, Taguchi Metodu, MINITAB, İstatistiksel analiz

Sayfa Adedi : 176

Danışman : Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL

# HONING PROCESS WITH TAGUCHI METHOD IN THE OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS THAT AFFECT THE QUALITY OF THE SURFACE

(M. Sc. Thesis)

Serkan GUNES

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2015

## ABSTRACT

Heavy industrial and construction machinery sector is one of the sectors that use hydraulic cylinders in large quantities. Hydraulic cylinders are critical in working of the systems and any problem occurring with cylinders could cause damage to the entire system. Especially cylinders' inner surface defects and surface roughness cause problems in the pistons and other parts such as seals. To prevent these kinds of problems, after internal turning operation honing operation is performed. Honing provides a much smoother and free of defects surface. Its performance is dependent on tool head forward speed, rotational speed of the honing tool and honing stone grain size. In this thesis, the goal is to find the levels of these parameters that give the lowest surface roughness at the end of the honing process. Taguchi method is employed in this optimization process. Application of the Taguchi method requires a certain number of experiments using combinations at the three specified levels (high; average; low) of the three parameters. MINITAB software package is used to evaluate the outcomes of the experiments. The results of the experiments show that a certain combination of the parameters gives the lowest surface roughness in the honing process. As a result of the study, the application of the Taguchi method provided a systematic optimization tool for process improvement in manufacturing industries.

Science Code : 914.1.140  
Key Words : Honing process, Turning process, Machining, Surface roughness, Taguchi Method, MINITAB, Statistical Analysis  
Page Number : 176  
Supervisor : Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarımnda desteğini benden esirgemeyip bana zamanını ayıran değerli yardım ve katkılarıyla bana yol gösteren hocam Prof. Dr. Mustafa Yurdakul'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin farklı aşamalarında takıldığım her noktada yardımını esirgemeyen Prof. Dr. Can Çoğun, Doç Dr. Yusuf Tansel İç hocalarıma yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım ve yapılan deneyler boyunca maddi ve manevi her zaman destek olan ANSA Hidrolik şirket yetkilisi dostum Adnan Yüksel'e gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu günlere gelmemde büyük katkıları olan, eğitim hayatım boyunca beni teşvik edip kayıtsız şartsız destekleyen aileme gösterdikleri sabır için teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xviii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. HONLAMA PROSESİ, HONLANMIŞ BORULAR, MALZEME YAPILARI, KULLANIM ALANLARI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ</b>	<b>5</b>
2.1. Honlama .....	5
2.2. Honlama Mekaniği .....	6
2.2.1. Uzun stroklu honlama .....	8
2.2.1. Kısa stroklu honlama .....	8
2.3. Delik/Boru İşleme Metodları .....	9
2.3.1. Delik işleme metodlarının karşılaştırılması .....	10
2.4. Honlama Taşı .....	21
2.4.1. Kum büyüklükleri .....	23
2.4.2. Honlama taşının sertliği .....	24
2.4.3. Bağlayıcılar .....	25
2.5. Kesme Sıvısı .....	25
2.6. Yüzey Pürüzlülüğü .....	26
2.6.1. İmalata göre yüzeyler .....	26



	<b>Sayfa</b>
2.6.2. Kullanılışa göre yüzeyler .....	26
2.7. Honlanmış Borular .....	32
2.7.1. Honlanmış boru malzemeleri ve üretim metodu .....	32
2.7.2. Delik/Boru geçme toleransları .....	35
2.7.3. Honlanmış boruların temel kullanım alanları .....	35
<b>3. KALİTE VE TAGUCHI METODU .....</b>	<b>37</b>
3.1. Kalite Tanımları .....	37
3.2. Kalite Teknikleri .....	40
3.3. Deney Tasarımı .....	41
3.3.1. Deney tasarımının tarihçesi .....	43
3.3.2. Deney tasarımında genel kavram ve tanımlar .....	44
3.3.3. Deney tasarımının türleri .....	46
3.3.4. Deney tasarımının faydaları .....	52
3.3.5. Deney tasarımının aşamaları .....	53
3.3.6. Toplam kalite yönetimi ve deney tasarımı .....	55
3.4. Taguchi Metodu .....	57
3.4.1. Taguchi kalite kontrol sistemi .....	61
3.4.2. Taguchi kayıp fonksiyonu .....	72
3.5. Taguchi Metodu ile Gerçekleştirilen Çalışmalardan Örnekler .....	74
<b>4. TAGUCHI METODUNUN HONLAMA PROSESİ SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERİNİ OPTİMİZE ETMEK AMACI İLE UYGULANMASI .....</b>	<b>79</b>
4.1. Deneysel Detaylar .....	79
4.1.1. Malzeme .....	79
4.1.2. Honlamaya ön hazırlık .....	80

	<b>Sayfa</b>
4.1.3. Honlama prosedürü.....	81
4.1.4. Honlama tezgahı teknik spesifikasyonlar .....	83
4.1.5. Honlama taşı .....	85
4.1.6. Soğutucu sıvı.....	86
4.1.7. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı .....	86
4.2. Taguchi Metodu-Uygulama.....	88
<b>5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>99</b>
5.1. Deneylerden Elde Edilen Verilerin Analizi Ve Optimal Seviyelerin Belirlenmesi.....	99
5.2. Deney Sonuçları Ve Optimal Seviyelerin Yorumlanması .....	104
5.2.1. Hesaplama yoluyla yorumlama.....	104
5.2.2. MINITAB programı vasıtasıyla yorumlama .....	106
5.3. Anova Analizi (Varyans Analizi) .....	110
5.4. Sonuç Sınama Deneylerinin Yapılması .....	111
5.5. Silindiriklik Ve Dairesellik Ölçümleri .....	114
5.5.1. Silindiriklik ve dairesellik .....	114
5.5.2. Silindiriklik / Dairesellik ölçüm sonuçları .....	118
5.5.3. Silindiriklik / Dairesellik ölçüm sonuçlarının yorumlanması .....	125
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>131</b>
KAYNAKLAR.....	137
EKLER.....	141
EK-1. Uluslar arası kum standartları.....	142
EK-2. Yüzey işleme işaretleri tablosu .....	143
EK-3. İşleme yöntemlerine göre ulaşılabilecek Ra yüzey pürüzlülükleri .....	144
EK-4. Çizelge 2.1. H7-H8-h9-h6 geçme toleransı.....	145

	<b>Sayfa</b>
EK-5. Endüstriyel hidrolik silindir örnekleri .....	149
EK-6. İş makinası hidrolik silindiri örnekleri .....	150
EK-7. İşletmede kullanılan değişik amaçlı hidrolik silindir örnekleri .....	151
EK-8. Çelik borularda uygulanan standartlar .....	152
EK-9. Çelik boru standartları karşılaştırma tablosu.....	153
EK-10. İşletmede honlanan değişik amaçlı boru örnekleri.....	154
EK-11. İmalat aşamasında ki sevk silindiri örnekleri.....	155
EK-12. Montaj aşamasında ki sevk silindiri örnekleri.....	156
EK-13. Üretimi tamamlanmış beton pompaları .....	157
EK-14. Beton pompası çalışma prensibi .....	158
EK-15. Taguchi ortogonal dizi seçim çizelgesi .....	159
EK-16. MINITAB paket programı ile analiz aşamaları .....	160
EK-17. MINITAB paket programı analiz çıktıları .....	172
EK-18. MINITAB paket programı ile hesaplanan değerler.....	174
ÖZGEÇMİŞ.....	175

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Mesh-Micron Çevrim Tablosu.....	24
Çizelge 2.2. Honlama taşının sertliği .....	24
Çizelge 2.3. Honlama taşı sertlik testi.....	25
Çizelge 2.4. Honlama yağında sıcaklık ve filtreleme etkileri.....	25
Çizelge 2.5. Honlama yağında sıcaklık ve filtreleme etkileri.....	30
Çizelge 3.1. Kalite teknikleri .....	40
Çizelge 3.2. Latin kare tasarımı .....	48
Çizelge 3.3. Greco-Latin Kare Tasarımı .....	50
Çizelge 4.1. St52-3 çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu.....	79
Çizelge 4.2. ÖHM 2500 honlama tezgahı teknik datalar.....	84
Çizelge 4.3. Mesh 80 honlama taşı.....	85
Çizelge 4.4. Mesh 100 honlama taşı.....	85
Çizelge 4.5. Mesh 150 honlama taşı.....	85
Çizelge 4.6. YARMIX HD honlama yağı teknik spesifikasyonları .....	86
Çizelge 4.7. Taylor Hobson Surtronic 3 teknik spesifikasyonlar .....	87
Çizelge 4.8. Deneylerde kullanılacak spesifik özellikler .....	91
Çizelge 4.9. Deneyde kullanılacak faktörler, seviyeleri ve seviye değerleri .....	92
Çizelge 4.10. Taguchi ortogonal dizi seçim çizelgesi.....	93
Çizelge 4.11. Taguchi L9 Modeli.....	94
Çizelge 4.12. Taguchi L9 modeli değişkenlerin gösterimi.....	94
Çizelge 5.1. Birinci deney serisi ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri .....	100
Çizelge 5.2. İkinci deney serisi ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri .....	101
Çizelge 5.3. Üçüncü deney serisi ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri.....	102

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.4. Honlama sonrası deney sonuçları ve S/N oranları .....	103
Çizelge 5.5. Parametre seviyelerinin S/N yanıt tablosu (boş örnek) .....	104
Çizelge 5.6. Parametre seviyelerinin S/N yanıt tablosu .....	104
Çizelge 5.7. Parametre seviyelerinin S/N yanıt tablosu seçimler .....	105
Çizelge 5.8. MINITAB analiz çıktısı .....	107
Çizelge 5.9. MINITAB analiz çıktısı .....	109
Çizelge 5.10. MINITAB analiz çıktısı (Varyans analizi) .....	110
Çizelge 5.11. Taguchi metodu ile optimize edilmiş deney tasarımı .....	111
Çizelge 5.12. Pratikte en sık kullanılan kombinasyon .....	111
Çizelge 5.13. Sonuç sınaama deneylerinden elde edilen veriler .....	112
Çizelge 5.14. Birinci deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçüm değerleri.....	119
Çizelge 5.15. İkinci deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçüm değerleri .....	121
Çizelge 5.16. Üçüncü deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçüm değerleri .....	123
Çizelge 5.17. Numune 1 Tormalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma ölçüleri .....	125
Çizelge 5.18. Numune 2 Tormalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma ölçüleri .....	126
Çizelge 5.19. Numune 2 Tormalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma ölçüleri .....	127

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Yüzey pürüzlülük profili, a. Tornalama, b. Matkapla Delme .....	12
Şekil 2.2. Yüzey pürüzlülük profili, a. Taşlama, b. Raybalama .....	13
Şekil 2.3. Yüzey pürüzlülük profili, a. Honlama, b. Ezme.....	14
Şekil 2.4. Farklı yüzey işleme yöntemlerinde micro sertlik değişimi .....	15
Şekil 2.5. Farklı yüzey işleme yöntemlerinde yüzeyden merkeze mikro sertlik değişimi .....	16
Şekil 2.6. Farklı yüzey bitirme işlemlerinin silindiriklik değerlerinin karşılaştırılması .....	19
Şekil 2.7. Rochusch yüzey pürüzlülüğü kalitesi seçme diyagramı .....	28
Şekil 2.8. Temel yüzey birim profili .....	30
Şekil 2.9. Nominal yüzey ve sapmalar .....	31
Şekil 2.10. Tolerans / İmalat maliyeti değişim grafiği .....	31
Şekil 3.1. Genişletilmiş süreç.....	38
Şekil 3.2. Kalite halkası .....	39
Şekil 3.3. Bir sürecin veya sistemin genel modeli .....	42
Şekil 3.4. Taguchi metodu iş akışı .....	59
Şekil 3.5. Üretim kalite çemberi .....	61
Şekil 3.6. Taguchi kalite kontrol sistemi.....	62
Şekil 3.7. Off-Line Kalite Mühendisliği .....	62
Şekil 3.8. Taguchi metodunun sistematigi (ASI Quality Systems, 1990) .....	64
Şekil 3.9. Taguchi kayıp fonksiyonu .....	73
Şekil 4.1. Honlama prosesinde yüzey kalitesine etki eden faktörler .....	89
Şekil 4.2. Ölçüm ve örnekleme uzunluğu .....	97

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.1. Birinci deney serisi Tortalama/Honlama yüzey pürüzlülük karşılaştırma grafiği.....	100
Şekil 5.2. İkinci deney serisi Tortalama/Honlama yüzey pürüzlülük karşılaştırma grafiği.....	101
Şekil 5.3. Üçüncü deney serisi Tortalama/Honlama yüzey pürüzlülük karşılaştırma grafiği.....	102
Şekil 5.4. Faktörlerin S/N oranı grafiği (Program çıktısı) .....	106
Şekil 5.5. Faktörlerin S/N yanıt grafiği (Program çıktısı) .....	108
Şekil 5.6. İyileştirme karşılaştırma grafiği .....	112
Şekil 5.7. Silindiriklik/Dairesellik ölçüm noktaları.....	118
Şekil 5.8. Numune 1 Tortalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma grafiği .....	125
Şekil 5.9. Numune 2 Tortalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma grafiği .....	126
Şekil 5.10. Numune 3 Tortalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma grafiği.....	127

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.1. Honlama prosesi ve honlama kafası .....	5
Resim 2.2. Honlama prosesinde hareketler (Dikey honlama).....	6
Resim 2.3. Honlama prosesinde hareketler (Yatay honlama) .....	6
Resim 2.4. Honlama mekanizması .....	7
Resim 2.5. Değişik çaplarda honlama kafaları ve honlama taşlarının yerleşimi	7
Resim 2.6. Uzun stroklu honlamada hareketler .....	8
Resim 2.7. Yüzey işleme yöntemlerine göre micro yapıların değişimi .....	11
Resim 2.8. Yüzey işleme yöntemlerine bağlı SEM görüntüleri a)Tornalama, b)Matkapla Delme .....	12
Resim 2.9. Yüzey işleme yöntemlerine bağlı SEM görüntüleri, a)Taşlama, b)Raybalama .....	13
Resim 2.10. Yüzey işleme yöntemlerine bağlı SEM görüntüleri, a)Honlama, b)Ezme .....	14
Resim 2.11. Değişik yüzey işleme yöntemlerine bağlı olarak daireselliklerin değişimi .....	18
Resim 2.12. İki farklı işleme yönteminde silindiriklik değerleri .....	19
Resim 2.13. Elektrokimyasal honlama.....	20
Resim 2.14. Sık kullanılan honlama taşı formları .....	21
Resim 2.15. İşletmede yoğunlukla kullanılan honlama taşı örnekleri.....	21
Resim 2.16. Yeşil Silisyum Karbür.....	22
Resim 2.17. Asil Korund.....	22
Resim 2.18. Mikrokristal Cürüflu Korund .....	23
Resim 2.19. Elek birim mesh yapısı .....	23
Resim 2.20. Düzenli paralel / Periyodik paralel yüzey taraması .....	27



<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.21. Spiral çember / Yay yüzey taraması .....	27
Resim 2.22. Daire yayı / Kesişen paraleller yüzey taraması.....	27
Resim 2.23. Kesişen yaylar / Aynı yönlü spiraller yüzey taraması.....	27
Resim 2.24. Dairesel hareketli spiraller / Karışık çizgiler yüzey taraması.....	27
Resim 2.25. Yüzey kalitesi sembolleri .....	28
Resim 2.26. Yüzey yapısı (dokusu) özellikleri .....	29
Resim 2.27. Temas yüzeyleri (şematik gösterim).....	29
Resim 2.28. Honlama prosesi sonrası yüzey dokusu yapısı .....	32
Resim 2.29. Honlama prosesinde pürüzlülük değeri değişimi (şematik).....	32
Resim 2.30. Honlanmış boru imalat aşamaları.....	34
Resim 2.31. Beton pompası çalışma prensibi .....	36
Resim 4.1. Tornalanmış deney numuneleri.....	79
Resim 4.2. Honlamaya ön hazırlık/Honlama sonrası ölçü değerleri .....	80
Resim 4.3. Tezgaha bağlanmış honlama kafaları .....	81
Resim 4.4. Honlama tezgahı ve iş bağlama .....	82
Resim 4.5. Honlama ön hazırlık.....	82
Resim 4.6. Honlama prosesi ve honlama yağı.....	83
Resim 4.7. ÖHM 2500 dikey honlama tezgâhı .....	83
Resim 4.8. Taylor Hobson Surtronic 3 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	86
Resim 4.9. Honlama deney düzeneği.....	95
Resim 4.10. Honlanacak deney numuneleri.....	95
Resim 4.11. Honlama deney düzeneği .....	96
Resim 4.12. Honlama deney düzeneği.....	96
Resim 4.13. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kalibrasyonu .....	97

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.14. Pürüzlülük ölçüm noktaları .....	98
Resim 5.1. MINITAB çalışma sayfası görüntüsü .....	106
Resim 5.2. a)Taguchi optimizasyonu ile optimize edilmiş deney kombinasyonu ile honlanmış yüzey, b)Tornalanmış yüzey.....	113
Resim 5.3. Çeşitli silindiriklik kaçıklık örnekleri.....	114
Resim 5.4. Çeşitli dairesellik kaçıklık örnekleri .....	115
Resim 5.5. Komparatör.....	115
Resim 5.6. Komparatör saati .....	116
Resim 5.7. Komparatörün sıfırlanması .....	117
Resim 5.8. Komparatörün delik içindeki hareketi.....	117
Resim 5.9. Komparatör ile ölçü alma.....	118

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>h6</b>	Delik toleransı
<b>H7</b>	Delik toleransı
<b>H8</b>	Delik toleransı
<b>h9</b>	Delik toleransı
<b>k</b>	Sapmayı para birimine çeviren bir katsayı
<b>Lc</b>	Örnekleme uzunluğu
<b>Ln</b>	Ölçüm uzunluğu
<b>n</b>	Bir denemedeki test sayısı
<b>Ra</b>	Ortalama Rockwell sertliği
<b>S/N</b>	Sinyal/Gürültü oranı
<b>S<sup>2</sup></b>	Gözlem değerlerinin varyansı
<b>T</b>	Hedef değer
<b>V<sub>a</sub></b>	Eksenel hız
<b>V<sub>u</sub></b>	Çevre hızı
<b>V<sub>s</sub></b>	Kesme hızı
<b>Y</b>	Değişkenin ölçülen değeri
<b>y</b>	Gözlem değerlerinin ortalaması
<b>y<sub>i</sub></b>	Performans yanıtının i. gözlem değeri

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>AQAP</b>	Müttefikler Kalite Güvencesi Yayınları
<b>ASQC</b>	Amerikan Kalite Kontrol Derneği

**Kısaltmalar****Açıklamalar****CEN**

Avrupa Standartlar Komitesi

**DIN 2391**

Soğuk Çekim Borular Standardı

**DPMO**

Milyonda Hata Sayısı

**EN 1035-1**

Sıcak Haddelenmiş Çelik Boru Standardı

**EFQM**

Avrupa Kalite Yönetim Vakfı

**EOQC**

Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonu

**ISO 8402**

ISO 9000 Esaslar ve Sözlük

**İKK**

İstatistiksel Kalite Kontrol

**İPK**

İstatistiksel Proses Kontrol

**JIT**

Tam Zamanında Üretim

**Ln**

Örnekleme Uzunluğu

**Lc**

Ölçüm Uzunluğu

**MBNQA**

Malcolm Baldrige Ulusal Kalite Ödülü

**Mesh**

Eleğin Inch Başına Örgü Sayısı

**TKK**

Toplam Kalite Kontrol

**TKY**

Toplam Kalite Yönetimi

## 1. GİRİŞ

Üretim faaliyeti yürüten tüm işletmeler, ürettikleri ürünlerde en yüksek kalite seviyesini gerçekleştirerek rakipleri ile rekabetlerinde öne geçme çabası içindedirler. Hem bu sebepten dolayı, hem de buna bağlı olarak işletmelerin müşterilerine daha kaliteli, daha ucuz, işlevini tam olarak yerine getiren ürünler sunma çabaları, kalite sağlama uygulamaları geliştirmelerine ya da mevcut kalite uygulamalarını daha etkin bir şekilde kullanmalarına sebep olmuştur. Bu bağlamda kaliteyi sağlamak ve verimi arttırmak, sadece üretim hattında ve üretim esnasında değil, aynı zamanda mamul ve proses tasarım aşamalarında da planlanan ve uygulamaya alınan faaliyetler bütünü haline gelmiş ve kalite artırıcı/koruyucu uygulamalar bu yönde hızlı bir gelişim göstermeye ve yaygınlaşmaya başlamıştır.

Ürün kalitesini geliştirip iyileştirmek için; ürüne ait kalite karakteristikleri, bu kalite karakteristiklerine etki eden faktörler ve bu faktörlerin de hangi seviyelerde etki ettiği tespit edilmeli ve bu tespitler doğrultusunda ürüne; tasarım aşamasından nihai ürün haline gelene kadar hatta müşteriye ulaştıktan sonraki aşamalarda bile müdahalelerde bulunulmalıdır. İşte tam da bu aşamada; gerekli analizleri yapmak için kullanılacak olan parametrelerin sayısı oldukça fazla hale gelebilmektedir. Parametre sayısının artması ile beraber ise kalite iyileştirme çözüm yolları karmaşık hale gelebilmekte ve dolayısıyla çözümlerin uygulanabilirliğinde darboğazlarla karşılaşılabilir.

Parametre sayısının artmasına paralel olarak ortaya çıkan çözüm yolu üretme karmaşıklığı ve uygulama zorluğu durumu üzerinde, Genichi Taguchi adlı Japon mühendis uzun süren çalışmalar gerçekleştirmiş ve normal şartlarda yapılması gereken deneme sayısına oranla çok daha az deneme yapılarak çok iyi sonuçlar verebilen “Ortogonal Diziler Yöntemi’ni” geliştirmiştir. Taguchi, Ortogonal Diziler Yöntemi’nde, kalite karakteristiklerine etki eden faktörlerin seviyelerini tek tek değiştirmek yerine bu faktör seviyelerinin eş zamanlı değiştirilmesi gerekliliği teorisini geliştirmiştir.

Taguchi Metodu'nda verilen kalite tanımı müşteri tabanlıdır. Taguchi, kaliteyi negatif bir şekilde tanımlamaktadır ve Taguchi'ye göre kalite; ürünün yüklenmesinden itibaren topluma kayıp katmaktır.

Taguchi Metodu'nda;

1. Kalite, en baştan beri ürünün bünyesinde olacak biçimde tasarlanmalıdır.
2. Sadece kontrol ve eleme yapılarak kaliteye erişilemez.
3. Kaliteye, hedeften olan sapmaların en aza indirgenmesi ile ulaşılır. Kalite, ürünün sadece istenilen özelliklerin karşılayıp karşılamamasına göre belirlenemez ve kalite maliyeti, ürünün performans varyasyonlarının ölçülebilir bir fonksiyonu ve ölçülebilir sistem kayıpları kullanılarak bulunabilir [1].

ilkeleri temel alınmıştır.

Bu tez ile sanayide birçok amaç için kullanılmakta olan honlanmış boruların boru iç yüzeyi yüzey pürüzlülük değerine etki eden faktörlerin, Taguchi Metodu ile optimize edilmesi ve buna bağlı olarak honlama prosesi sonrası yüzey pürüzlülük değerinin en iyilenmesi amaçlanmıştır.

Honlanmış boruların, boru iç yüzeylerindeki yüzey pürüzlülük değeri çok önemli bir kalite karakteristiğidir ve bu kalite karakteristiğine etki eden faktörlerin farklı seviyeleriyle yapılan deney sonuçları bu tez çalışması ile incelenecek, faktörlerin hangi seviyelerinde ürün kalitesini gerçekleştirme açısından en iyi sonuçlara ulaşıldığı, Taguchi Metodu kullanılarak tespit edilecektir.

Bu tez ile incelemesi yapılacak olan honlanmış borular genel olarak; hidrolik silindirlerin temel parçalarından olan "kovan" adı verilen elamanlar olarak ve beton pompalarında sevk silindiri olarak kullanılmakla beraber başka farklı pek çok sanayi uygulamasında da kullanılabilirler. Hidrolik silindirlerde kullanılan honlanmış borular içerisinde basınçlandırılmış hidrolik yağ bulunur.

Aynı zamanda bu borular; piston ve piston üzerindeki sızdırmazlık elemanları ile kaydırıcı elemanlara yataklık etme görevini de yerine getirmektedirler. Kovan adı verilen bu honlanmış borular, piston ve üzerindeki elemanlara yataklık görevi yaptığından dolayı, kovan (boru) iç yüzeyinde ki yüzey pürüzlülük değeri çok büyük önem arz etmektedir.

Boru iç yüzeyi pürüzlülük değeri, belirlenen tolerans limitleri dışına çıktığı takdirde; piston üzerinde yer alan sızdırmazlık elemanları olan keçe takımları ile pistonun boru içindeki hareketini kolaylaştıran kaydırıcılar; boru iç yüzeyinde ki yüzey kalitesizliği sebebiyle zarar görecektir ve asli görevlerini yerine getiremeyeceklerdir. Bu asli görevler; sızdırmazlık elemanları için boru içinde pistonun boru ile temas ettiği noktalardan boru içi yağ kaçaqları olmasını engellemek iken kaydırıcı için ise hem pistonun boru içinde hareketini kolaylaştırmak hem de pistonun boru içinde yataklanmasına destek olmaktadır.

Piston üzerinde yer alan bu elemanların zarar görmesi sonucunda piston doğrudan boru iç yüzeyi ile temas edecektir. Bu durum ise piston ve boru malzemelerinin aşınmasına, boru iç yüzeyinde derin çiziklere ve piston ile borunun birbirine sıvanmasına neden olabilecektir. Tüm bu etkenler ise, hidrolik silindirin eksenelliğini olumsuz etkileyecek ve eksen kaçıklığına neden olacaktır.

Eksen kaçıklığı ise istenmeyen yükleri de silindir elemanlarına taşıtmak anlamına geleceğinden dolayı, bu durum;

1. Hidrolik silindirde bulunan diğer elemanlarının kullanım ömürlerinin azalmasına,
2. Hidrolik silindir eğer bir şaseye bağlantılı olarak çalışacaksa ve silindir bu şase bağlantısından güçlü ise makinanın şasesinde istenmeyen zorlanmalara ve şasede deformatif bozulmaların gerçekleşmesine
3. Sistemin hızlı ısınmasına,
4. Hidrolik pompada ve elektrik motorunda zorlanmalara dolayısıyla da güçte kayıplara ve verimde düşüşün görülmesine,

sebepler olacaktır [2].

Bu tez altı bölümden oluşmaktadır. Tezin birinci bölümü Giriş bölümüdür.

İkinci bölümde; Honlama Prosesi hakkında bilgiler verilmiştir ve honlanmış boruların malzeme yapıları, kalite karakteristikleri ve kullanım alanları anlatılmış ve bunlarla beraber yüzey pürüzlülüğü hakkında da detay bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde; Taguchi Deney Tasarımı üzerinde durulmuştur. Taguchi yöntemi detaylı olarak tanımlanıp açıklanmış, Taguchi Metodolojisi detaylandırılıp, şematize edilerek anlatılmıştır ve aynı zamanda uygulanmakta olan çeşitli kalite teknikleri hakkında bilgiler verilmiş ve Taguchi Metodu ile klasik kalite anlayışlarının bir kıyaslaması yapılmıştır.

Dördüncü bölümde; Honlama Prosesi sonrası boru içi yüzey pürüzlülük değerini eniyilemek amacı ile; ilerleme hızı, takım dönüş hızı ve honlama taşı tane büyüklüğü faktörleri ele alınarak yapılan deneyler ve bu deneylerden elde edilen sonuçların analizleri yer almaktadır. Ayrıca deneyde kullanılacak olan ekipmanların spesifik özellikleri de bu bölümde verilmiştir.

Beşinci bölümde; deneylerden elde edilen sonuçlarının analizleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu tezde incelenen yüzey pürüzlülüğü kapsamında olmasa bile honlama prosesinin önemli karakteristiklerinden olan silindiriklik ve dairesellik ölçüm sonuçları ve elde edilen bu sonuçlar üzerinde yapılan yorumlar da bu bölümde yer almaktadır.

Altıncı bölümde ise sonuç ve buna bağlı öneriler kısmında; çalışma sonunda elde edilen sonuçlar üzerinde tartışılmış ve ilerleyen zamanlarda yapılabilecek çalışmalar/faaliyetler/uygulamalar ve alternatifler ile ilgili önerilere yer verilmiştir.

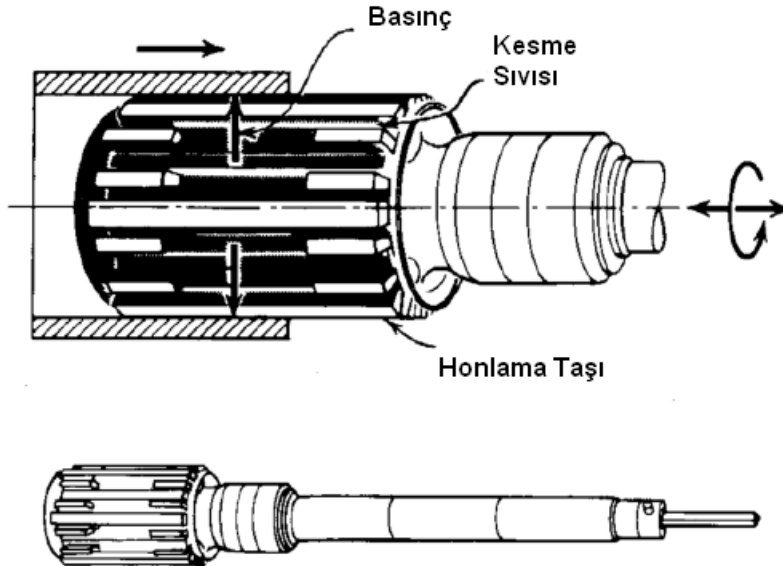


## 2. HONLAMA PROSESİ, HONLANMIŞ BORULAR, MALZEME YAPILARI, KULLANIM ALANLARI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

### 2.1. Honlama

Honlama, metal iş parçasında hassas bir yüzey elde etmek amacı ile uygulanan aşındırıcı bir talaşlı imalat yöntemidir. Honlama prosesi çoğunlukla hidrolik boruların ve içten yanmalı motor silindirlerinin iç yüzey iyileştirmesinde gerçekleştirilen son operasyon (finish) olarak uygulanmaktadır. Honlama işlemi, kendi eksenini etrafında dönen honlama kafası üzerine monte edilmiş bir ya da birden fazla honlama taşının, kontrollü ve ayarlanabilir bir baskı kuvveti ile silindir/boru iç yüzeyine kuvvet uygulaması ile gerçekleştirilmektedir (Resim 2.1.).

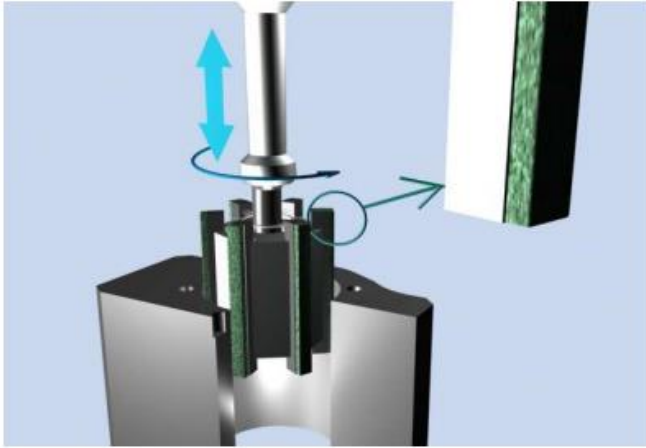
Honlama prosesi hem yüzey geometrisini düzeltilirken hem de yüzey pürüzlülük değerini iyileştirilmek amacı ile uygulanan bir talaşlı imalat yöntemidir. Honlamaya oranla daha az kullanılmasına rağmen yüzey kalitesini honlamaya göre daha üstün hale getiren; ezme ve elektrokimyasal honlama yöntemleri gibi farklı prosesler de uygulamada kullanılmaktadır.



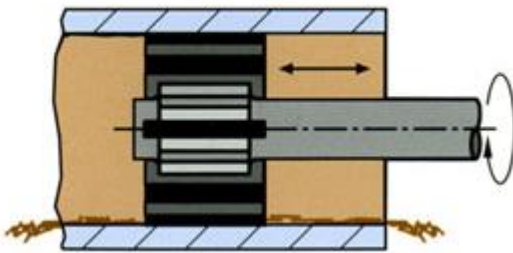
Resim 2.1. Honlama prosesi ve honlama kafası

## 2.2. Honlama Mekanikği

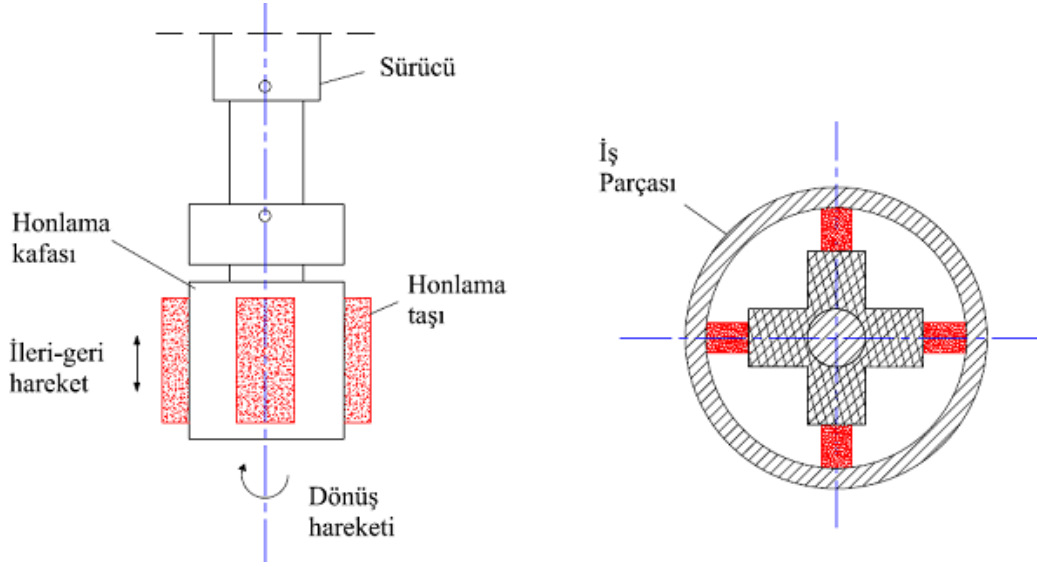
Honlama işleminde honlama taşı üç hareketi beraber yapmaktadır (Resim 2.2., Resim 2.3., Resim 2.4., Resim 2.5.). Bunlar; hidrolik ya da pnömatik etki ile radyal olarak bir baskı kuvveti uygulayarak içinde çalıştığı deliğın/borunun çapını büyütme hareketi ve kendi eksenı etrafında dönme hareketi ile beraber aksenel olarak ileri-geri hareketidir. Kendi eksenı etrafında dönüş ve ileri-geri hareketleri sayesinde honlama taşı boru iç yüzeyinde geniş bir alana temas edecek ve böylece honlama taşının kusurları boru iç yüzeyine/deliğe taşınmayacaktır. Bunun yerine ise hem honlama taşı hem de delik, taşın hareketine uygun bir geometriye yani silindirik bir geometriye ulaşacak yani honlama taşı istenilen forma girecektir. Bundan dolayı honlama prosesinde honlama taşının bilenmesine ya da sıfırlanmasına ihtiyaç duyulmayacaktır. Böylece tezgâhın hassasiyetinin de ötesinde bir işleme hassasiyeti elde edilecektir.



Resim 2.2. Honlama prosesinde hareketler (Dikey honlama)



Resim 2.3. Honlama prosesinde hareketler (Yatay honlama)



Resim 2.4. Honlama mekanizması



Resim 2.5. Değişik çaplarda honlama kafaları ve honlama taşlarının yerleşimi

Hidrolik silindir borusu/sevk silindiri honlama operasyonları genel olarak;

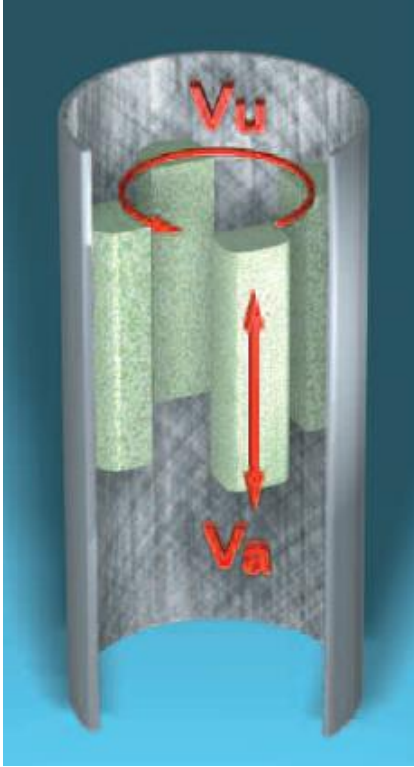
1. Uzun stroklu honlama
2. Kısa stroklu honlama

olmak üzere iki kısımda incelenebilir.

### 2.2.1. Uzun stroklu honlama

Uzun stroklu honlamada iş akışı, üst üste gelen iki hareket ile tanımlanabilir (Resim 2.6.). Bunlar;

1. Honlama taşının dönme hareketi ( $V_u$ )
2. Honlama taşının doğrusal strok hareketi ( $V_a$ )



Eksenel hız:  $V_a$

Çevre hızı:  $V_u$

Kesme hızı:  $V_s$

$$V_s = \sqrt{V_a^2 + V_u^2}$$

$$\frac{\alpha}{2} = \arctan \frac{V_a}{V_u}$$

Resim 2.6. Uzun stroklu honlamada hareketler

Strok yönünün değiştirilmesi ile işleme izlerinin kesişmesi sağlanır. Bunun sonucunda çapraz taranarak işlenmiş bir yüzey elde edilir (Şekil 2.28.).

### 2.2.2. Kısa stroklu honlama

Kısa stroklu honlamaya Super Finish' te denilmektedir. Strok uzunluğu ve frekansı ile uzun stroklu honlamadan farklılık göstermektedir. Yüzey kalitesini oldukça iyi seviyelere çıkarır.

### 2.3. Delik/Boru İşleme Metodları

Yüzey bitirme prosesleri, makina üretiminde her geçen gün daha önemli hale gelen proseslerdir. İyi bir bitirme yüzey kalitesi makine parçalarının aşınma dirençlerini, yük taşıma kapasitelerini, takım ömrü ve yorulma özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Öte yandan kaba bir bitirme yüzeyi ise aşınmayı artırıcı, yorulma dayanımı azaltıcı ve verilen tolerans değerlerinde parça üretimini zorlaştırıcı etkiye sahiptir (Hassan ve Bsharat, 1996a; Hassan ve Abdel-Wahhab, 1996).

Delik bitirme prosesi olarak çeşitli uygulamalar kullanılmaktadır.

Bunlar;

1. Honlama
2. Ezme
3. Taşlama
4. Tornalama
5. Raybalama
6. Matkap ile delme

gibi işlemlerdir.

Honlama, ezme, delme, tornalama, raybalama, taşlama, vs. gibi yüzey bitirme yöntemleri makine imalat sanayinde oldukça yaygın ve etkin olarak kullanılan proseslerdir. Bu yöntemlerde istenilen yüzey kalitesinin elde etmek, uygulanan talaş kaldırma prosesine bağlı olduğu için kullanılan talaşlı imalat yöntemi sonrası oluşan yüzey izleri, ileride yüzey aşınmalarına ve geometrik tolerans problemlerine neden olabilmektedir [3].

Gelişmekte olan teknolojik üretime bağlı olarak makina imalat sanayinde, bitmiş yüzey özelliklerinin önemli olduğu parçaların üretiminde ezme (Roller Burnishing) ile yüzey elde etme işlemi tercih edilmektedir. Ezme işlemi, talaşsız imalat ve diğer yöntemlere göre daha basit uygulanabilir bir işlem olmasından dolayı

oldukça iyi bir yüzey kalitesi sunmaktadır (Rajasekariah ve Vaidyanathan 1975; Murthy ve Kotiveerachari 1981; Hassan ve Abdel-Wahhab, 1996; Hassan ve Bsharat, 1996).

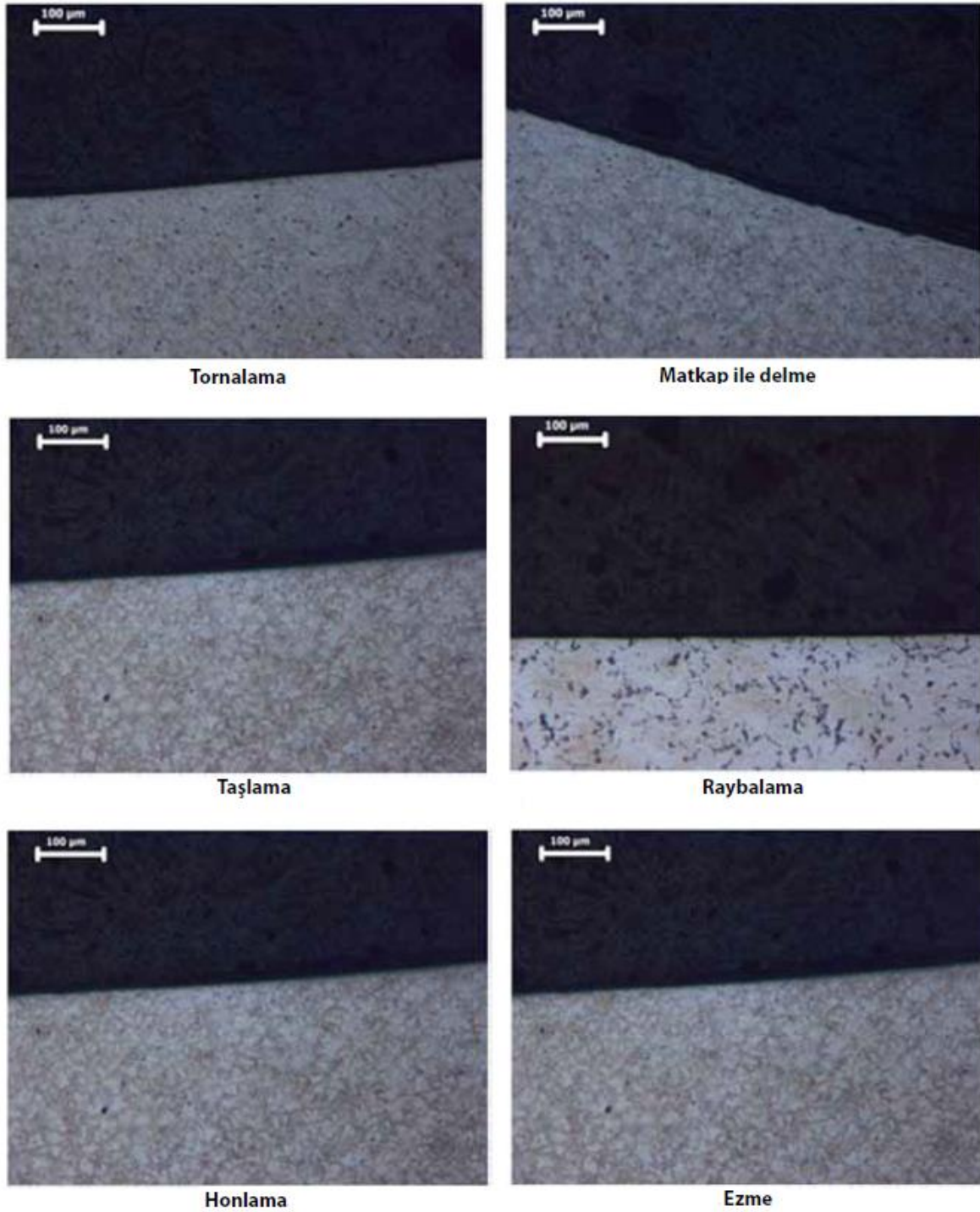
### **2.3.1. Delik işleme metodlarının karşılaştırılması**

Metalografik olarak yüzey morfolojileri incelendiğinde honlama ve ezme yöntemlerine ait yapıların bir birine benzediği ve bu işlemlerde yüzey pürüzlülüğünün en az olduğu görülmektedir.

Honlama prosesinde micro ölçekte işleme söz konusu olduğundan yüzey kalitesi üst seviyelerdedir.

Taşlama ve honlama işlemlerinde aşındırıcı taneciklerin yüzeyde çok ince bir tabakada ısıl etki oluşturmalarından dolayı ergime ve bunun sonucunda da yüzeyde ince bir tabaka oluşur. Plastik olarak deforme olan veya ergiyen kısımları tümsek kenarlarına akarak ince bir tabaka oluşturur.

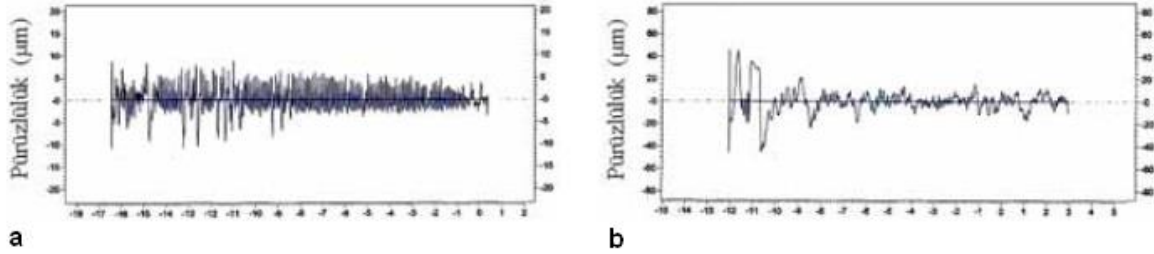
Matkapla delme prosesinde ise delik yüzeyinde deformasyon miktarının yoğunluğu, malzeme kaybından dolayı oluşan krater boşlukları ve bunun sonucunda delik yüzeyinde oldukça belirgin bir kaba yapının ortaya çıktığı görülmektedir [3] (Resim 2.7).



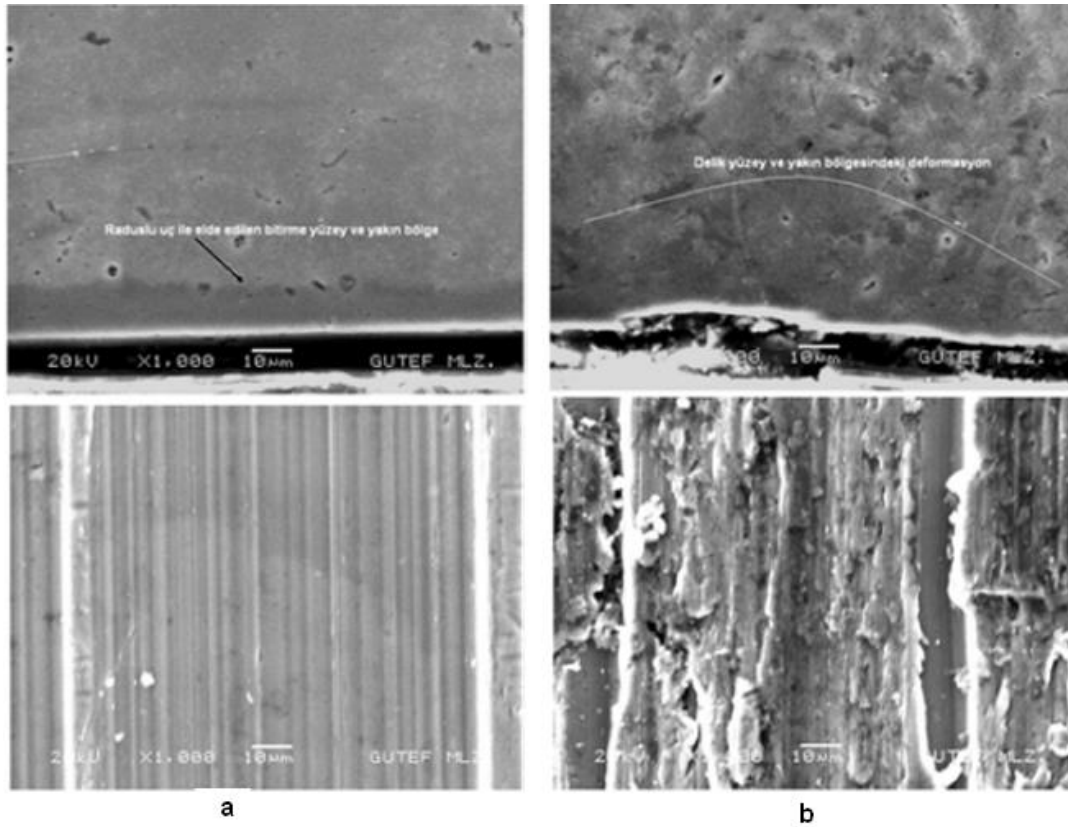
Resim 2.7. Yüzey işleme yöntemlerine göre micro yapıların değişimi (Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parça) [3]

Tornalama prosesinde, matkapla delik delme prosesine benzer olmasına rağmen daha düzgün bir yüzey ortaya çıkmaktadır. Taşlama ve raybalama proseslerinde ise orta kalitede delik yüzeyi elde edildiğini görmek mümkündür. Diğer delik işleme prosesleri ile karşılaştırıldığında ezme işleminde, yapısı daha homojen ve deformasyondan daha az etkilenmiş bir yüzey elde edilmiştir. Taşlama ve honlama

proseslerinde kesme sıvıları da kullanılmasına rağmen yüzeyde belli derinliklerde yanma kaynaklı yapı değişimi görülmektedir [3].



Şekil 2.1. Yüzey pürüzlülük profili, a. Tornalama, b. Matkapla Delme (Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parça) [3]



Resim 2.8. Yüzey işleme yöntemlerine bağlı SEM görüntüleri [3]

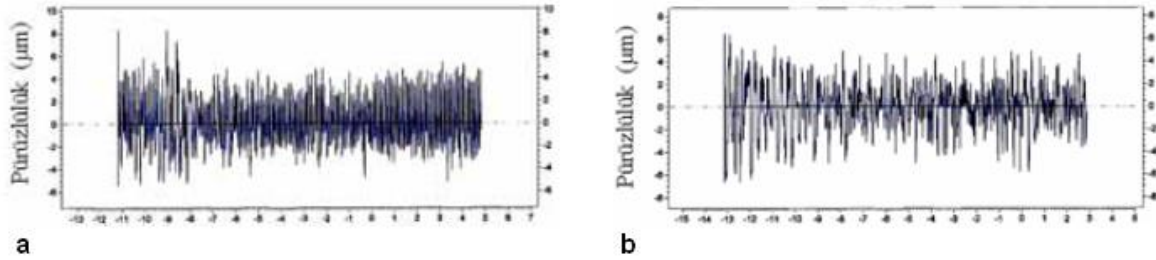
a) Tornalama, b) Matkapla Delme (Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parça)

Hassas yüzey tornalama prosesinde elde edilen yüzeye dik bakıldığında tornalamadan etkilenen bir bölgenin olduğu net bir şekilde görülmekte olup, tornalanan yüzeyin bozuk bir yapıda olduğu da açıkça gözlenmektedir [3].

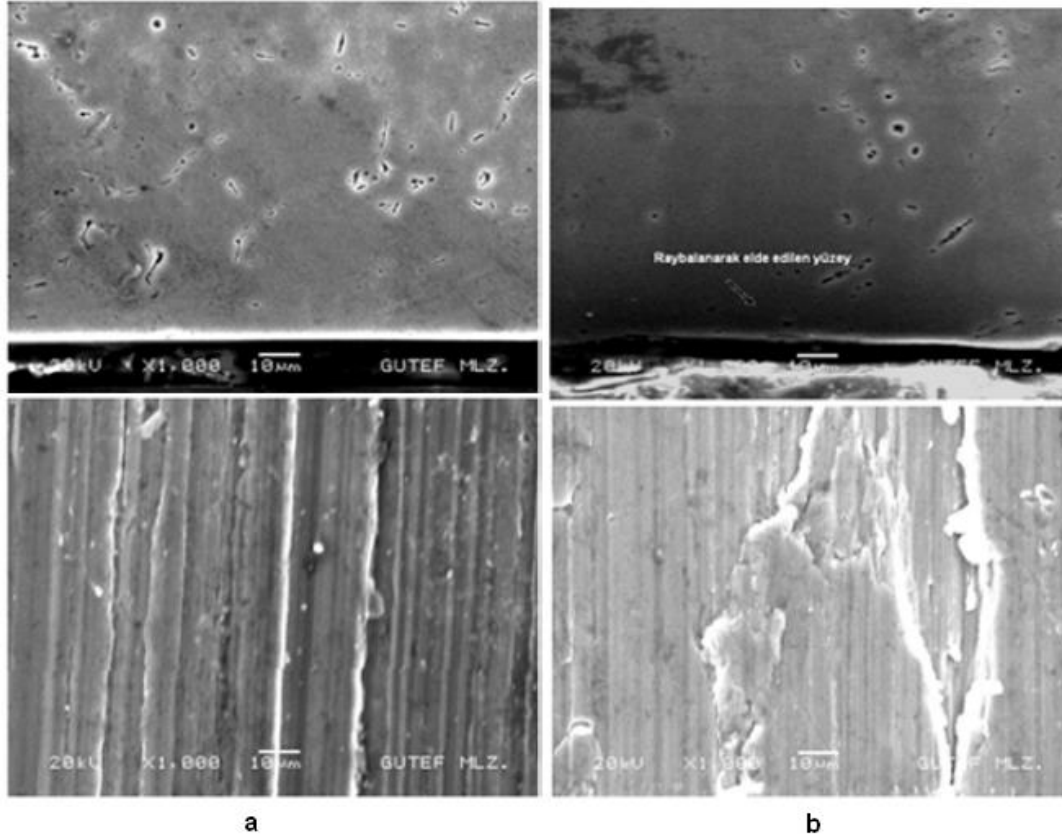
Matkapla delme işlemi ile elde edilen yüzeye dik bakıldığında ise proses sırasında meydana gelen deformasyonun kesme kenarından iç bölgelere doğru etkisi çok



açıkça görülmekle beraber, matkapla elde edilen bitirme yüzeyinin diğer delik bitirme proseslerine göre çok daha kötü olduğu görülmektedir [3] (Şekil 2.1., Resim 2.8.).



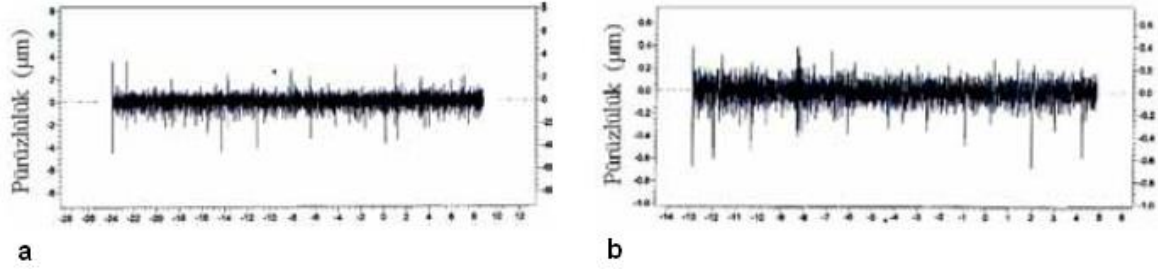
Şekil 2.2. Yüzey pürüzlülük profili, a. Taşlama, b. Raybalama (Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parça) [3]



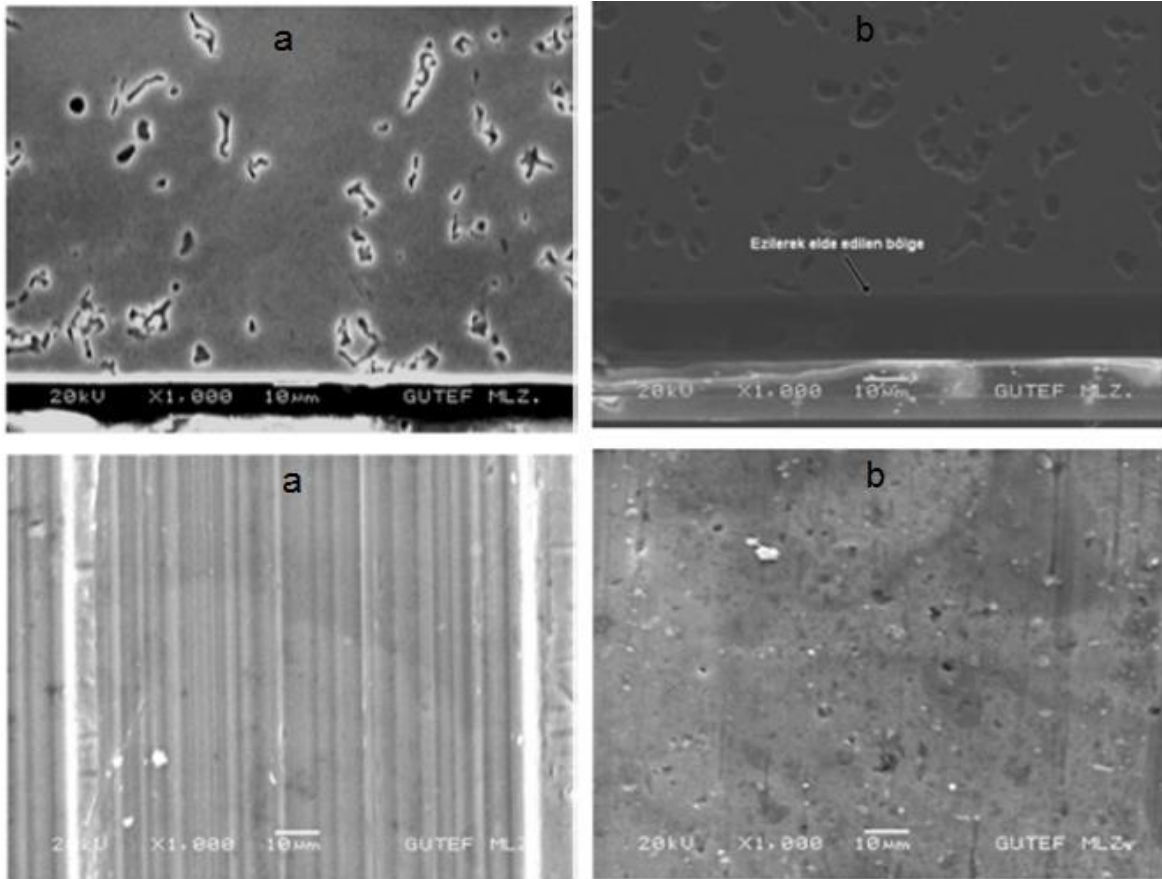
Resim 2.9. Yüzey işleme yöntemlerine bağlı SEM görüntüleri [3]  
a)Taşlama, b) Raybalama (Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parça)

Raybalama prosesi elde edilen yüzeye dik bakıldığında ise, belirli bir derinliğe kadar deformasyon etkisi net olarak görünüyorken, elde edilen yüzeyin ortalama bir kalitede olduğu da açıkça görülmektedir [3] (Şekil 2.2., Resim 2.9.).

Taşlama prosesi ile elde edilen yzeye dik bakıldığında işlenmiş yzeye ve yakın bglgesinde kucuk oranlarda da olsa deformasyonun sız konusu olduğu gcrulmektedir ve taşlanarak elde edilen yzeye ortalama bir yzeye kalitesine sahip olduğu gczlenmektedir [3] (şekil 2.2., Resim 2.9.).



şekil 2.3. Yzeye pürüzlülük profili, a. Honlama, b. Ezme (Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parça) [3]



Resim 2.10. Yzeye işleme yöntemlerine bağlı SEM görüntüleri [3]  
a)Honlama, b)Ezme (Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parça)

Ezme prosesi ile elde edilen yzeye dik bakıldığında ezme işleminden etkilenen bölge çok net olarak görünmekte olup, ezilen yzeye diğer bitirme işlemleri ile

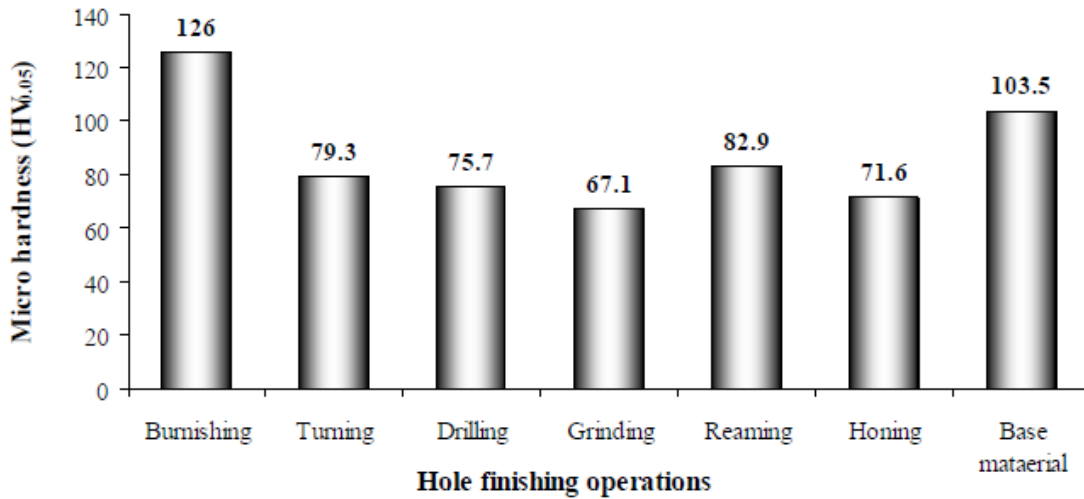
elde edilen yüzeylerle karşılaştırılması sonrasında en pürüzsüz yüzey olduğu görülmektedir [3].

Honlama prosesi ile elde edilen yüzeye dik bakıldığında honlamadan etkilenen bölgenin yok denecek kadar az olduğu ve elde edilen yüzeye bakıldığında ezme işleminden sonra en iyi yüzey kalitesi sonuçların elde edildiği görülmektedir [3] (Şekil 2.3., Resim 2.10.).

Özellikle matkap ile işlemede plastik deformasyonun en yüksek seviyede olduğu ve bunun sonucunda da yüzeyde aşırı miktarda bozulma olduğu gözlenmiştir.

“Ezme ve Honlama proseleri sonucunda elde edilen yüzeylerin birbirine benzediği görülmüştür ancak bunun yanında ezme ile elde yüzeylerin daha yüksek kalitede ve daha tüm işleme bölgesinde daha benzer bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir.”

Numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen en optimum yüzey karakterizasyonunun ve mekanik özellikler kombinasyonunun ezme işleminde elde edildiği görülmüştür.



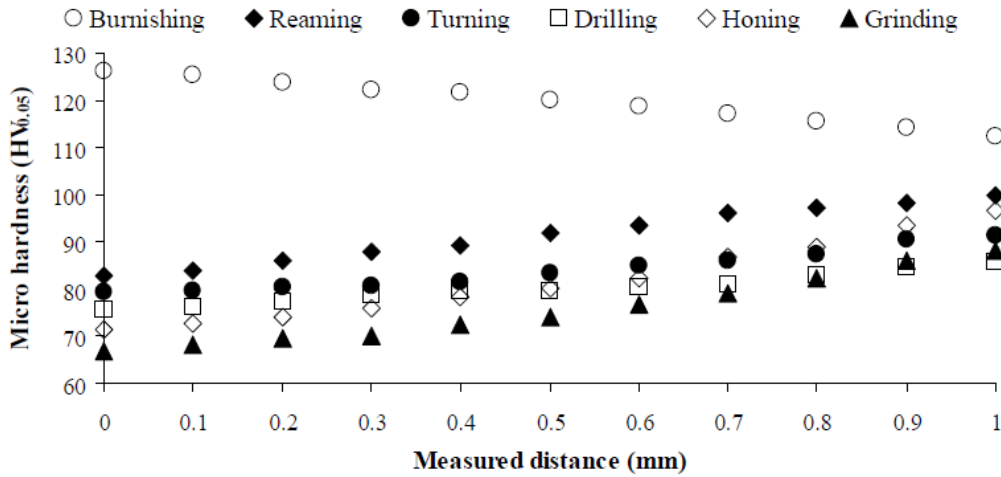
Şekil 2.4. Farklı yüzey işleme yöntemlerinde micro sertlik değişimi [4]

Yüzey bitirme proselerinden taşlama, tornalama, raybalama ve matkapla delme uygulamaları sırasında yüzeyde oluşan ısının etkisiyle sertlik değerlerinin honlama ve ezme yöntemlerine oranla daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır [3].

Honlama prosesi sırasında meydana gelen anlık ısı etkisi nedeniyle sertlikte çok az da olsa bir kayıp söz konusu olmaktadır, ezme prosesinde sertlik değerleri tüm diğer iç yüzey bitirme proseslerinden daha yüksek olmuştur [3].

Ezme prosesi sırasında meydana gelen yoğun plastik deformasyondan dolayı deformasyon sertleşmesi yani pekleşme oluşur ve sertlik değerinde önemli derecede bir artış meydana gelir.

Tüm yöntemler değerlendirildiğinde en iyi sertlik değerleri ezme prosesi sonucunda elde edilmiştir [3] (Şekil 2.4., Şekil 2.5.). Literatür taramalarında da görülmüştür ki, ezme prosesi tüm malzemelerin yüzeylerinde sertliğin artmasına sebep olmaktadır (Czichos, 1978). Elde edilen deney sonuçları da literatürde ki uygulamalar tarafından da desteklenmektedir [3].



Şekil 2.5. Farklı yüzey işleme yöntemlerinde yüzeyden merkeze mikro sertlik değişimi [4]

Delik işleme operasyonlarında göz önüne alınması gereken iki önemli kalite karakteristiği daha vardır. Bunlar; Dairesellik ve silindirikliktir.

Dairesellik, boru enine kesitini yani dairesel kesitte meydana gelene sapmaları ifade etmektedir.

Görüldüğü gibi en iyi dairesellik değeri ezme işlemi sonrada honlama işlemi ile elde edilmektedir (Resim 2.11.). Daireselliğin bozulması;

1. Takım aşınmasından
2. Takımın doğru pozisyonlanmamasından
3. Kesme esnasında uygulanan kuvvetlerin düzensizliğinden

kaynaklanmaktadır.

Daireselliğin değişim aralığı;

1. Kesme hızı
2. İlerleme, paso kalınlığı
3. Paso sayısı

vb. gibi birçok parametreden etkilenmektedir (Pettersson ve Jacobson, 2003).

Ezme işleminde daireselliği ve yüzey karakteristik özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden biri paso sayısıdır. Paso sayısının artışı dairesellikte önemli ve gözle görülür düşüştürelere sebep olmaktadır.

“Bu düşüşlerin, plastik deformasyon sonucunda oluşan aşırı deformasyon sertleşmesinden kaynaklandığı bilinmektedir. (Axir ve İbrahim, 2005).”



a. Tornalama



b. Matkap



c. Honlama



d. Ezme



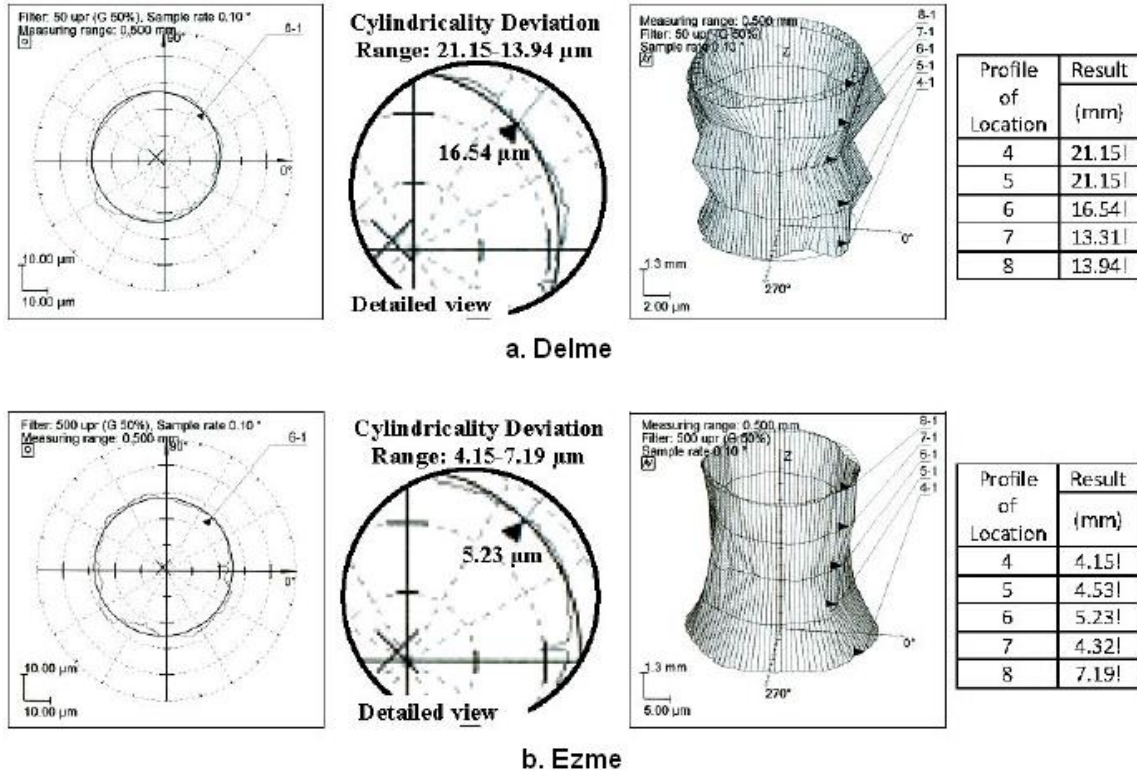
e. Taşlama



f. Raybalama

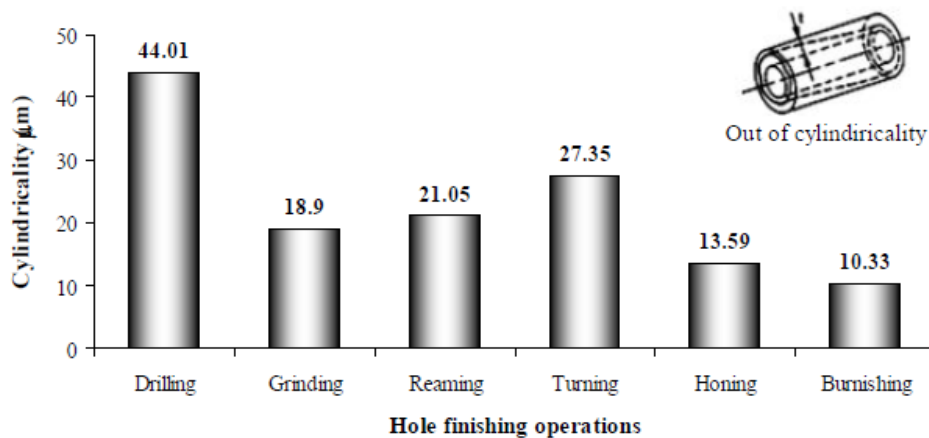
Resim 2.11. Değişik yüzey işleme yöntemlerine daireselliklerin değişimi [3]

Silindiriklik, delik işleme boyunca ki çap değişimlerini belirten ifadedir. Koniklik olarak ta adlandırılır.



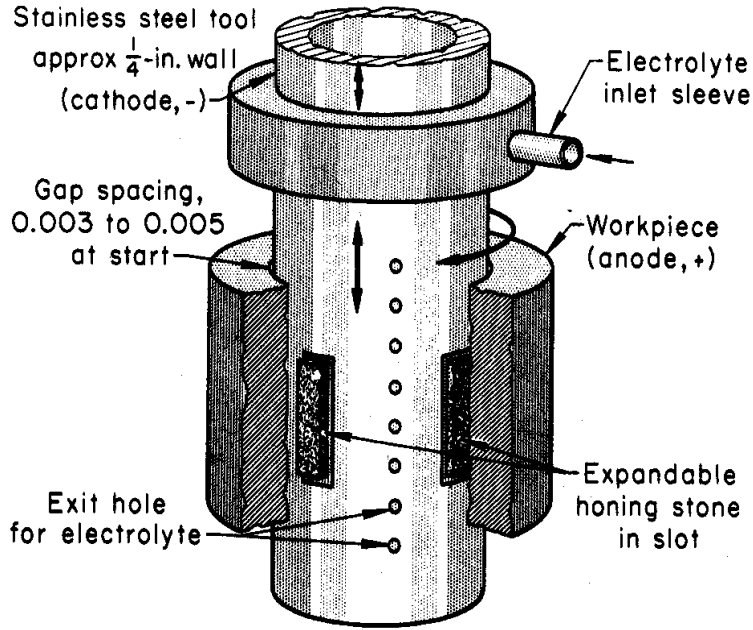
Resim 2.12. İki farklı işleme yönteminde silindiriklik değerleri [3]

Uygulamada koniklik te denilmektedir. En genel olarak tanımlanacak olursa; tüm işleme boyu boyunca nominal çapta meydana gelen kaçıklıklardır. (Şekil 2.5) Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında ezme ve honlama işlemlerinin en iyi silindiriklik değerlerini verdiği belirlenmiştir [4] (Resim 2.12., Şekil 2.6.).



Şekil 2.6. Farklı bitirme işlemlerinin silindiriklik değerlerinin karşılaştırılması [4]

Belirtilen tüm bu geleneksel yöntemlere ilaveten alışılmamış imalat yöntemleri sınıflandırması kapsamı içine girebilecek “Elektrokimyasal Honlama” adı verilen bir delik içi son işlem prosesi daha vardır (Resim 2.13.).



Resim 2.13. Elektrokimyasal honlama [5]

Elektrokimyasal honlamanın işleme mekanizması şu şekildedir;

İş başlangıcında iş parçası-hon gövdesi arası mesafe 1 mm kadardır. İşleme ilerledikçe bu aralık büyür.

Hon gövdesi (metal esaslı) elektro-kimyasal işleme yaparken, hon gövdesi üzerindeki hon taşları (aşındırıcılar) mekanik işleme yaparlar. Aşındırıcılar iş parçası yüzeyindeki koniklik, dalgalı yapı ve radyal salgıyı almanın yanında, iş parçası yüzeyinde elektrokimyasal işlemeden kalan artıkları temizlerler [5].

Elektrokimyasal honlamada elde edilebilecek teknolojik değerler ise şöyledir;

1. Boyut toleransı;  $\pm 0,01$  mm
2. Radyal salgı (OOR - out of roundness); 0,005 mm'den daha küçük
3. Yüzey Pürüzlülüğü; 0,1–0,5  $\mu\text{m}$  ( $R_a$ )

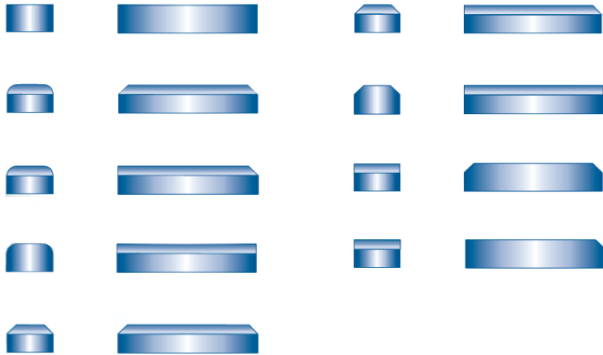


Elektrokimyasal honlamanın avantajları ise aşağıdaki sıralanabilir.

1. Honlama taşı aşınması en alt seviyededir.
2. İşleme hızı ve dolayısıyla proses süresi klasik honlama prosesine göre daha yüksektir.
3. Honlama taşları üzerine daha az kuvvet uygulanır. İnce et kalınlıklı boruların honlanmasında çok daha iyi sonuçlar (hassasiyet) verir.
4. Isıl ve mekanik etkilenme yoktur.

## 2.4. Honlama Taşı

Honlama prosesi ile yüzey kalitesi iyi, hassas yüzeyler elde edebilmek için özel honlama taşları kullanılır (Resim 2.14., Resim 2.15.). Honlama taşları yapıştırıcı bir malzeme ile birbirine bağlanan aşındırıcı partiküllerden oluşmaktadır.



Resim 2.14. Sık kullanılan honlama taşı formları



Resim 2.15. İşletmede yoğunlukla kullanılan honlama taşı örnekleri

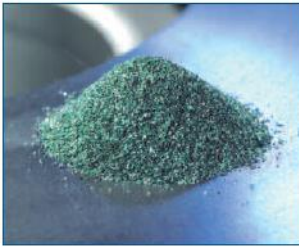
Pratikte en çok kullanılan honlama taşı malzemeleri Silisyum Karbür (SiC) ve Korund (Alüminyum Oksit –  $Al_2O_3$ )'dur.

Silisyum karbür (SiC), saf bir sentetik üründür. Elektrikli direnç fırınlarında; kuvars kumundan ve kok kömüründen yaklaşık 2200 °C' de üretilir. Silisyum Karbür, Korund'a göre daha sert, daha gözenekli ve daha keskin kenarlıdır. Piyasada, genelde yeşil ve siyah Silisyum Karbür olarak bulunmaktadır (Resim 2.3.).

Korund (Alüminyum Oksit –  $Al_2O_3$ ), kristalize Alüminyum Oksit'tir. Saflığına göre; normal, yarı asil ve asil Korund olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır (Resim 2.17.). Çeşitli katkılar ve tanımlanmış soğutma ile Korund'un sertliği belirlenir.  $Al_2O_3$  oranının artması ile beraber Korund'un sertliği ve gözenek oranı yükselir.

Belirtilen bu türlerinden başka özel olarak Mikrokrystal Cürüflu Korund adında bir Korund türü daha bulunmaktadır (Resim 2.18.). Bu Korund türü, üretim şekli ve özellikleri sebebi ile geleneksel Korund eriyiklerinden ayrılır.

Özel üretim prosesi nedeniyle Silisyum Karbürden daha düzgün, ince kristal yapılı bir kum oluşur. İnce kristal yapı, artan kum aşınmasında sadece küçük kumların dağılmasını sağlar ve böylece optimum fayda sağlanır.



Resim 2.16. Yeşil Silisyum Karbür (%98-%99,5 SiC)



Resim 2.17. Asil Korund (%99,5  $Al_2O_3$ )

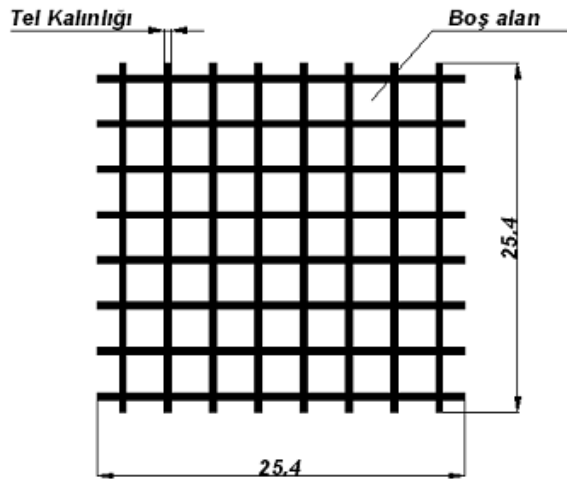


Resim 2.18. Mikrokristal Cürüflu Korund

### 2.4.1. Kum büyüklükleri

Honlama taşı kumları standart elekler vasıtasıyla sınıflandırılır. Nominal kum büyüklüğü, eleğin inch (mesh) başına örgü sayısına göre belirlenir (Resim 2.19., Çizelge 2.1., EK-1).

Örneğin 60 sayısı, ilgili eleğin inch başına 60 örgüsü olduğu anlamına gelir. Sayı büyüdükçe kum daha ince olur. 240 kum büyüklüğünden itibaren kumlar sadece standart eleklerle göre sınıflanmaz. Bunu yerine daha karmaşık ve zor bir yöntem olan Sedimentasyon yöntemi kullanılır.



Resim 2.19. Elek birim mesh yapısı

Çizelge 2.1. Mesh-Micron Çevrim Tablosu

Mesh	Inches	Microns	Millimeters
3	0.2650	6730	6.730
4	0.1870	4760	4.760
5	0.1570	4000	4.000
6	0.1320	3360	3.360
7	0.1110	2830	2.830
8	0.0937	2380	2.380
10	0.0787	2000	2.000
12	0.0661	1680	1.680
14	0.0555	1410	1.410
16	0.0469	1190	1.190
18	0.0394	1000	1.000
20	0.0331	841	0.841
25	0.0280	707	0.707
30	0.0232	595	0.595
35	0.0197	500	0.500

Mesh	Inches	Microns	Millimeters
40	0.0165	400	0.400
45	0.0138	354	0.354
50	0.0117	297	0.297
60	0.0098	250	0.250
70	0.0083	210	0.210
80	0.0070	177	0.177
100	0.0059	149	0.149
120	0.0049	125	0.125
140	0.0041	105	0.105
170	0.0035	88	0.088
200	0.0029	74	0.074
230	0.0024	63	0.063
270	0.0021	53	0.053
325	0.0017	44	0.044
400	0.0015	37	0.037

#### 2.4.2. Honlama taşının sertliği

Sertlik; honlama taşı kumunun, honlama taşına nasıl bir sabitlik derecesi ile bağlı olduğuna göre tanımlanır. 150 ve daha ince değerlerde ki honlama taşlarında sertlik derecesi bir sayı ile belirtilir. Buna göre “200” en yumuşak, “0” en sert honlama taşını ifade etmektedir. 120 ve daha büyük kumlar için ise sertlik harf ile gösterilmektedir (Çizelge 2.2.). İşaretleme alfabetik sıralama ile dizilen harflerden oluşur ve bu durumda “A harfi çok yumuşak, Z harfi çok sert” yapıyı ifade eder.

Honlama taşları için sertlik deneyi, modifiye edilmiş Rockwel testi ile bulunur. Bu testte, tanımlanmış şartlara uygun olarak misketli baskı uygulanır (Çizelge 2.3.). Sertlik değeri, misketin oluşturduğu derinliğe göre belirlenir. Sayı büyüdükçe honlama taşının sertliği düşer.

Çizelge 2.2. Honlama taşının sertliği

Tanım	En düşük sertlik	En yüksek sertlik
Kum büyüklüğü 150 ve daha ince	200	0
Kum büyüklüğü 120 ve daha kalın	A	Z

Çizelge 2.3. Honlama taşı sertlik testi

Misket çapı	5 mm
Ön yük	9,81 N
Ana yük	490,5 N

### 2.4.3. Bağlayıcılar

Bağlayıcının görevi, kesim süreci sonuna dek kumu honlama taşının içinde tutmaktır. Bağlayıcılar; seramik bağlayıcı, Kaolin, Feldspat, Kuvars ve Bor silikatlarından oluşur. Bu hammaddelerin çeşitli birleşimlerinden ve üretim sürecinde ki kesin yanma yönetimi sayesinde honlama tekniğine yönelik çeşitli özellikler elde edilir. Seramik bağlayıcıların çeşitliliği sayesinde honlama taşı, işleme prosesine tam olarak uyum sağlayabilir. Honlama taşları genellikle seramik bağlayıcılarla üretilir. Özel uygulama durumlarında yapay reçine bağlayıcıları da kullanılabilir.

### 2.5. Kesme Sıvısı

Honlama prosesi için genellikle düşük viskoziteli (ince akışkan) honlama yağları kullanılır. Honlama yağının sıcaklığı, proses sonuçlarına etki edebilen bir durumdur. Soğutma sıvısı viskozitesinin uygun olmaması durumunda iş parçasında sıcaklığa bağlı genleşme ve esnemeler olabilir. İdeal honlama sıcaklığı 20-25 °C arasındadır (Çizelge 2.4.). Soğutma sıvısı aynı zamanda yüzeyden kaldırılan talaşı da işleme ortamından uzaklaştırma görevini gördüğünden dolayı filtreleme de oldukça önemlidir. Çünkü soğutma sıvısı filtrelenerek tekrar sistem girmektedir. Eğer iyi bir filtreleme sistemi kurulmamışsa, honlama yağı içindeki partiküller, honlama yüzeyinde istenmeyen derin çiziklere neden olabilirler.

Çizelge 2.4. Honlama yağında sıcaklık ve filtreleme etkileri

Çok soğuk	Çok sıcak	Yetersiz filtreleme
Yüksek viskozite (kalın yağ), kötü yüzey kalitesi	1. Düşük viskozite (ince yağ) 2. Isı esnemesi kaynaklı ölçü hataları	1. Yetersiz temizleme performansı, 2. Kötü yüzey kalitesi

## 2.6. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey, bir parçayı sınırlayan ve çevresinden ayıran fiziksel bir özelliktir [6].

Yüzeyler çeşitli şekillerde tanımlanır. Bunlar;

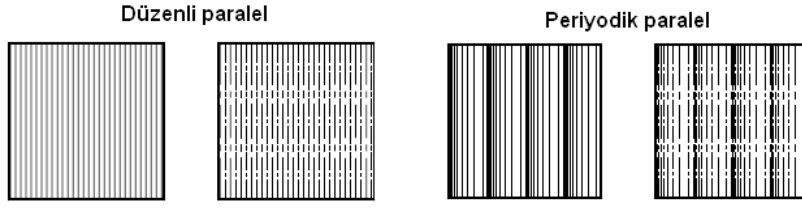
### 2.6.1. İmalata göre yüzeyler

Bu grubun kapsamında; i. Ham yüzeyler (sıcak haddelenmiş, dövülmüş veya dökümlle elde edilmiş yüzeyler), ii. İşlenmiş yüzeyler; talaşlı veya talaşsız imalatla elde edilmiş yüzeyler, ısıl işlem görmüş yüzeyler, yüzey kaplaması (metal veya metal olmayan kaplamalar) görmüş yüzeyler, iii. Kimyasal işlemlerle korunmuş veya güzelleştirilmiş yüzeyler bulunmaktadır.

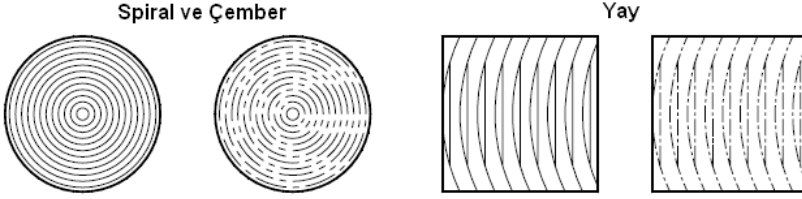
### 2.6.2. Kullanılışa göre yüzeyler

Bu grup yüzeylerin kapsamı içerisine; i. Mekanik etkinin olmadığı yüzeyler (görünen yüzeyler; estetik veya psikolojik şartları yerine getiren yüzeyler, ek işlem yapılacak tutucu yüzeyler; kaplama, boyama veya yapıştırma için yüzeyler, optik özelliği olan yüzeyler; ışığı kıran veya aksettiren yüzeyler), ii. Hareketsiz yüzeyler (Belirli geçme özelliğini veren iki parçanın yüzeyleri, Dayanma yüzeyleri. Darbeli teması karşılayan yüzeyler. Sızdırmazlık yüzeyleri; gaz ve sıvılar için), iii. Hareketli yüzeyler Kayganlık özelliği istenen yüzeyler; kaygan yatak, kızak, v.b. gibi., Yuvarlanma özelliği istenen yüzeyler), iv. Akışkanları çeviren yüzeyler (Sıvı, gaz ve diğer maddelerin aktığı yüzeyler) girmektedir.

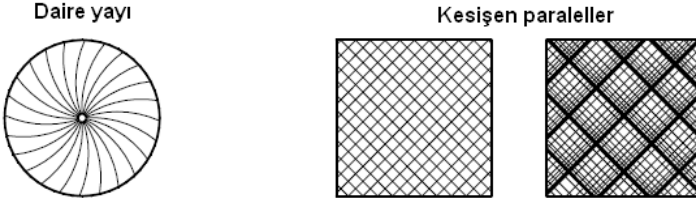
Talaşlı imalat sonrası oluşan yüzeyler; uygulanan talaşlı imalat metodu, kesici takım hareketleri, işleme hızı, iş parçası malzemesinin yapısı gibi özelliklere göre değişik yüzey yapıları almaktadır (Resim 2.20., Resim 2.21., Resim 2.22., Resim 2.23., Resim 2.24.).



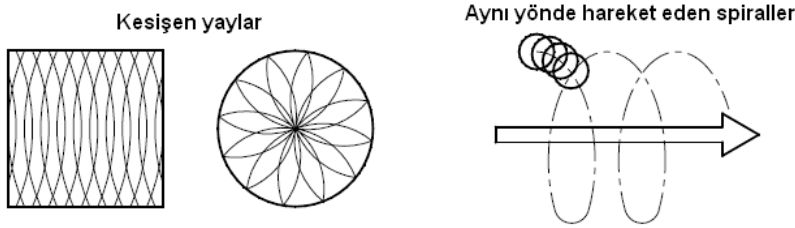
Resim 2.20. Düzenli paralel / Periyodik paralel yüzey taraması [6]



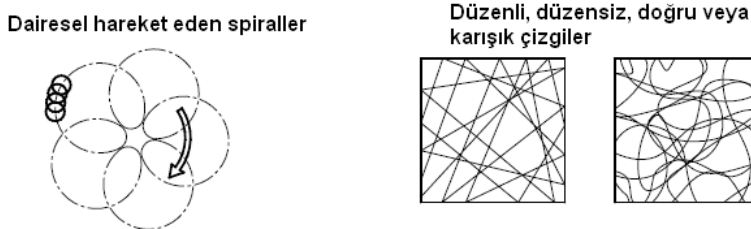
Resim 2.21. Spiral çember / Yay yüzey taraması [6]



Resim 2.22. Daire yayı / Kesişen paraleller yüzey taraması [6]



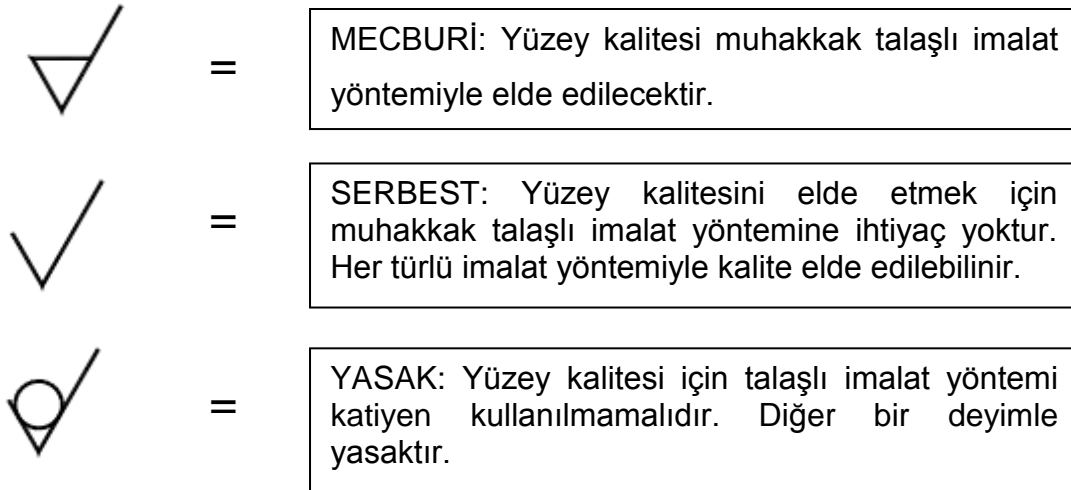
Resim 2.23. Kesişen yaylar / Aynı yönlü spiraller yüzey taraması [6]



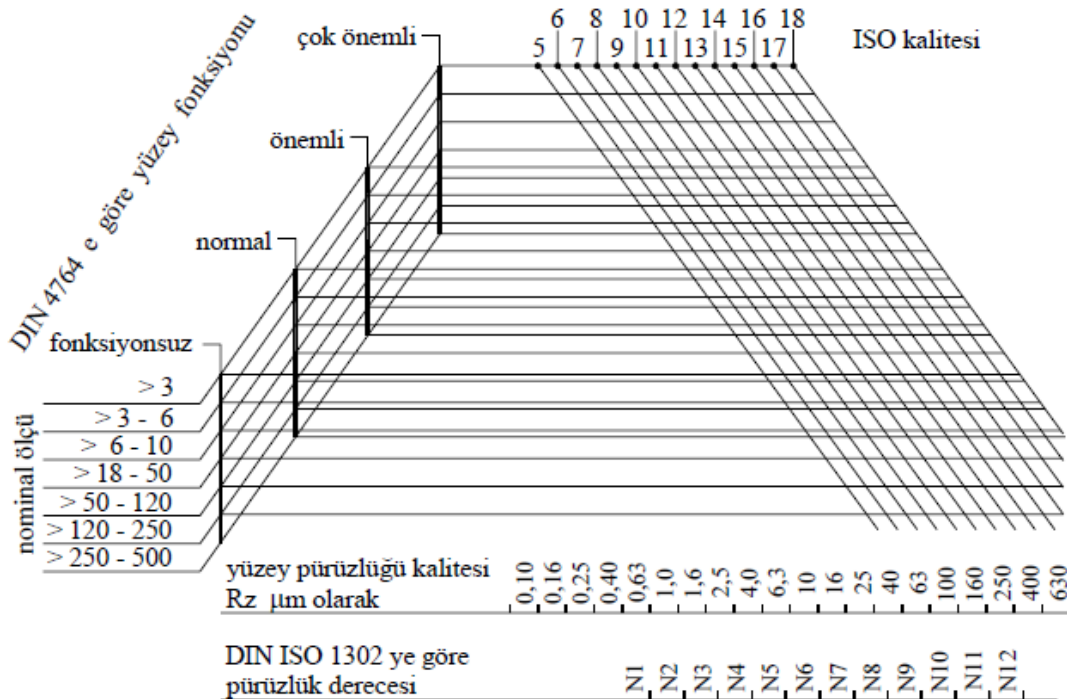
Resim 2.24. Dairesel hareketli spiraller / Karışık çizgiler yüzey taraması [6]

Yüzey kalitesi imal edilen parçanın fonksiyonuna göre konstrüktör tarafından belirlenir ve imalat resminde işleme (imalat) şartı olarak verilir.

Bu durum teknik resimlerde standartlaştırılmış sembollerle gösterilir (Resim 2.25., Çizelge 2.5., EK-2). Aynı zamanda Rochusch yüzey pürüzlüğü kalitesi seçme diyagramı kullanılarak ta en uygun yüzey pürüzlülük değeri belirlenebilir (Şekil 2.7.).



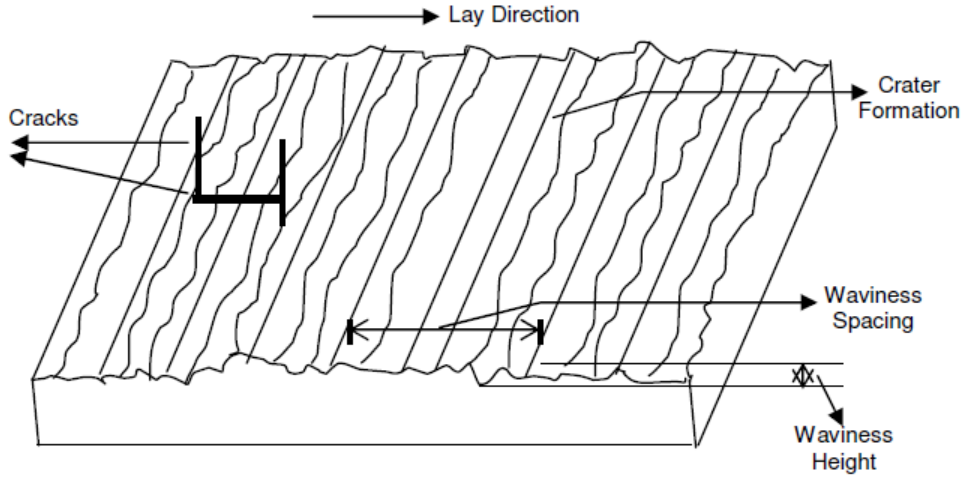
Resim 2.25. Yüzey kalitesi sembolleri [6]



Şekil 2.7. Rochusch yüzey pürüzlüğü kalitesi seçme diyagramı [6]

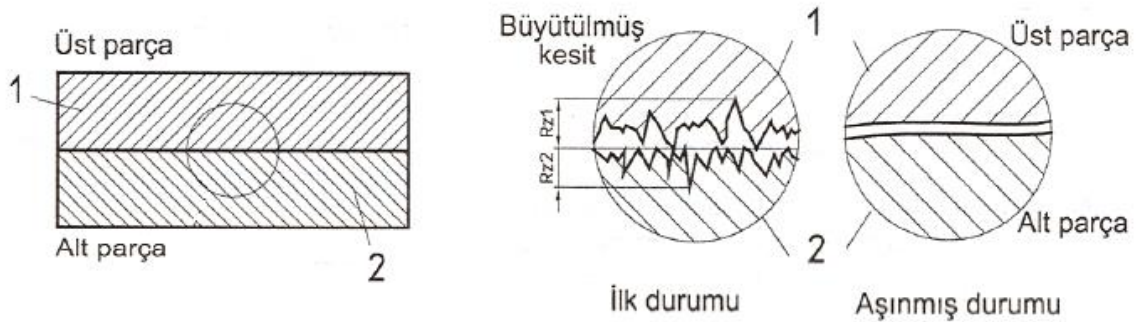


Fiziksel, kimyasal ve ısı faktörlerinin etkisiyle ve iş parçası ile takım arasındaki temas ve hareketlerin etkisiyle, işlenmiş yüzeyde bulunması istenmeyen bazı izler oluşur (Resim 2.26.). Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmaların ve anormalliklerin olmasına neden olan bu duruma yüzey pürüzlülüğü adı verilir [7].

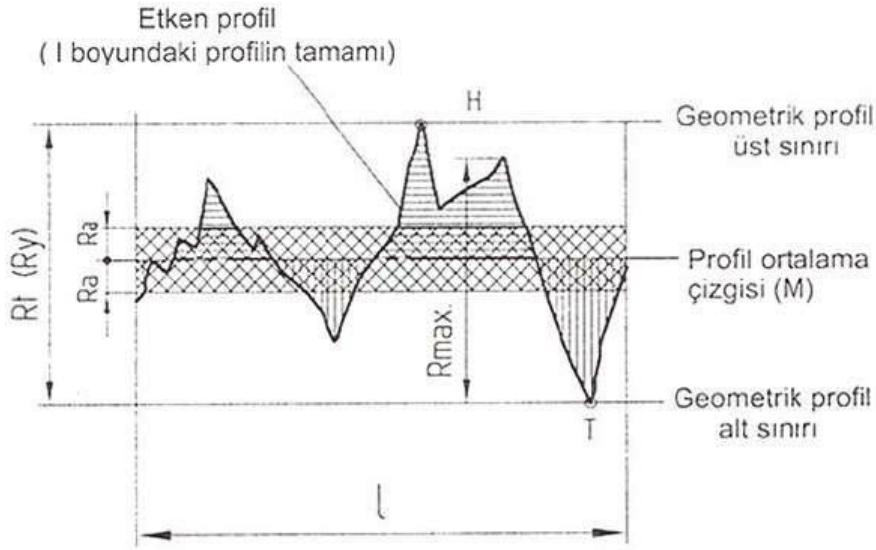


Resim 2.26. Yüzey yapısı (dokusu) özellikleri

En hassas işlenmiş yüzeyler bile pürüzlüdür. Yüzey pürüzlülüğü olmasaydı üst üste konmuş iki sıfır pürüzlülük değeri olan yüzeyler arasında hava olmayacağından bu yüzeyleri birbirinden ayırmak imkansız olurdu (Resim 2.27.). Pürüzlülük sıfır olmasa da azaltılabilir. Daha pürüzsüz yüzey işlemleri kaliteyi artırır ancak pahalıdır.



Resim 2.27. Temas yüzeyleri (şematik gösterim)



Şekil 2.8. Temel yüzey birim profili

Rt: Pürüzlülük yüksekliği ( $\mu\text{m}$ )

Ra: Aritmetik ortalama pürüzlülük değeri ( $\mu\text{m}$ ) (Average Roughness)

Rmax: En büyük pürüz derinliği ( $\mu\text{m}$ )

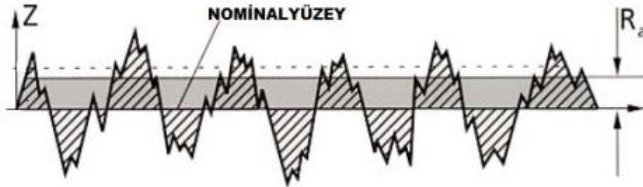
Rz: Ortalama pürüz yüksekliği ( $\mu\text{m}$ )

Yüzey işleme işaretleri Türkiye’de yakın geçmişe kadar yan yana üçgenler (DIN 3141) ile gösteriliyordu. Bu gösterim kendini güncelleyememiş bazı imalatçı ve projeciler tarafından hala kullanılmaktadır. Türkiye’de artık çoğunlukla kullanılmaya başlanan DIN 3142 normunda pürüzlülüğünün derecesi  $R_a$  değeri ile belirtilir. (Şekil 2.8., Çizelge 2.5. EK-3). Zaman zaman Amerika veya Kanada’dan gelen projelerde ise yüzey işleme değeri ASA 46-1 normunda da karşımıza çıkabilir. ASA normundaki değerler DIN3142 normundaki değerlerin 40 katıdır.

Çizelge 2.5. Yüzey pürüzlüğü sembolleri ve dereceleri [6]

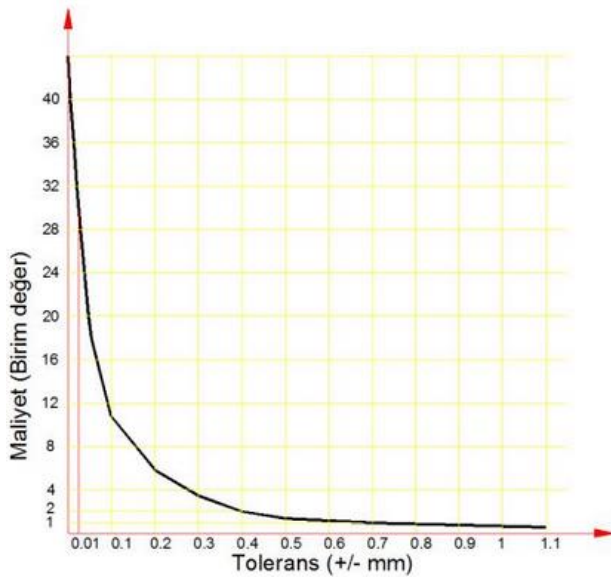
Eski	▽▽▽▽			▽▽▽			▽▽			▽		
Yeni	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Ra ( $\mu\text{m}$ )	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Rz ( $\mu\text{m}$ )	0,063	0,16	0,25	0,63	1,6	2,5	6,3	16	25	63	160	250

$R_a$  değeri yüzeyin nominal ölçüden eksi ve artı yöndeki yükselti ve çukur ölçülerinin ortalamasını milimetrenin binde biri cinsinden ( $\mu\text{m}$ ) veren değerdir (Şekil 2.9.). Bu değer yüzey işleme işaretlerinin üstüne yazılarak imalatçıya parçanın nasıl işlenmesi gerektiği konusunda bilgi verilir.



Şekil 2.9. Nominal yüzey ve sapmalar

$R_a$  değeri azaldıkça imalat maliyeti hızla artar (Şekil 2.10.).

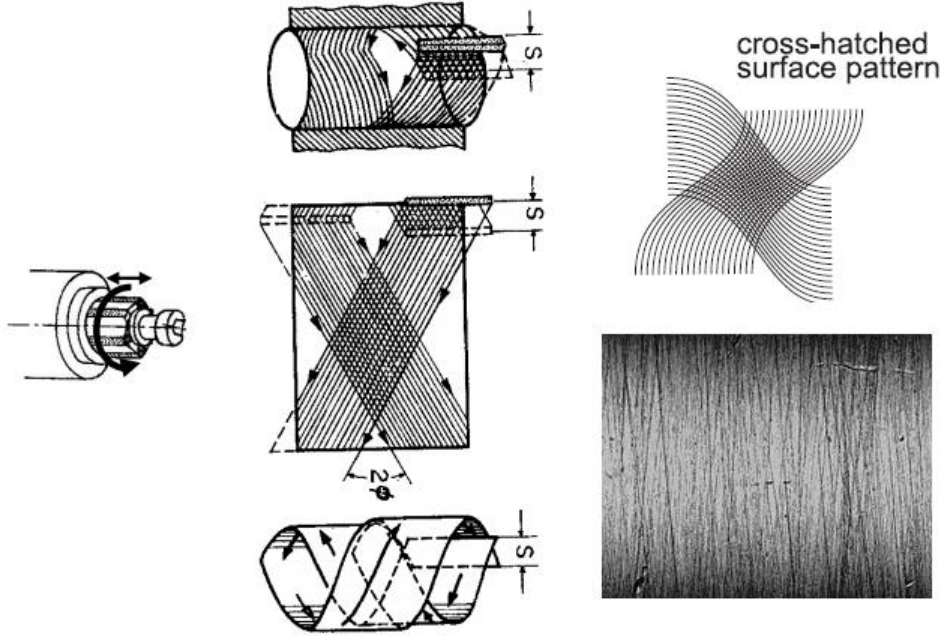


Şekil 2.10. Tolerans / İmalat Maliyeti değişim grafiği

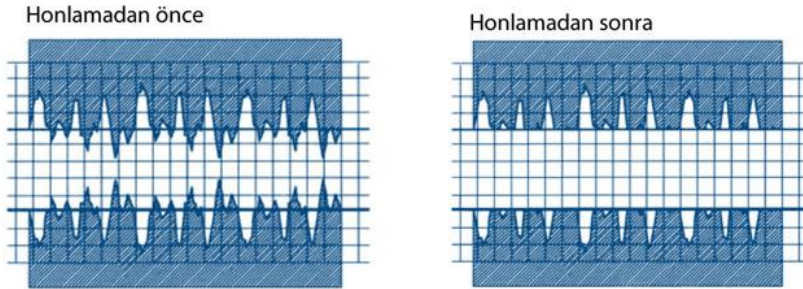
İstenilen tolerans sınırları dışına çıkmadan işlenen bir yüzey; korozyon direncini, yorulma mukavemetini ve sürtünme ömrünü ciddi derecede artırıcı etki gösterir. Yüzey pürüzlülük değerinin uygunluğu, honlama gibi bitirici proseslerle iyileştirilmektedir.

Honlama prosesi ile işlenen yüzeyde, yüzey pürüzlülük değeri belirlen tolerans sınırları arasına çekilirken aynı zamanda honlama taşının kendi eksenini etrafında dönüşü ve ileri-geri hareketi, yüzeyde çapraz taranmış homojen bir yüzey yapısı

oluşmasına neden olur (Resim 2.28., Resim 2.29.). Bu durum, hidrolik borularda boru iç yüzeyinde yağ filminin tutulması ve dağıtılması kabiliyetini artırır ki bu durum, hidrolik borularda önemli ve istenen bir durumdur.



Resim 2.28. Honlama prosesi sonrası yüzey dokusu yapısı



Resim 2.29. Honlama prosesinde pürüzlülük değeri değişimi (şematik)

## 2.7. Honlanmış Borular

### 2.7.1. Honlanmış boru malzemeleri ve üretim metodu

Sanayi uygulamalarında bir çok amaç için kullanılmakta olan honlanmış borular piyasada genellikle St52-3 ve Ck 45 malzemelerden üretilmektedir. Eğer özel uygulamalar gerektirirse paslanmaz çelik ve alüminyum gibi malzemelerle yapılan uygulamalar da vardır. Ancak bu malzemeler oldukça maliyetli malzemeler oldukları için çok tercih edilmemektedirler.

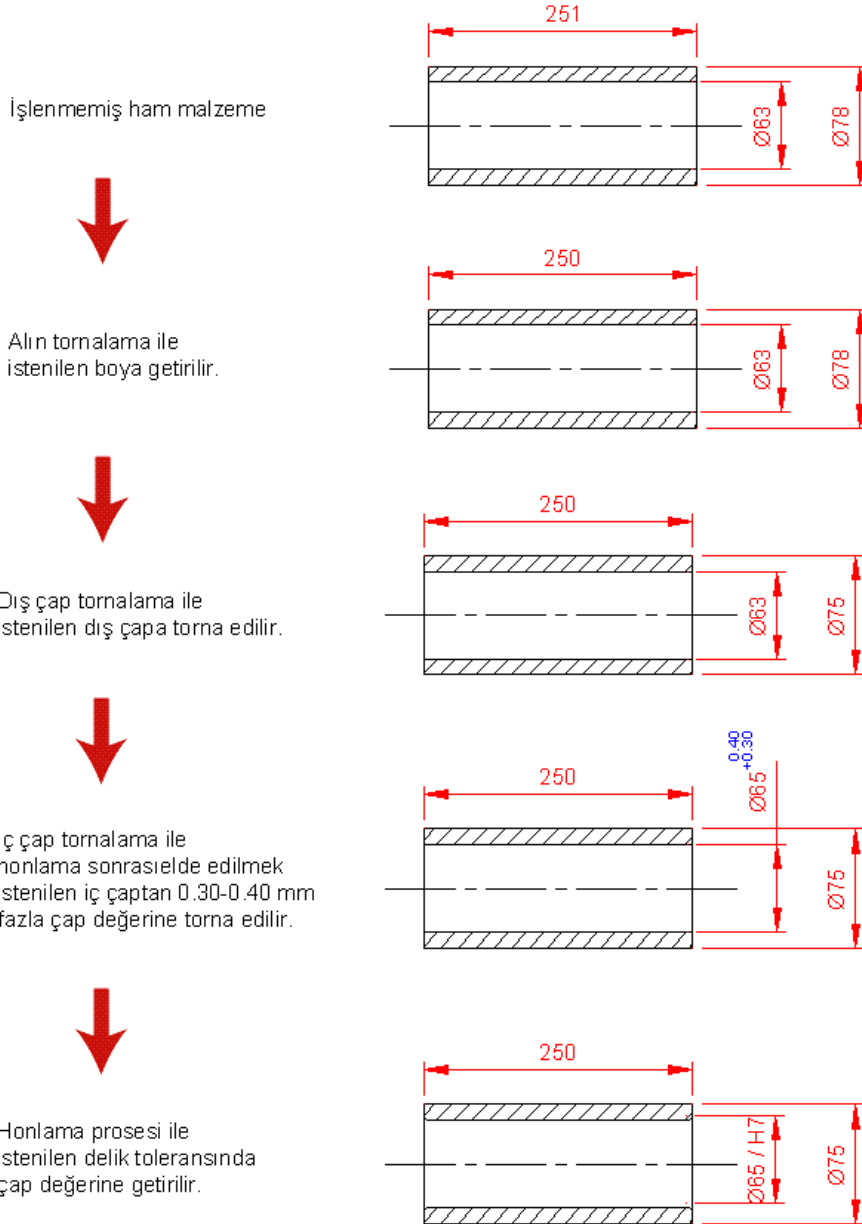
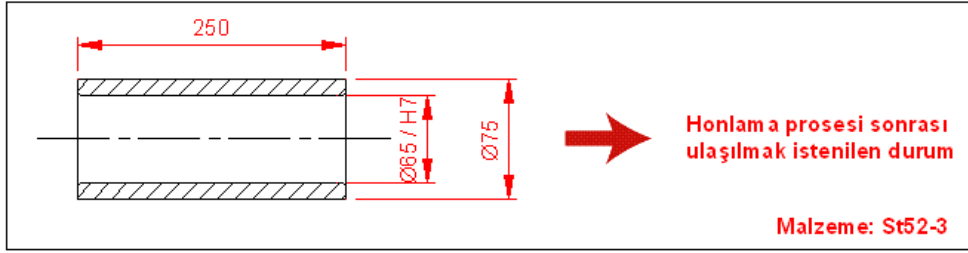
Honlanacak borular, çelik tedarikçisinden ham olarak ve sadece istenilen boy ölçüleri belirtilerek tedarik edilir. Bu boruların hem iç hem de dış çapından tornalama operasyonu ile talaş kaldırılması gerekmektedir.

Dış çap tornalamada, teknik resimde ya da şartnamede verilen dış çap değerine torna etme operasyonu uygulanır. Boru dış yüzeyine tornalama sonrası özel bir operasyon uygulanacaksa (Krom kaplama, polisaj vs.), dış çap torna ölçüsü bu operasyonun öngördüğü tolerans değerlerine uygun değere torna edilir.

Honlama öncesi iç çap tornalamada ise honlama ile kaldırılacak talaş miktarı dikkate alınarak tornalama prosesi uygulanır. Uygulamada bu talaş miktarı; honlama sonrası elde edilmek istenilen iç çap değerinin 0,30-0,40 mm fazlası değerdir. Bu değerler arasında bırakılan honlama payı; honlama prosesinin süresini azaltmada etmede büyük önem arz etmektedir. Eğer daha büyük değerlerde honlama payı boru içinde bırakılırsa, istenilen çap değerine ulaşmak için daha çok talaş kaldırmak gerekecektir. Bu durum hem operasyon süresini arttıracığı gibi hem de honlama taşının aşınması arttıracak dolayısıyla da honlama taşı ömrünü azaltacaktır.

Eğer boru su içinde çalışacaksa ve paslanmaz çelikten imal edilmemişse bu durumda boru iç yüzeyi krom kaplama prosesine tabi tutulur. Böylece paslanmaya karşı koruma sağlanır ve aynı zamanda yüzeyin mukavemeti artırılmış olur.

Taguchi deney tasarımı sonucu oluşturulan deney senaryolarında kullanılacak olan St52-3 borunun, ham malzeme halinden honlanmış boru haline gelene kadar geçirdiği operasyon ve süreçler Resim 2.30.'da verilmiştir.



Resim 2.30. Honlanmış boru imalat aşamaları

### 2.7.2. Delik/Boru geçme toleransları

Honlanmış borular, geçme sisteminde verilen tolerans değerlerinde işlenirler. Honlama sonucu elde edilecek delik çap değerleri bu uluslararası toleranslara uygun olmalıdır. Borular için sık kullanılan toleransları H7, H8, h6 ve h9 tolerans değerleridir (EK-4 / izelge 4.1., izelge 4.2., izelge 4.3., izelge 4.4.).

### 2.7.3. Honlanmış boruların temel kullanım alanları

Honlanmış borular, yüzey kalitesinin iyiliği sebebiyle sanayi uygulamalarında sıklıkla kullanılan borulardır. En yaygın iki uygulama şunlardır;

#### Hidrolik borular

Hidrolik borular, endüstriyel hidrolik pres ve iş makinalarında kullanılan yüksek basınç elde edilen hidrolik silindirlerde kovan adı verilen elemanlar olarak kullanılmaktadırlar (EK-5, EK-6, EK-7). Bu boruların iç yüzeylerinde ki pürüzlülük değeri çok önemli bir kalite faktörüdür. Çünkü, tolerans sınırları dışındaki yüzey pürüzlülük değerleri hidrolik silindirler borusu içinde alışan O-ring, kaydırıcılar, piston gibi ekipmanların zarar görmesine sebep olacağından dolayı hidrolik silindirlerin görevini yapmasında sorunlara neden olabilecektir. Bu sorunlar; şase zorlanmaları, gereksiz güç kayıpları, iş kayıplarına sebep olabileceği gibi çalışma güvenliğini de tehlikeye sokan durumlara neden olabilecektir. Üretim standartları; DIN 1629, DIN 2391 ve EN 1035-1'dir (EK-8, EK-9).

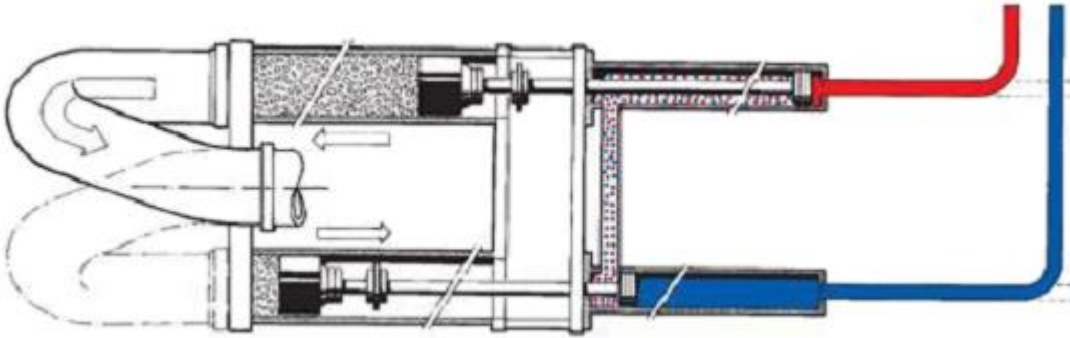
#### Beton pompası sevk silindiri olarak kullanılan borular

Beton pompaları yüksek yerlere beton dökmek amacı kullanılan makinalardır (EK-12., EK-13). Sevk silindirleri ise betonun basınçlandırılıp yol verilmesinde kullanılan parçalardır (EK-10., EK-11., EK-12). Beton pompası bu prosesi, beton mikserinden beton pompasının beton haznesine dökülen harcı, yüksek basınçta emme basma sistemini kullanarak, lastik takozlar hareketi ile gerçekleştirir (EK-10, EK-11).

Beton pompasının çalışma prensibi şu şekildedir;

1. Her iki uçlarından tahrik alan düşük seviyede yatay karıştırıcılar, betonu doğrudan doğruya silindir açıklıklarından ileriye doğru göndermektedir (Resim 2.31.).
2. İki adet güçlü ve çabuk değişen değiştirme silindiri (sessiz hale getirilmiştir.), gövdeyi, büyük alma açıklıklarının önünde ileri geri hareket ettirerek, böylece, basıncı boşaltarak ve alma açıklıklarının sırayla boşaltmaktadır.
3. S-/C-valflerinin pozisyonuna bağlı olarak, beton bir silindire hızla dolmaktadır veya besleme borularına basılmaktadır (EK-14).

Beton pompası sevk silindirleri öncelikle, tornalama işleminden geçtikten sonra honlama işlemine tabi tutulur. Eğer boru su ile temas edilecek bir yerde çalışılacaksa, 400-500 micron kalınlığında ve yüzey sertliği 850-1000 Vickers değerlerinde sert krom kaplama yapılır.



Resim 2.31. Beton pompası çalışma prensibi



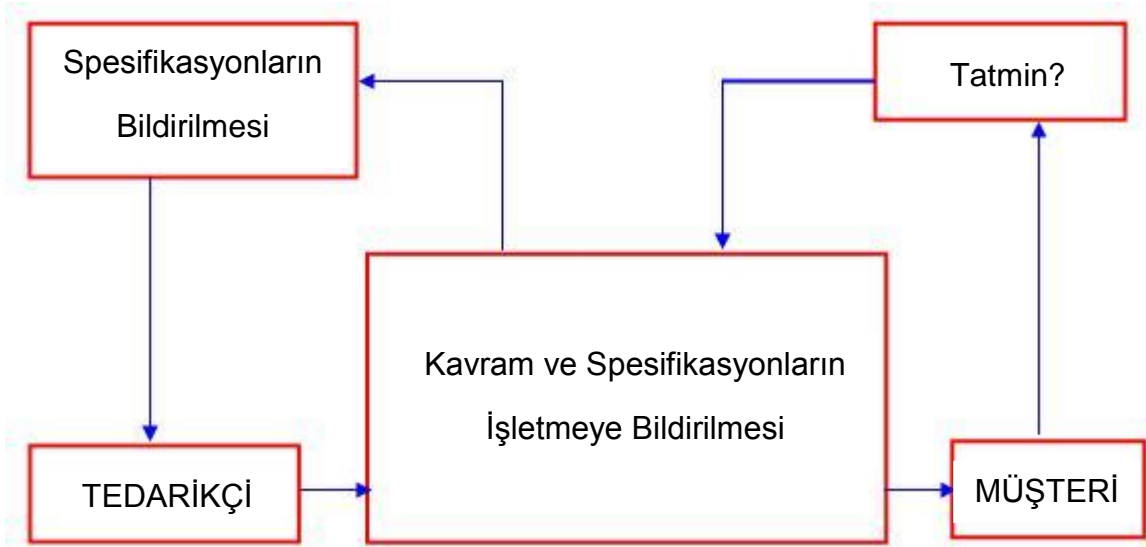
### 3. KALİTE VE TAGUCHI METODU

#### 3.1. Kalite Tanımları

Genel olarak üzerinde uzlaşılacak bir kalite tanımı yapmak zordur. Değişik kalite tanımlamalarının yapılması kalitenin çok boyutluluğundan kaynaklanan bir durumdur. Aşağıda değişik kuruluş ve uzmanlar tarafından yapılmış kalite tanımları görülmektedir [8].

1. Kalite; bir ürün ya da hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerinin toplamıdır (Bergman ve Klefsjö, 1994).
2. Kalite; bir mal ya da hizmetin belirli bir gerekliliği karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan karakteristiklerin tümüdür. (Amerikan Kalite Kontrol Derneği - ASQC)
3. Kalite; bir malın ya da hizmetin tüketicinin isteklerine uygunluk derecesidir. Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonu - EOQC).
4. Kalite; bir ürünün gerekliliklere uygunluk derecesidir. (P. Crosby)
5. Kalite; kullanıma uygunluktur (J.M. Juran)
6. "Kalite; ürünün sevkiyattan sonra toplumda sebep olduğu en az zarardır. (G. Taguchi)"

Kalite bir işletmenin genişletilmiş sürecinin (Şekil 3.1.) sonsuz iyileştirme çalışmalarını da bütünü ile sarar. Genişletilmiş süreç işletmenin; tedarikçileri, müşterileri, yatırımcıları, çalışanları ve toplum ile bütünleştirilmesi anlamında kullanılmaktadır (Gitlow, 1984).



Şekil 3.1. Genişletilmiş Süreç

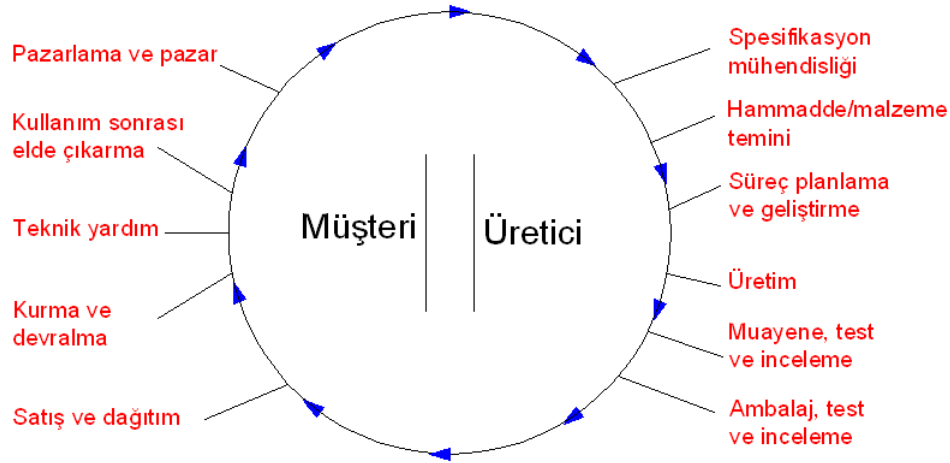
Genişletilmiş süreç, müşteri ihtiyaçlarının işletmeye bildirilmesi ile başlar. Burada, bir işletmenin en önemli hedefinin müşterilerinin tatmin edilmesi olduğu kesinlikle unutulup göz ardı edilmemelidir.

Genişletilmiş sürecin diğer bir tarafında işletmenin tedarikçileri vardır. İşletme, müşteri ihtiyaçlarını ve beklentilerini tedarikçilere müşteri tatmininin artırmaya yardımcı olmasını sağlamak amacı ile bildirir. İşletme ve tedarikçileri kaliteli ürün ya da en iyi hizmeti üretmek ve genişletilmiş süreçte iyileştirmeler / geliştirmeler /yenileştirmeler yapmak için birlikte çalışırlar [9].

Genişletilmiş süreçte kaliteyi geliştirip iyileştirmek amacıyla olan işletmelerin kalitenin aşağıdaki üç tipini göz önünde bulundurması gerekir (Gitlow, 1984);

1. Tasarım /Yeniden Tasarım
2. Uygunluk
3. Performans

Kalite sistemine bütünleştirilmiş bir yaklaşımda içerilen fonksiyonel bölüm ve çalışmalar kalite halkasında gösterilmiştir. [9]. (Şekil 3.2) (ISO 9004, 1987).



Şekil 3.2. Kalite halkası

Yıllar itibarı ile kaliteye bakış açıları aşağıdaki gibi olmuştur [10].

1931	W. Shewhart : İstatistiksel Kalite Kontrol
1940+	Stanford Seminerleri (ABD)
1950	William Edwar Deming'in Seminerleri (Japonya)
1951	Deming Kalite Ödülü (Japonya)
1952	Kalite Kontrol Dergisi (Japonya)
1954	J. Juran: Kalite yönetimin sorumluluğudur. (Japonya)
1954	Ulusal radyo ile Japonya kalite eğitimi yayınları
1957	A. Feigebaum: Toplam Kalite Kontrol
1961	K. Ishikawa: Formenler için K.K. Dergisi
1960+	"G. Taguchi: İstatistiksel Deney Tasarımı"
1962	K. Ishikawa: Kalite Çemberleri
1969	Kobe Steel: Kalite Fonksiyonunun yayılması
1970+	S. Shingo: Poka-Yoke (Hata önleme yaklaşımı)
1970+	"G. Taguchi: Kalite Kayıp Fonksiyonu"
1976	T. Ohno: Toyota Just İn Time Sistemi
1980	"G. Taguchi: Robust Design (Sağlam Tasarım)"
1990+	Günümüz sistemlerinin başlaması

### 3.2. Kalite Teknikleri

Kalite teknikleri başlığı altında ele alınan ve müşteri memnuniyetini, dolayısıyla da işletme başarısını eniyilemeye yönelik olarak kullanılan tüm teknikler önleyici niteliğe sahiptirler ve hata / başarısızlık söz konusu olduğundan doğru sonuçlara ulaşmaya önemli katkı sağlarlar. “Kalite ürünle birlikte tasarlanmalıdır ve sürekli geliştirilmelidir” anlayışı ile yola çıkıldığında, ürün ve kalite geliştirme çalışmaları sadece ürünle ilgili teknik resimler ve benzeri detaylar ile sınırlı tutulmamalıdır.

İlk ürün düşüncesi oluşumundan başlayıp, ürün son müşteriye ulaşmaya kadar geçen tüm aşamalar, sistematik ve planlı biçimde, bütünlük olarak ele alınmalı ve bir takım kalite tekniklerinden faydalanılarak olası sorunları en alt düzeye çekme düşüncesi ile hareket edilmelidir. Kalite teknikleri olarak adlandırılan ve sektörlerinde liderliği elinde tutan ülke ve işletmelerde ürün ve kalite geliştirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bu teknikler altı teknikten oluşmaktadır. Bu tekniklerin nitelikleri, hedefleri ve süreölerin hangi aşamalarında etkin oldukları aşağıda ki tabloda verilmiştir. (Tablo 3.1.) (Taptık, Keleş, 1998).

Çizelge 3.1. Kalite teknikleri

Kalite Tekniği	Tekniğin Karakteristiği	Hedef	Aşama
Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme (KFG)	Tüketici taleplerinin, ürün proses niteliklerine adapte	Tüketicinin gereksinimine uygun ürünler	Ürün fikrinden Proses aşamasına
Hata Ağacı Analizi (HAA)	Hata nedenlerinin sistematik araştırılması	İşletmede olası arızaların önceden	Tasarımdan, seri üretime kadar
Hata Türü Etkisi Analizi (HTEA)	Disiplinler arası diyalog, sistematik yaklaşımla hataların	Olası hataların azaltılması	Tasarımdan üretime kadar
Deney Tasarımı (DT)	İstatistik deney planlaması için uygulamalı yöntem	Deneylerin azaltılması sağlamlığının	Ürün geliştirme ve üretim

Çizelge 3.1. (devam) Kalite teknikleri

POKA-YOKE	Üretimde olası hata kaynaklarının azaltılması	Hata sonuçlarının tanımlanması ve önlenmesi	Üretim ve montaj
İstatistiksel Proses Kontrol (İPK)	Kalite yeteneği olan üretimin yolunda tutulmasına yönelik proses gözetimi	Pahalı olan iyi kötü ayrımının azaltılması prosesin iyileştirilmesi	Üretim Kalite Planlama

### 3.3. Deney Tasarımı

Üretici firmalar, müşteri tatminin en iyi şekilde karşılayacak ürünleri düşük maliyetlerle üreterek pazara sunma amacıyla olmalıdırlar. Bu yaklaşım onların sektörde / pazarda rekabet güçlerini arttırırken, devamlılıklarının da garantisi demektir. Kalitesi yüksek ve maliyeti düşük ürünler üretmenin yolu, ürün ve hizmet geliştirme amacı ile ortaya konulmuş olan Kalite Tekniklerini aktif ve etkin bir şekilde kullanmaktır [11]. Bu tekniklerden biri de Deney Tasarımı'dır.

Deney, herhangi birisi tarafından herhangi bir soruya cevap bulmak için uygulanır. Herkes değişik şekillerde deneyler yapabilir. Örneğin; işten eve giderken her gün gidilen yoldan değişik bir yol tercih etmek, her iki yol arasında süre açısından önemli bir farklılık olup olmadığını deneyerek öğrenmede kullanılabilir. Genel anlamda deney, belirli bir sistem veya süreç hakkında bilgi edinmek için yapılan bir test olarak tanımlanabilir [12]. Deney, literatürde "Test" ifadesi ile de tanımlanmaktadır [13].

Deney Tasarımı'nda; herhangi bir ürün veya proses tasarımında karşılaşılan sorunlarda en iyi sonuçların elde edilebileceği parametreleri sağlayabilmek için performans özelliği belirlenerek bu özelliği etkileyen faktörler incelenmektedir.

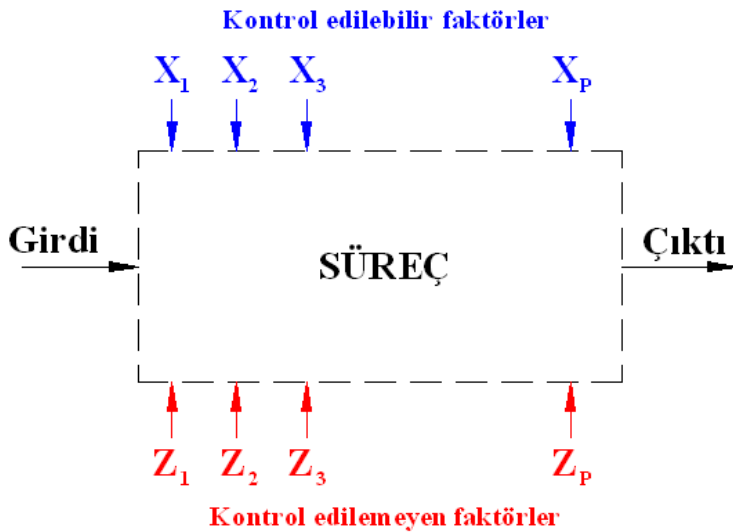
Bu faktörlerin performans çıktısı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve en uygun deney kombinasyonunun bulunabilmesi için kontrol edilemeyen faktörler kullanılarak deneyler yapılır.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen performans göstergesi değerlendirilerek en uygun kombinasyon tespit edilir. Sonuç olarak bu yaklaşım ile deney; sisteme sorulan soru, deney sonuçları ise sistemin verdiği cevap olarak düşünülebilir. Burada önemli olan nokta ise, doğru cevabı alabilmek için doğru sorunun sorulması gerekliliğidir [14].

Deney tasarımı; bir deneyin planlanmasında; cevap, faktör, faktör seviyeleri, blok ve araçlar gibi ihtiyaçları detaylandıran biçimsel bir plandır [12].

Deney tasarımı; bir süreçteki girdi değişkenleri üzerinde istenilen değişikliklerin uygulanmasıyla cevap değişkeni üzerinde ki değişkenliğin gözlenip yorumlanması olarak tanımlanabilir [11].

Deney tasarımı; süreç eniyilemesinde, süreçteki değişkenlerinin tanımlanmasında ve değişkenliğin azaltılmasında çok önemli bir uygulamadır. Süreç değişkenleri  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_P$  kontrol edilebilir değişkenler ve  $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_q$  kontrol edilemeyen değişkenler olarak isimlendirilir (Şekil 3.3) [48].



Şekil 3.3. Bir sürecin veya sistemin genel modeli

Deney tasarım teknikleri, yeni süreç geliştirmede ve iyileştirme amacıyla mevcut süreçte revizyon yapmada çok önemli bir rol oynamaktadır. Burada hedef, sağlam (Robust -Gürbüz- Tasarım: çeşitli ve değişik şartlarda uygun işlev gören tasarım) bir süreç geliştirmektir. Değişkenliğin nedeni ve kaynağı olan kontrol edilemeyen değişkenlerin ( $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$ ) etkisinin en az olduğu bir süreç ile en iyi koşullar sağlanmaktadır [13].

Bir deneyin amacı aşağıdaki gibi özetlenebilir [13].

1. Cevap değişkeni ( $y$ ) üzerinde en çok etkisi olan girdi değişkenlerini belirlemek.
2. Cevap değişkeni ( $y$ ), hedef değere en yakın duruma getiren girdi değişkenleri kümesini ( $x$ ) belirlemek.
3. Kontrol edilemeyen girdi değişkenlerinin ( $z$ ) etkisinin en aza indirildiği kontrol edilebilir girdi değişkenleri kümesini ( $x$ ) belirlemek.

İkinci Dünya Savaşının sonlarında, Japonya'nın günümüze kadar ki hızlı ve etkili gelişmesinin temelleri atılmıştır. Bu dönemde ki önemli çalışmalardan biri Japon telefon sisteminin geliştirilmesiydi. Çalışmanın hedefi Amerika' da Bell Laboratuvarında kullanılan telefon sisteminin aynısını Japonya'da da kurulmasıydı. Japon Nippon Telefon ve Telgraf Araştırma Merkezi, Bell Laboratuvarının ancak %2'si büyüklüğündeydi. Bundan dolayı projenin bitirilmesinin 20 yıl kadar zaman alacağı tahmin ediliyordu. Taguchi, proje süresini kısaltmak amacı ile tüm araştırma personeli için metotların standardize edilmesini ve faktöriyel tasarımların kullanılması önerisini getirdi. Kabul edilen bu öneri sayesinde proje dört yılda bitirildi ve Genichi Taguchi büyük üne kavuştu [16].

### **3.3.1. Deney tasarımının tarihçesi**

Deney tasarımı, 1920'lerde, istatistik biliminin kurucusu sayılan ünlü istatistikçi Ronald Fisher tarafından, tarım alanında bir araştırma yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Ronald Fisher, ayrıca, deney verilerinin analizinde klasik uygulama sayılan "Varyans Analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir.

Bu yöntem, kısa zaman içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünya lideri konumuna gelmesine önemli katkı sağlamıştır. Tarım alanında, çeşitli gübreler ve gübre dozları ile iklim koşulları ile sulama düzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere bir çok uygulama yapılmıştır. [Şirvancı, 1997]

### **3.3.2. Deney tasarımında genel kavram ve tanımlar**

Deney tasarımı tekniği regresyon analizi temellidir. Regresyon analizinin amacı bağımsız girdi değişkeni (sebebe) ile bağımlı çıktı değişkeni (sonuç) arasında net bir matematiksel ilişkinin varlığını belirlemek için kullanılır. Burada dikkat edilecek nokta şudur; bu durum, bağımsız ve bağımlı değişkenlerin sayılabilir olduğu durumla için geçerlidir. Değişkenlerin sayılabilir olmadığı durumlarda ilişkiyi regresyon analizi ile ifade etmek mümkün olmamaktadır [12].

Deney tasarımcısının temel hedefi, sebebe ile sonuç arasında ki ilişkiyi matematiksel olarak ifade etmek değil, bu ilişkinin varlığını araştırmak olduğunda, Taguchi Metodu ve deney tasarım metotları çok etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilir [11].

Tasarımcı, sistem girdilerini belirli bir sistematik dahilinde değiştirerek proses çıktılarındaki sonucu değerlendirmeye çalışır. Girdiler, bağımsız değişkenler (X) olarak adlandırılırken, çıktılar bağımlı değişkenler (Y) olarak adlandırılır. Bağımlı değişken, deneylerde temel olarak ilgilenilen değişkendir. Bağımsız değişkenler ise deneylerde ki bağımlı değişkeni etkileyen değişkenlerdir. Bir deney uygulamasında aynı anda birden fazla bağımsız değişken bulunabilir [12].

Deney tasarımında; bağımlı değişkeni etkilediği kabul edilen herhangi bir bağımsız değişken "faktör" olarak belirtilir. Faktörlerin değişik mantıklı ve uygulanabilir kategorileri veya yoğunlukları ise "seviye" olarak adlandırılır. Deneylerde birden fazla faktörle ve her bir faktör seviyesinin birden fazla kombinasyonu ile ilgilenilebilir [13].



Deney tasarımında kullanılan üç temel kavram bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir [47,48].

1. Tekrarlama
2. Rastsallaştırma
3. Bloklama

Tekrarlama, deneyin birden fazla kere yapılmasıdır. Tekrarlama, deney hatasının ölçümünü sağlamak için gerekli bir kavramdır. Hata, rastgele etkiler ve değişkenliğe etkisi olan diğer değişkenlerden dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu değişkenler, deneye uygulamasına ilave edilmeyen değişkenlerdir. İki veya daha fazla deney parçası aynı teste tabi tutulduğu zaman o deney için “tekrarlanmıştır” denir.

Tekrarlamanın iki önemli özelliği mevcuttur;

1. Tasarımcıya, deney hatasının bir tahminini elde etme olanağını sunar.
2. Örnek ortalaması, deneyde herhangi bir faktörün etkisinin tahmin edilmesinde kullanılacaksa, bu etkinin tam doğru bir tahmininin elde edilmesine olanak verir [47,48].

Rastsallaştırma, deney tasarımı sonuçlarını analiz için kullanılacak olan istatistiki metodlar için gereklidir ve önyargıların giderilmesine yardımcı olmaktadır. Rastsallaştırma, deneylerin denem sırasının belirlenmesinde rastsal sayı kullanıldığı için başarı getirir [12].

Bloklama, deney alanının homojen alanlara bölünmesi anlamında kullanılmaktadır. Böylece deneyde oluşabilecek hatalarının olabileceğinden daha küçük olması sağlanır. Bloklama, tamamıyla rastsallaştırılmış deneylere alternatif olarak kullanılmaktadır [12].

Deney tasarımı dört temel karakteristik mevcuttur. Bunlar aşağıda verilmiştir [12].

1. Dengeleme
2. Tekrarlama
3. Etkinlik
4. Uygunluk

Dengeleme; her bir deney hücresinde eşit sayıda gözlemlerle çalışılmasını ifade etmektedir. Dengeleme, değişik ve çok sayıda karşılaştırma prosedürlerinin kullanımına imkan verdiği için önemli bir karakteristiktir [15].

Tekrarlama; etkilerin tahmininin gerçekliğini arttırmada kullanılmaktadır.

Etkinlik; deney tasarımının bir noktaya tam olarak odaklanmasıdır.

Uygunluk; deney tasarımının gerçek yığına nasıl uyduğunu göstermektedir. Uygunluk, deney hatası kullanılarak hesaplanır. Deney hatası ise deneyden elde edilen çıktının beklenen değeri ile tüm populasyon kullanılarak elde edilen gerçek çıktı arasında ki fark olarak tanımlanmaktadır [16].

### **3.3.3. Deney tasarımı türleri**

Değişik deney tasarım metodları vardır. Bunlardan sık kullanılan bazıları şunlardır;

1. Faktöriyel tasarım
2.  $2^k$  faktöriyel tasarım
3. Kesirli faktöriyel tasarım
4. Latin kare tasarımı
5. Greco- Latin kare tasarımı
6. Dengeli tamamlanmamış blok tasarımı
7. Rastsal tamamlanmış blok tasarımı
8. Nested ve split plot tasarımı

## Faktöriyel tasarım

Birçok deney iki veya daha fazla faktör içerir. Genelde faktöriyel tasarımlar bu tip deneyler için daha uygun tasarımlardır. Faktöriyel tasarımda, her deney ya da deney tekrarı, her faktörün bütün seviyeleriyle birlikte kombinasyonlarının denenmesi söz konusudur. Örneğin olarak; faktör A'nın a seviyesi, Faktör B'nin b seviyesi olduğu deney tasarımlarında her tekrar ab deney kombinasyonunu içerir. Faktörler, faktöriyel tasarıma tabi tutulduklarında, genellikle çaprazlanmış olarak isimlendirilirler (Montgomery, 2005).

Faktörlerin bir arada yapacağı etki, tek başlarına yapacağı etkiye oranla farklı olacağından dolayı, etkileşimlerin incelenmesi gereği faktör sayısının artışı ile birlikte artan etkileşim ve artan deney maliyeti de görülecektir.

Bir çıktı üzerinde etkisi olan faktörlerin birbirine bağlı olarak çıktıya nasıl etki ettiklerini incelemenin zorunlu olduğu uygulamalarda faktör deneyleri yoğun olarak kullanılır. Değişik ve çok sayıda düzeydeki faktörlerle deney yapmak mümkündür. (Bayraktar, 2007)

## 2<sup>k</sup> faktöriyel tasarım

Faktöriyel tasarımların önemli bir çeşitlerinden biri de 2<sup>k</sup> faktöriyel tasarımlardır. Bu tasarımlarda her biri 2 seviyeden oluşan k adet faktör ile çalışılır. Bu seviyeler sıcaklık, basınç, zaman gibi ölçülebilir olabileceği gibi; iki makine, iki operatör, faktörlerin yüksek ve alçak değerleri gibi niteliksel değerler de alabilirler. 2<sup>k</sup> tasarımları deneysel çalışmaların başlangıç aşamalarında yararlıdır, birçok faktörün araştırılmasının gerektiği ortamlarda, k adet faktör ile en düşük sayıda deney yapılmasına olanak sağlar. Bu tasarım  $2 \times 2 \times 2 \dots \times 2 = 2^k$  adet gözlem gerektirir. Burada her faktör için 2 seviye gerektiğinden dolayı, elde edilen yanıtın da doğrusal olması beklenir (Montgomery, 2005)

### Kesirli faktöriyel tasarım

$2^k$  tasarımındaki faktör sayısının artmasıyla büyüyen deney sayısı, deney yapanların ayırdığı her kaynağı aşmaktadır. Örneğin  $2^6$  tasarımı 64 adet deney gerektirirken bu tasarımdaki serbestlik derecesi olan 63'ten sadece 6'sı ana faktörlere ait iken, 15'i ikili faktör etkileşimlerine, geri kalan 42 serbestlik derecesi 3 faktör ve etkileşimlerine aittir. Eğer yüksek dereceli etkileşimleri ihmal edilebilir ise bir kesiri ile ana faktör etkileşimleri ve bazı düşük seviyeli etkileşimler kesirli faktöriyel tasarımı ile elde edilebilir (Montgomery, 2005).

### Latin kare tasarımı

Latin kare tasarımı adını kullanılan Latin harflerden almıştır ve kare şeklinde düzenlenmiştir. Latin kare tasarımında ise iki değişkenlik kaynağı bu iki değişkeni bloklamak suretiyle kontrol edilebilmektedir. İki değişken için blok ve grup sayılarının eşit olması gerekmektedir.

Bloklanan değişkenlerden biri satır diğeri de sütun elemanı olarak alınır. Faktörler de her satır ve sütunda sadece birer kez bulunacak şekilde oluşan matrise atanırlar. Bu durumda gerekli deney elemanı sayısının faktör sayısının karesi kadar olması gerekir. Latin Kare Tasarımı dizilimi aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Latin kare tasarımı

<u>4X4</u>	<u>5X5</u>	<u>6X6</u>
A B D C	A D B E C	A D C E F B
B C A D	B A C B E	B A E C D F
C D B A	C B E D A	C E D F B A
D A C B	D E A C D	D C F B A E
	E C D A B	E B A D E C
		E F B A C D

Bloklarda rastgele tasarımda varyasyonun sadece bir kaynağı kontrol edilebilir. Deney elemanları deneysel hatanın değişkenliğini düşürecek bir kritere göre gruplaması suretiyle homojen elemanlardan oluşan bloklarda toplanırlar.

Bu yüzden bloklar arasındaki değişkenlik deneysel hatadan ayrıştırılmıştır ve her faktör her blokta eşit sayıda görülmektedir.

Latin kare tasarımının en önemli avantajı iki bloklama değişkeninin kullanılabilmesidir. Bu da çoğu kere deneysel hatadaki değişkenlikte iki bloklama değişkeninin ayrı ayrı kullanılmasına göre daha büyük düşümlere yol açar. Bununla birlikte Latin kare tasarımının bazı önemli dezavantajları vardır. Bir kere faktör sayısının küçük olduğu durumlarda her bloklama değişkeninin sınıf sayısının faktör sayısına eşit olması zorunluluğundan dolayı deneysel hatanın serbestlik derecesi çok düşük olacaktır. Faktör sayısı büyük olduğunda da deneysel hatanın serbestlik derecesi çok küçük olacaktır. Faktör sayısı büyük olduğunda da deneysel hatanın serbestlik derecesi gereğinden büyük olabilecektir. Deney elemanı sayısının faktör sayısının karesine eşit olması gerektiğinden, faktör sayısının büyümesi uygulamada sorun yaratabilmektedir.

Ayrıca bu tasarımda bloklama değişkenleri ile faktörler arasında ya da bloklama değişkenlerinin kendi aralarında etkileşimde olmadıkları varsayımı yapılmaktadır (Bayraktar, 2007).

### Greco-Latin kare tasarımı

PxP Latin kare tasarımı ve Latin kare tasarımındaki her Latin harfin yanında bir Yunan harfinin bulunduğu bir başka bir Latin kare düşünüldüğünde eğer her Yunan harfi her Latin harfi ile yalnızca bir kere yan yana geliyorsa bu iki Latin karenin de orthogonal olduğu söylenebilir (Tablo 3.5.). Ve elde edilen bu tasarıma Greco Latin Kare tasarımı denir. Bu tasarım, 3 adet bloklama yapmak suretiyle, üç adet dışsal kaynaklı değişkenliği kontrol edebilir. Bu tasarım, her biri p seviyeli dört adet faktörün  $p^2$  kadar denemede incelenmesini sağlar (Satırlar, sütunlar, Latin harfler ve yunan harfleri) (Montgomery, 2005).

Çizelge 3.3. Greco-Latin Kare Tasarımı

	1	2	3	4
1	A $\alpha$	B $\beta$	C $\gamma$	D $\delta$
2	B $\beta$	A $\alpha$	D $\delta$	C
3	C $\gamma$	D $\delta$	A $\alpha$	B $\beta$
4	D $\delta$	C $\gamma$	B $\beta$	A $\alpha$

#### Dengeli tamamlanmamış blok tasarımı

Rastsal blok tasarımı kullanan bazı belirli tasarımlarda, bütün deney kombinasyonlarının her blokta yapılması mümkün olmayabilir. Böyle durumlar genellikle deneysel ekipman azlığından, imkanların ya da bloğun fiziksel boyutunun yeterli olmayışından kaynaklanabilir. Bu tarz problemler için her işlemin her blokta yapılmadığı randomize blok tasarımları kullanmak mümkündür, buna da Rastsal Tamamlanmamış Blok Tasarımı denir.

Eğer her işlem kombinasyonu eşit derecede önemli ise, her bloktaki işlem kombinasyonu dengeli bir şekilde seçilir, yani her işlem kombinasyonu, bir diğeri kadar aynı sayıda kullanılır, buna da Dengeli Tamamlanmamış Blok Tasarımı denir. Örneğin bir kimyasal reaksiyonda katalizör etkisi araştırılmaktadır. Ama her bir yığından alınan örnek sayısı her bir katalizörün reaksiyon süresine etkisinin araştırılacağı kadar çok değildir. Hammaddenin farklı yığınlardan gelmesinin sonucu etkileyeceği düşünülmektedir bu yüzden de bloklanmalıdır ama bu durumda dengeli blok tasarımı kullanılır (Montgomery, 2005).

#### Rastsal tamamlanmış blok tasarımı

Herhangi bir deney tasarımında gürültü faktörlerinden kaynaklanan değişkenlik sonuçları etkileyebilir. Genellikle gürültü faktörü, yanıt üzerinde etkisi olan ama etkisi araştırmacının ilgi alanında olmayan tasarım faktörleri olarak tanımlanır.

Bazen bir gürültü faktörü bilinmez ve kontrol edilemezdir, bilinmeyen bu faktörün etkisiyle deney sırasında ilgilenilen faktörün seviye etkileri bile değiştirilebilmektedir.

Rastsallık sayesinde bu gizli gürültü faktörlerinin etkisinden kaçınılmaya çalışılmaktadır. Bazı durumlarda ise böyle bir faktörün varlığı bilinmektedir ancak kontrol edilememektedir. Bu faktörün etkisi en azından ölçülebildiği takdirde kovaryans analizi ile etkisi telafi edilebilir. Değişkenliğin gürültü kaynaklı olduğu bilinir ve bu durumun kontrol edilebilir olduğu durumlarda, bloklama adı verilen teknikle işlemlerin istatistiksel karşılaştırmalarındaki etkisi sistematik olarak ortadan kaldırılabilir.

Deneysel hatayı mümkün olan en küçük yapan bu teknik Rastsal Tamamlanmış Blok Tasarımıdır. Tamamlanmış kelimesiyle kast edilen her bloğun her işlemi içerdiği (Montgomery, 2005). Kullanım alanı yalnızca bir deneysel faktör araştırıldığında uygundur. Deneysel birimlerin faktör seviyelerine rasgele olarak atanması ile incelenir, bloklama yoktur (Juran, 1998).

#### Nested ve split plot tasarımı

Bazı çok faktörlü tasarımlarda bir faktörün seviyeleri diğer faktörün seviyelerine benzerdir ama aynı değildir. Bu tarz tasarımlara ağ yapılı ya da hiyerarşik tasarım denir. Örneğin bir firma hammaddesini 3 farklı satıcıdan tedarik eder. Firma her tedarikçiden aldığı hammaddenin saflığının aynı olup olmadığını saptamak ister. Her tedarikçiden 4 adet yığın gelmekte ve her yığından 3 örnek alınabilmektedir. Bu, yığınların tedarikçiler altında ağ olarak yapılmış olduğu, iki basamaklı ağ yapılı tasarımdır (Montgomery, 2005).

Sabit Etkiler Modeli “Fixed Effects Model”: Deneysel modelin bütün faktör seviyeleri için çalışılmıştır. Örneğin 3 farklı materyal olduğunda her üçü de modele dahil edilmiştir. Rassal etkiler Modeli “ Random Effects Model”: Deney bütün seviyelerin örneğini içerir. Örneğin üç farklı materyal varsa yalnızca 2 materyal deneyde kullanılır.

Karışık Model "Mixed Model": Hem sabit hem de rasgele etkileri içeren bir modeldir. Tam Rassal Model "Completely Randomized Model": Hangi deneyin yapılacağı sırasının tamamen rasgele olduğu bir deneysel plandır. Rassal Blok Dizaynı "Randomize Block Dizayn": Deneysel gözlemlerin bir kritere göre ikiye bölünmesidir (Pyzdek, 2003).

### 3.3.4. Deney tasarımının faydaları

Deney tasarımı tekniği; öncelikle tasarım aşamasında veya çalışan bir süreçte kritik kalite problemlerinin giderilmesini sağlamaktadır. Bunu yaparken de hedef; süreç performansı üzerinde etkili tüm ürün parametrelerinin incelenmesidir [16].

Deney tasarım tekniklerinin kullanılması ile;

1. Üzerinde çalışılan sonuç değişkeni üzerinde en etkin faktörlerin belirlenmesi,
2. Üzerinde çalışılan sonuç değişkenini istenilen değere yaklaştıran etkin faktörlerin ve bu faktör değerlerinin belirlenmesi,
3. Herhangi bir sonuç değişkeninin değişkenliğinin azaldığı etkin faktörlerin ve bu faktörlerin değerlerinin belirlenmesi,
4. İncelenen sonuç değişkeni üzerinde kontrol edilemeyen değişkenlerin etkisini en aza indiren kontrol edilebilir değişkenlerin değerlerinin belirlenmesi,

mümkün hale gelmektedir [13].

Deney tasarımı yöntemlerinin uygulanması;

1. Anahtar değişkenlerin tanımlanmasına yardımcı olunur. Bu değişkenler, üretim sürecini kontrol altında tutan değişkenlerdir. (ürün karakteristikleri veya süreç parametreleri, malzemeler / tedarikçiden alınan malzemeler, çevresel faktörler veya ölçüm cihazı etkileri)
2. Tanımlanan anahtar değişkenlerde ki temel etkilerim ne/neler olduğunu ve aynı zamanda etkileşimlerin etkilerini belirler.
3. Anahtar değişkenleri, tolerans değerlerine yakın bir şekilde yeniden tasarlar.



4. Anahtar değişkenlerin tanımlanması ve daha sonra gerek ürün gerekse üretim sürecini performansının takip edilmesinde kullanılan İstatistiksel Proses Kontrol uygulamaları için izlenmesi gereken değişkenlerin de belirlenmesine de katkı sağlar.
5. Yeni süreçleri, eldeki eski dotalarla geliştirmenin zorluğu ve hatta imkansızlığı sebebiyle geliştirme safhasında kullanılır.
6. Kazancı yükseltip ve maliyeti düşürmek amacı ile önemli faktörlerin ve bu faktörlerin bileşik seviyelerinin kullanımına dikkat çeker.
7. Tasarım ve imalat arasındaki süreci kısaltır ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı güçlü (robust – gürbüz) tasarım üretir.
8. Kalitesizliğin sebep olduğu %10-25'lere ulaşan satış fiyatı zararını, ürünü ve

### **3.3.5. Deney tasarımının aşamaları**

Deney tasarımı ve analizi çalışmalarında istatistiki bir yaklaşım kullanılabilmesi için deneye katkısı olan herkesin; üzerinde çalışılacak konuyla ilgili yeterince bilgi sahibi olması / bilgilendirilmesi, verilerin nasıl toplanıp analiz edileceği konusunda fikir sahibi olması gereklidir.

Deney tasarımı için önerilen süreç akışı şöyledir;

#### Problemin saptanması

Deney yapmayı gerektiren problemin tespit edilmesi çok kolay değildir. Deneyin amaçları tüm açıklığıyla ortaya konularak fikirler geliştirilmelidir. Bu, takım çalışmasıyla olmaktadır. Ar-Ge, üretim, servis, satış-pazarlama, yönetim, gibi departmanlara ve müşteriye fikirleri sorulmalıdır.

#### Yanıt değişkenin seçilmesi

Seçilecek yanıt değişkeni, üzerinde çalışılacak süreç hakkında yeterince bilgi vermelidir. Aynı anda birden fazla yanıt değişkeninin de seçilmesi mümkündür.

### Faktörlerin ve seviyelerinin seçimi

İkinci veya üçüncü adımlar aynı zamanda veya istenilen sıralamada yapılabilirler. Tasarımda kullanılacak faktörler, deney esnasında sabit tutulacak faktörler ve değişmesine izin verilebilecek faktörler saptanır.

Bu faktörlerin, istenilen seviyelerde nasıl kontrol altında tutulacağı ve ölçümlerinin hangi şartlar altında yapılacağı önemlidir.

### Deney tasarımının seçilmesi

Deney öncesi planlama safhasının tüm etkenler göz önüne alınarak iyi yapıldığı durumlarda bu aşama oldukça kolaydır. Bu aşama; örnek büyüklüğünün ve tekrar sayısının belirlenmesi, bloklama yapılıp yapılmayacağı gibi kararları da içerir. Bu aşamaya destek olacak istatistikî bilgisayar paket programları da mevcuttur. Bu programa faktör sayıları, seviyeleri girilerek uygun tasarımı seçmek ve analizi yapmak mümkündür. Hangi deney tasarımının seçileceğinde deney amaçlarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Faktörlerin, belirlenen yanıtı nasıl etkilediğini ve bunda hangi yöntemin daha etkili olduğunu bulmak amaçlanır.

### Deneyin gerçekleştirilmesi

Deneyin gerçekleştirilmesi sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus, her şeyin önceden planlandığı gibi yapılmasının, sürecin/prosesin takip edilerek sağlanmasıdır. Deneysel prosedürün uygulanmasında yapılabilecek ufak hatalar bile deney geçerliliğini yok edecektir. Deneye başlamadan önce deneme sınama deneyleri yapılarak sistemin denenmesi önerilir.

### Verilerin istatistiksel analizi

Verilerin analizi için istatistikî metodların kullanılması, analizin taraflı ve süreç hakkında ki yargı/yargılara dayalı yapılmasını önlemek içindir. Faktör veya

faktörlerin etkilerini istatistiksel yöntemler ispatlayama ama ne var ki sonuçların güvenilirliği konusunda da fikir verebilirler.

### Sonuç ve öneriler

Sonuç verilerinin analizinden sonra deney yapan kişi, elde edilen sonuçlara dayanarak pratik çıkarımlar yapmalı ve bundan sonra nasıl bir yol takip edebileceğini tespit etmelidir.

Deneyler, hipotezlerin araştırılması için yapılır ve yapılan her deney sonucunda yeni hipotezler üretilebilir. Deney, öğrenme sürecinin önemli bir bölümünü oluşturur. (Montgomery, 2005).

### **3.3.6. Toplam kalite yönetimi ve deney tasarımı**

İstatistiksel deney tasarımı yönteminin detayına girmeden önce, deney tasarımının genel olarak kalite yöntemiyle olan ilişkisini açıklamanın yararı vardır. 2000'li yıllardan bu yana uygulana bir yönetim biçimi olan Toplam Kalite Yönetimi'nin (TKY) doğru uygulanabilmesi için beş temel ögenin yerine getirilmesi gerekir.

1. Üst yönetimin liderliği,
2. Müşteri odaklılık
3. Firma elemanlarının yeterliliği
4. Takım çalışması
5. Sürekli geliştirme (Kaizen) yaklaşımı

Yukarıdaki verilen maddelerden ilk dördü, beşincisi için gereklidir. Gerçekte firmada ürün ve hizmet kalitesini iyileştirmek için gereken direkt çalışmalar, "kaizen" yaklaşımı içinde yapılır. Dolayısıyla, sürekli geliştirme, TKY' nin en temel faaliyetidir.

Kaizen çalışmalarında, Deming yaklaşımı olarak tanınan "PYDK / Planla-Yap-Doğrula- Karar ver" süreci genel çalışma çerçevesi olarak uygulanır. Bu çerçeve

içinde çemberin farklı aşamalarında, çoğu istatistikî olmak üzere birçok teknik ve yöntem uygulanabilir.

Bu yöntemler arasında, Japonya'da geniş kitlelere öğretilmiş olmaları nedeniyle en çok tanınanları "Ishikawa'nın Yedi Basit Aracı" olarak bilinen balık kılçığı çizelgesi, pareto analiz, çetele tablosu, histogramlar ve kontrol çizelgeleri gibi araçlardır. Toplam Kalite Yönetimi sürekli gelişmekte olduğu için, uygulanana bu tekniklere her geçen gün başkaları eklenmektedir (Şirvancı, 1997).

PYDK çemberinin ilk iki basamağına incelendiğinde, bir değişikliğin planlanıp uygulanmasının önerildiği görülür. Gerçekte, PYDK çemberinde bir deney yapılması önerilmektedir. Amaç mevcut şartlar yerine farklılarını deneyerek üründe gelişme sağlamaya çalışmaktır. Pratikte uygulanan deneylerin bazıları oldukça basit deneylerdir. Bu basit deneylerin planlanıp deneyler sonucunda elde verilerin analizi yukarıda sözü edilen yedi araçla sağlanabilir.

Ayrıca, ürün tasarımı ve üretim aşamalarında karşılaşılan pek çok durumda ise, ürün kalitesini etkileyebilecek çok sayıda faktörün göze çarpar. İşte bu gibi durumlarda istatistiksel olarak tasarlanmış deneylere gerek duyulur. İstatistiksel olarak tasarlanan deneylerle, birçok faktörün ürün parametrelerine olan etkilerini ve birbirleriyle oluşan etkileşimlerini nispeten daha düşük maliyetle incelemek mümkündür (Şirvancı, 1997).

İstatistiksel proses kontrolü temelde pasif bir istatistiksel yöntemdir. İstatistiksel proses kontrolünde pasif olarak sürecin kontrol altında olup olmadığı kontrol edilir. İPK, eğer süreç kontrol altındaysa daha fazla bilgi üretmez ancak buna karşılık deney tasarımları aktif istatistiksel yöntemlerdir. Bu deneyleri kişiler kendileri aktif olarak oluşturur ve bir dizi gözlem yaparak sürecin iyileştirilmesi için deneylerin kendilerine kattıkları yorumlanır (Gürsakar, Oguzlar, 2003) [12].

Motorola firmasının kalite grubundan K. Bhole kitabında üç yöntemin kalite gelişimine olan katkısını 1950-90 dönemi için Amerika'da ve Japonya'da karşılaştırmaktadır. Amaçları kalite sağlamak olan bu üç yöntem; i) geleneksel muayene, ii) istatistiksel proses kontrolü ve iii) deney tasarımı yöntemleridir.

Japonya'da kalitenin ve kalite anlayışının ilerleyip gelişmesine en büyük katkısı, 1970'li yıllardan sonra deney tasarımı yöntemi sağlamıştır. Japonya'da yılda bir milyondan fazla istatistiksel olarak tasarlanmış deney uygulanmaktadır ve bu deneylerin bazıları oldukça büyük ölçekli deneylerdir. Örneğin Japon Fuji firmasını 1980'lerin ortalarında ziyaret eden bir Amerikan heyeti, Fuji firmasında 100 adet faktörün film kalitesine olan etkisinin birlikte incelendiği bir deneyin uygulanmakta olduğunu belirtmiştir.

1980'lerin başında Taguchi'nin Amerika'da deney tasarımı konulu verdiği seminerler sonrasında deney tasarımının eğitimi ve uygulaması Amerika'da da oldukça hızlı yaygınlaşmıştır. Bugün dünyanın hemen hemen her ülkesinde deney tasarımı konulu eğitimler, seminer ve konferanslar verilmekte olup, yöntem üretiminde de uygulanmaktadır (Şirvancı, 1997).

### **3.4. Taguchi Metodu**

Taguchi metodu; üründe ve süreçte, değişkenliği oluşturan kontrol edilemez faktörlere karşı, kontrol edilebilir faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonlarını seçerek, ürün ve süreçteki değişkenliği en aza indirmeyi amaçlayan bir deneysel tasarım metodudur.

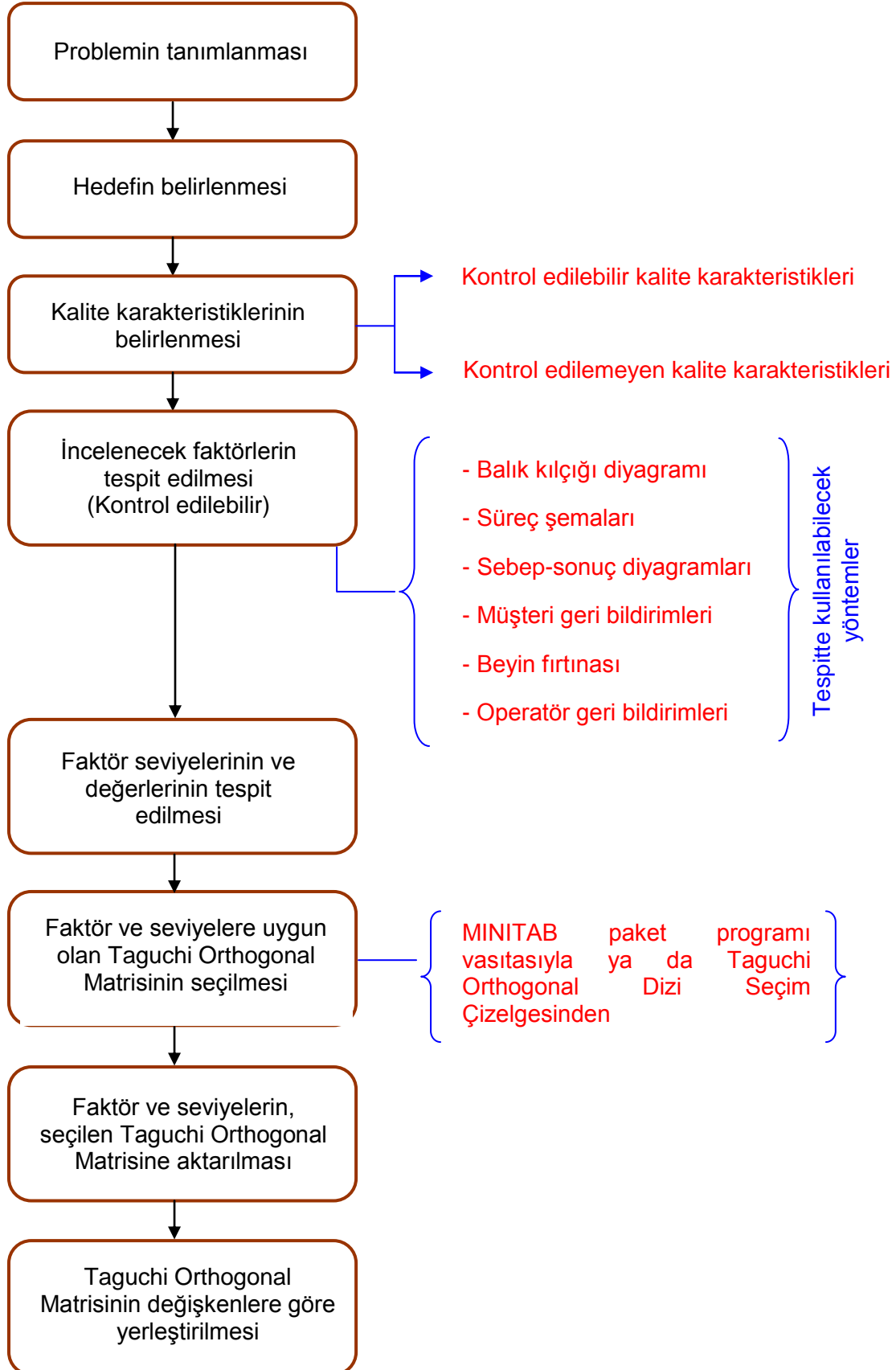
Taguchi metodu; ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesinde/geliştirilmesinde etkili olmanın yanında, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi/verimli sonuç alma imkânı da sunmaktadır. Bununla beraber felsefe olarak, kalitenin tasarımda ve süreç aşamasında sağlanmasını öngörmektedir. Taguchi metodunda faktör seviyelerinin belirlenmesinde gözlem yöntemi, sıralama yöntemi, sütun farkları yöntemi, varyans analizi yöntemi ve faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yöntemlerinden en uygun olanı uygulanmaktadır (Canyılmaz, Kutay, 2003).

Taguchi'nin kalite mantığı şu şekilde özetlenebilir (Kaçkar, 1986);

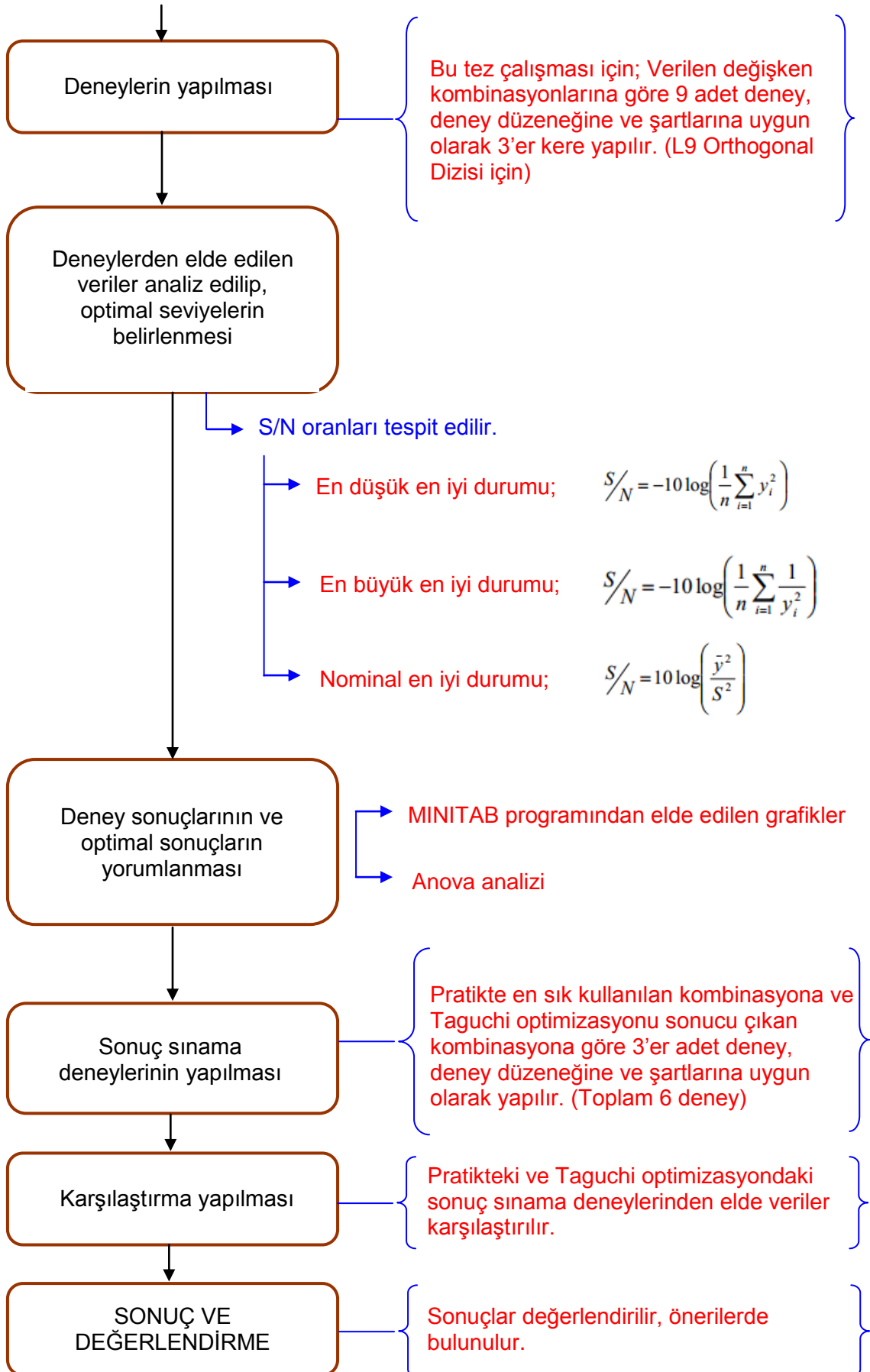
1. Ürün kalitesi, o ürünün kalitesizliğinin toplumda yol açabileceği toplam kayıp olarak ifade edilebilir.

2. Rekabetçi bir ekonomi içinde faaliyet gösteren işletmenin varlığını koruyabilmesi için kaliteyi sürekli olarak geliştirmesi ve maliyetleri düşürmesi şarttır.
3. Sürekli kalite geliştirme uygulamaları, ürünün performans karakteristiklerinin hedeflenen değerlerden sapmalarının belirgin bir miktarda azaltılmasını içermelidir.
4. Ürün performansındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ve müşterilerin uğradığı kayıp, yaklaşık olarak performans karakteristiğinin hedef değerden sapmasının karesi ile doğru orantılı olmaktadır. Buna Taguchi kayıp fonksiyonu denilmektedir.
5. Ürünün kalitesi ve maliyeti, ürünün ve imalat sürecinin mühendislik tasarımları tarafından belirlenir.
6. Ürün ve sürecin performans varyansı, ürün ve süreç parametrelerinin performans karakteristikleri üzerindeki eğrisel etkileri giderek azaltılabilir.
7. İstatistiksel olarak tasarlanmış deneyler performans varyansını azaltan ürün / süreç parametrelerinin tespitinde kullanılabilir.

Bu tezde uygulanacak olan Taguchi metodu iş akışı aşağıdaki gibidir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Taguchi metodu iş akışı



Şekil 3.4. (devam)Taguchi metodu iş akışı

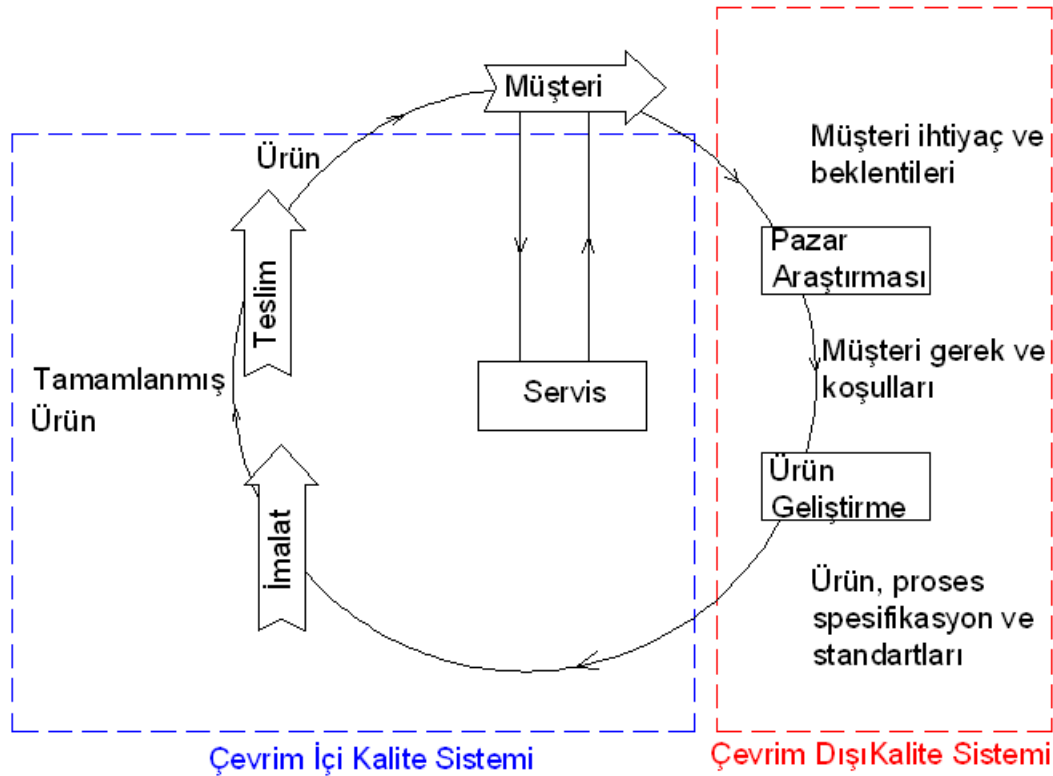


### 3.4.1. Taguchi kalite kontrol sistemi

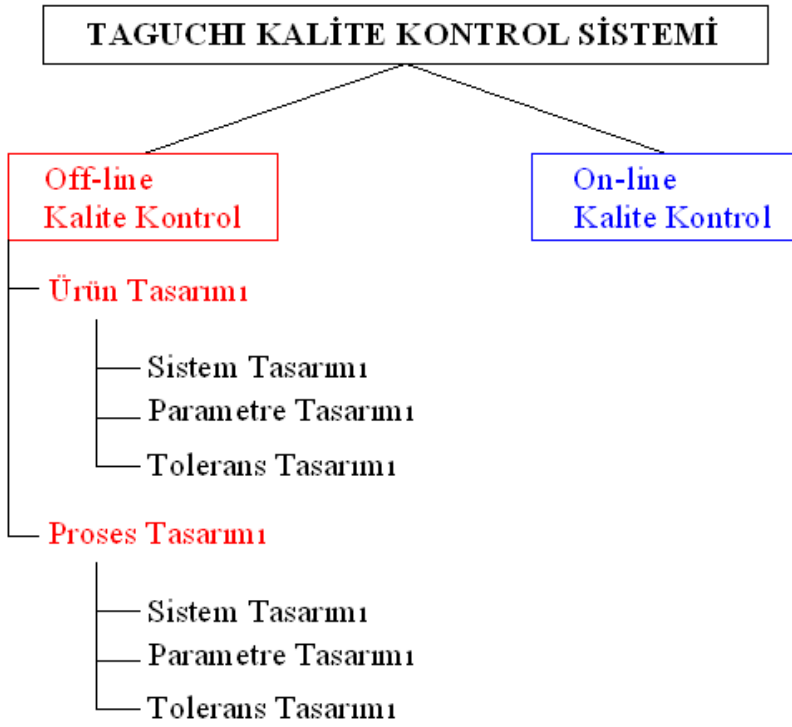
Taguchi metodu 1950"lerde Prof. Dr. Genichi Taguchi tarafından süreç eniyileme tekniği olarak geliştirilmiş bir uygulamadır.

"Taguchi"nin kalite alanına getirmiş olduğu en belirgin katkı, kalite sistemini üretim öncesi (off-line) ve üretim süreci (on-line) olarak ikiye ayırması ve bir ürünün kalitesini ve müşteri memnuniyetini; üretim öncesindeki aşamada tasarım ve geliştirmenin (Ar-Ge) mükemmelliği ile yakından bağlantılı olduğunu gösteriyor olmasıdır" [17].

Taguchi'nin üretim/ kalite sistemini anlamak için aşağıda verilen üretim/kalite çemberini referans olarak kullanmak yararlı olacaktır. (Şekil 3.5.) Bu çember çevresinde yer alan ve kaliteyi sağlamak için yapılan Taguchi tarafından, On-line ve Off-line kalite olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. (Lochner anad Matar, 1990)



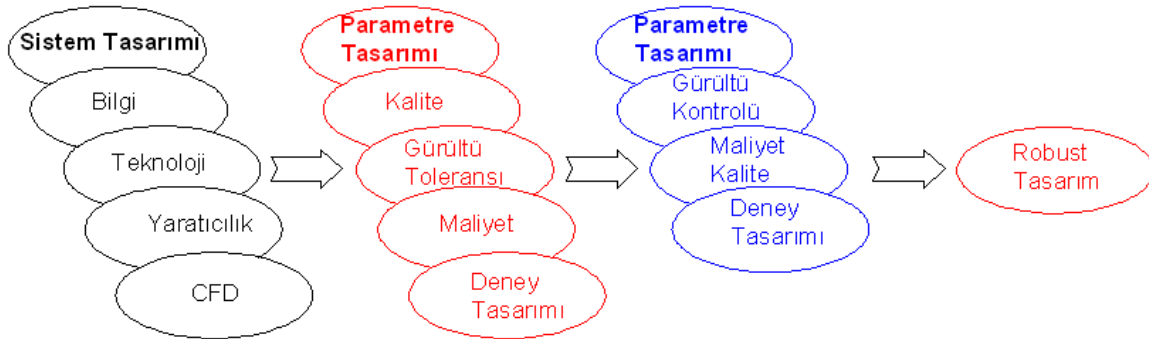
Şekil 3.5. Üretim kalite çemberi



Şekil 3.6. Taguchi kalite kontrol sistemi

### Off-Line Kalite Kontrol

Off- line kalite kontrol, pazar araştırması ile ürün ve üretim sürecinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite uygulamalarını kapsamaktadır. Bu uygulamalar ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen takım çalışmalarını içermektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Off-Line Kalite Mühendisliği

Taguchi, Off-line kalite kontrolü;

- i. Ürün tasarımı
- ii. Proses tasarımı

olarak iki kısımda incelenmektedir (Şekil 3.5).

Kalite sağlama aşaması olarak, hem ürün hem de proses tasarımı için, üç kalite aşaması tanımlanmaktadır. Bunlar;

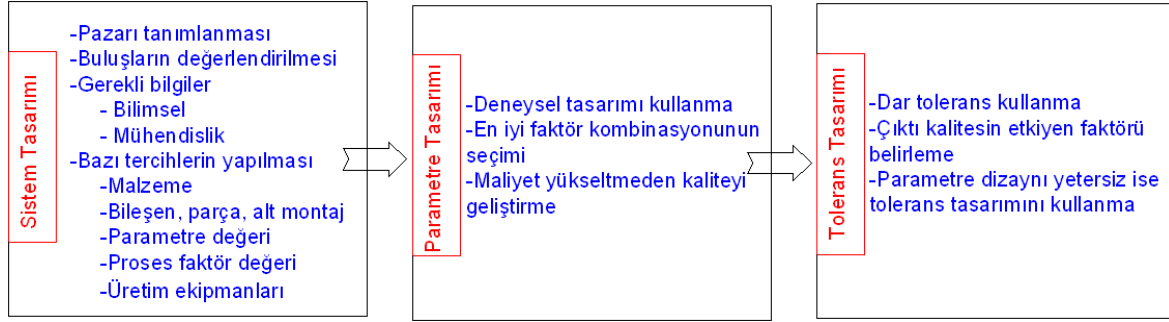
1. Sistem tasarımı
2. Parametre tasarımı
3. Tolerans tasarımı aşamalarıdır.

Taguchi'ye göre ürünün kalitesini iyileştirmek için en belirleyici faaliyetlerin yapılabileceği aşama, hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için, *parametre tasarımı* aşamasıdır. (Şirvancı, 1997)

Off-line kalite mühendisliği ise ürünün tasarım ve geliştirme proseslerinin başlangıç aşamalarında gerçekleştirilmektedir. Ürün ya da proses, kullanım, üretim, malzemeler ve diğer faktörlere karşı gürbüz (Robust tasarım) olacak şekilde tasarlanır (Frigon, Mathews,1997).

Kalite mühendisliğinde ürün ve süreç kalitesini iyileştirmek için "istatistiksel deney tasarımı"nın önemini vurgulanır. İstatistiksel deney tasarımı, işletmede kalite geliştirme çalışmalarında kullanılan, kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen değişkenlerin hedef kalite parametresi veya parametreler üzerindeki etkilerini belirler.

Özetle, Taguchi, ürün ve süreç tasarımında deneysel tasarımın önemini vurgulamıştır. Taguchi; Sistem tasarımı, Parametre tasarımı ve Tolerans tasarımı olmak üzere üç tür tasarım üzerinde durmuştur (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Taguchi metodunun sistematığı (ASI Quality Systems, 1990)

Kalite mühendisliğinde tasarım kalitesi (Robust Design) 3 temel sürece dayanmaktadır.

Bunlar;

1. Dikey dizilim (Orthogonal arrays)
2. Sinyal-gürültü oranı (S/N ratio)
3. Kayıp fonksiyonu (Loss function)'dur.

### Robust Design (Gürbüz Tasarım)

Gürbüz (Güçlü) tasarım da denilmektedir. Ürün ve süreç geliştirme sırasında kontrol edilebilen süreç parametreleri (hat hızı, basınç, sıcaklık vs.) için optimal düzey ve ayarların belirlenerek süreç varyasyonunun en aza indirilmesine yönelik yaklaşımdır.

Robust kelimesinin Türkçe karşılığı gürbüzdür. Gürbüzün kelime anlamı da "sağlam, güçlü, iyi gelişmiş" olarak ifade edilmiştir. Kelime anlamına göre yapılacak yorumda, gürbüz tasarıma sağlam tasarım ifadesi kullansak çok da yanlış olmaz. Burada ki sağlamlık ifadesi yapısal anlamda değil, çevresinden etkilenmeyen, değişken durumlar altında aynı performansı sergileyen olarak algılanmalıdır. Çünkü Robust Design, geliştirme, üretim ve kullanım sırasında değişkenliklerden etkilenmeyen ürünler tasarlamayı hedefleyen bir yaklaşımdır.

Gürbüzlük kavramı, genel olarak 2 farklı süreç içerisinde incelenir. Birincisi üretim sürecinde gürbüzlük, ikincisi ise kullanım sürecinde gürbüzlüktür.

Üretim sürecindeki gürbüzlük, üretim sırasında etken olabilecek olan tüm kaynaklardan (teçhizat, personel, ortam vb.) gelen değişkenliğin etkisinin az olmasıdır. Örneğin bir ürünün performansı, üretimi yapan operatörden, üretim tezgahından, üretimin yapıldığı ortam koşullarından etkileniyorsa bu durumda üretim süreci gürbüz değildir.

Üretim sürecini gürbüz olabilmesi için;

1. Kullanılan malzemenin özellik değişkenliği etkisinin minimize edilmesi,
2. Kullanılan üretim yönteminden dolayı ortaya çıkan değişkenliklerin minimize edilmesi (Bilgisayar kontrollü üretim tezgahları, otomasyon vs. gibi),
3. Üretimi gerçekleştiren personelin etkisinin minimize edilmesi,
4. Ortam şartlarındaki değişkenliğin minimize edilmesi gerekir.

Kullanım aşamasındaki gürbüzlük ise, ürünün kullanıldığı şartlardaki değişkenlikten etkilenmemesi durumunu ifade etmektedir. Örneğin bir ürünün hem yüksek hem de düşük sıcaklığın olduğu ortamlarda çalışması beklenmesine rağmen, ürünün düşük sıcaklıkta çalışma performansı gereksinimleri karşılamaya yetmiyorsa bu ürün gürbüz bir ürün değildir.

Sonuç olarak gürbüzlük;

Tasarımda Gürbüzlük (Design For Robustness) bir ürünün, üretim ve kullanım aşamalarında değişkenliklerden etkilenmeyecek veya en az etkilenecek şekilde tasarım yapmayı hedefler. Bu amaçla, üretim gürbüzlüğü için, uygun malzeme, doğru üretim tekniği ve doğru üretim ortamı seçilecek şekilde tasarım şekillendirilmelidir. Ürünün kullanımı sırasındaki gürbüzlük için de ürünün kullanım tüm kullanım koşulları, kullanıcının ürünü kullanım şekli dikkate alınarak tasarım çalışması yapılmalıdır.

Taguchi tasarımı bir ürünün kalite sağlama seviyesi hem ürün tasarımı hem de süreç tasarımı kapsayan 3 tasarım üzerine kurulmuştur.

Bunlar;

1. Sistem tasarımı: Kavram oluşturma aşamasıdır.
2. Parametre tasarımı: Ürün ve süreç için hedef oluşturulması aşamasıdır.
3. Tolerans tasarımı: Sonuç hedeflenen değere ulaşmadığında yapılan ek çalışmalardır.

Taguchi metodu, farklı parametrelerin değişik seviyeleri arasından en iyi kombinasyonu saptamak için kullanılacak oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar içeren çok fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda Taguchi yönteminde orthogonal dizi seçim çizelgesi kullanılarak (EK-15) çok daha az sayıda deneysel çalışmayla istenilen sonuca ulaşmak mümkündür [18].

### *Sistem tasarımı*

Taguchi Metodu'nun ilk aşaması sistem tasarımıdır. Bu aşamada, tasarımcı tarafından yapıların değişimi incelenirken, ürünün istenilen fonksiyonlara sahip olabilmesi için gerekli teknolojiler tasarlanır ve ürün için en uygun olan bir tanesi tercih edilir (Sudhaker, 1995).

Üretilmesi düşünülen ürün ile ilgili; bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, buluşların değerlendirilmesi, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması, pazarın tanımlanması bu aşamanın içeriğini oluşturur. Ve bu aşamada malzeme alımında, ürün ağacında ki parçaların özelliklerinin iyileştirilmesinde bazı kararlar verilir.

Sistem tasarımı aşamasına, kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının yatırıma dönük aşaması da denilebilir.

Burada temel amaç; üretim aşamasında, daha önceden belirlenen spesifik limitler ve toleranslar içinde en düşük maliyetle ürün üretimini gerçekleştirmektir. Bunun için teknolojik gelişmeler, bilimsel buluşlardan ve pazar araştırmalarından faydalanılabilir (Aydın, 1994).

Sistem tasarımı aşaması, teknoloji ve mimarlık şeklindeki fonksiyonel tasarımı kapsamaktadır. Bu adımda eldeki bütün datalar ve materyaller değerlendirilirken mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistem içerisinde kullanılabilirliği üzerine fizibilite çalışmaları yapılır. Bu aşamada ki en temel hedef; en düşük maliyetle en iyi ürün tasarımı ve en yüksek müşteri memnuniyetini sağlamaktır [20].

### *Parametre tasarımı*

Süreç iyileştirme ve geliştirmenin en önemli aşaması parametre tasarımıdır. Bu adımda üretilecek ya da geliştirilecek olan ürünün özelliklerinin en iyi seviyeye getirilebilmesi için üretimde kullanılan parametrelerin iyileştirilmesi sağlanır. Parametrelere en iyi / en yüksek kalite değerini verebilecek / uygulanması en uygun değerlerde ki seviyeler seçilir.

Üretim esnasında ürünün kalitesini negatif etkileyecek kontrol edilemeyen faktörler belirlenir ve bunlara kontrol edilemeyen parametre adı verilir. Ardından bu parametrelerin etkileri en aza indirgenir.

Bu adımda parametreler bloklanırken Taguchi'nin geliştirmiş olduğu ortogonal diziler kullanılır. Aynı zamanda sinyal gürültü oranı (S/N - Signal/Noise ratio) analizi ile de hesaplama yapılabilir. Parametreler belirlendikten sonra Çizelge 3.1'deki Taguchi ortogonal dizisinden bir dizi seçmek gerekmektedir. Bu tabloya göre, bir araştırmacı 5 parametreye sahipse ve her bir parametrenin 3 seviyesi olduğu kabul edilirse L18 dizisi en uygun dizi olarak seçilir. Çizelge 3.1'de L16 ve L32 dizileri 4 seviyeli deneyler için kullanılmaktadır. Çizelge 3.1'nin dışında kalan parametre ve seviyeler için deney şartları daha zor olduğundan parametre ya da seviye küçültülerek uygun diziyeye getirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda ortalamalar ve gürültü oranı (S/N) değerleri de hesaplanarak kaydedilir [54, 55].

Parametre tasarımı, ürün parametre tasarımı ve proses parametre tasarımı olarak incelemekte yararlı olacaktır.

### Ürün parametre tasarımı

Ürün parametrelerinin, malzemenin fiziksel / kimyasal değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi, optimal değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Parametre tasarımında amaç, üründe ortaya çıkabilecek farklılıkları (varyasyonu) en aza indirgeyerek, ürünün hem imalat maliyetini hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktır.

### Proses parametre tasarımı

Kontrol edilebilen imalat proses parametreleri (ilerleme hızı gibi çeşitli hızlar, fırın sıcaklığı gibi çeşitli sıcaklıklar, farklı basınç değerleri ve değişik süreler) için optimal düzey ve ayarların tespit edilmesi anlamında kullanılmaktadır.

Her iki parametre tasarımında amaç, üründe ve proseste, farklılık orta çıkaran ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimum seçerek, ürün ve prosesteki farklılığı en aza indirmektir. Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve proses tasarımına Robust (Gürbüz) Tasarım demiştir.

Ürün ve proses parametre tasarım aşamalarında, optimum değerlerin tespit edilmesini ve optimum ayarların yapılmasını gerektiren pek çok faktör bulunmaktadır. Üstelik bu faktörlerin bir çoğu da birbiriyle etkileşim halindedir. Belirtilen bu kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin, ürüne ve ürünün performansına olan etkilerinin birlikte belirlenmesi için en prodüktif uygulama istatistiksel deney tasarımıdır metodudur. Deney tasarımı aracılığıyla, değişik bir çok faktörün ürün üzerindeki etkisini düşük maliyetlerle belirlemek ve farklılık yaratan faktörlere karşı önlemleri, tasarım aşamasında iken almak mümkün hale gelmektedir. Dolayısıyla görülmektedir ki, Taguchi'nin çevrimdışı kalite kontrol sistemi içinde en önemli kalite sağlama metodu deney tasarımıdır (Şirvancı, 1997).



Taguchi Yöntemi, ürün ve prosesteki değişkenliği en düşük seviyeye indirgemeye çalışan bir deney tasarımı metodudur. Bu metod, değişkenliği oluşturan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu verir.

Orijinal Taguchi tekniğinde ürünün tek bir kalite karakteristiği optimize edilmeye çalışılmaktadır. Ancak gerçek hayatta ürün geliştirme aşamalarında çoğu zaman birden çok sayıda yanıt değişkenin eş zamanlı optimizasyonu problemi ile karşılaşılır. Çok yanıtlı deneylerde yanıt değişkenlerinin tek tek ve diğerlerinden bağımsız bir şekilde incelenmesi sorunlara yol açtığından eş zamanlı iyilenmesi istenir. İki veya daha fazla kalite karakteristiğini eş zamanlı iyileştirilmesi ile ilgili geliştirilen yaklaşımlarda çoğunlukla farklı kalite karakteristiklerinin farklı önceliklere sahip olması durumunda ağırlıklandırma istenmektedir. Bu işlem uzman kişilerin deneyimlerinden veya çeşitli yöntemlerden yararlanılarak yapılabilmesine rağmen, genellikle birinci yolun tercih edildiği görülmektedir (Baynal, Boran, 2006).

### *Tolerans tasarımı*

Parametre belirleme faaliyetleri sonrasında hedefe ulaşamadığında yapılan ilave faaliyetlerdir. Tolerans tasarım aşamasında gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur ve bu kayıplar göz önünde tutularak sapmalar azaltılır [19].

Taguchi, deney içindeki değişkenliği düşürmek amacı ile, deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/ gürültü oranı olarak isimlendirilen bir kriter ortaya koymuştur ve problemin amacına göre farklı sinyal gürültü oranları ile denemeler yapmıştır.

Deneylerin sonuçları birden çok sonuç içerdiğinden, standart bir istatistiksel analiz olan ortalama sonuçların kullanımı yerine sinyal / gürültü oranının (S/N ) kullanılması tercih edilir. Bir deneysel tasarımda incelenen ürünün bir faktöre bağlı olarak kalitesindeki değişim, istenen etkinin “sinyali” olarak tanımlanır. Ne var ki bir

deney gerçekleştirildiğinde tasarım uygulanmamış ve sonucu etkileyebilecek birçok dış faktör olabilir.

Bu dış faktörler gürültü faktörleri olarak tanımlanır ve çıktı üzerindeki etkilerine “gürültü” adı verilir. Sinyal / Gürültü oranı (S/N); kontrollü bir şekilde araştırılan kalite karakteristiğinin, kontrol altında olmayan ama sonucu etkileyen dışsal faktörlere (gürültü) karşı duyarlılığını ölçer. En genel olarak S/N ortalamanın standart sapmaya oranıdır şeklinde bir tanımlama yapılabilir.

Genel olarak herhangi bir deneyin amacı, sonuç değeri için en yüksek S/N oranına erişmektir. Yüksek bir sinyal gürültü oranı sinyalin gürültü faktörlerinin rastsal etkilerine karşı daha yüksek olduğunu gösterir. Ürün tasarımı ya da proses tasarımı yüksek bir S/N oranında kararlıysa her zaman optimum kaliteyi ve minimum değişimi verir. S/N oranı kullanılarak yapılan analizlerin avantajları şöyle sıralanabilir;

1. Hedef çerçevesinde minimum değişime dayanan ve hedefe ortalama olarak en yakın değeri veren seviyelerin, optimum değerlerinin seçimine rehberlik eder.
2. Hedef çerçevesindeki değişim ve hedef değerden ortalamanın sapmasına dayanan iki set deneysel datanın tarafsız olarak karşılaştırılabilmesini sağlar. Bir set gözlemin bir sayıya dönüşmesi iki basamakla yapılır. (İdris v.d, 2002, s: 229)

En küçük en iyi durumu için;

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sıfırdır ve negatif yönde bir sapma göstermez. Daima alt sınırın olması istenir. Tolerans azaldıkça durumda iyileşme artar. Bu duruma örnek olarak yüzey bitirme işlemlerinde yüzey pürüzlülük değeri verilebilir. Yüzey pürüzlülüğü ne kadar küçük ise hedef o kadar yaklaşmış olur. Ve bu durum için sinyal/ gürültü oranı şöyle tanımlanır;

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.1)$$

En büyük en iyi durumu için;

Bu durumda kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sonsuzdur yani değişkenin bir üst sınırı yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçü büyüdükçe verimlilik artacaktır. Buna örnek olarak malzemelerin dayanıklılık değerleri verilebilir. Malzeme dayanıklılık değeri ne kadar büyük olursa istenilen sonuç değere de o denli yaklaşmış olur. Ve bu durum için sinyal / gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.2)$$

Nominal en iyi ( Hedef değer en iyi) durumu için;

Bu tür durumlarda Y için belli bir hedef değer verilmiştir ve sapmalar iki yönlü olarak değişebilir. Dolayısıyla iki taraflı tolerans söz konusudur. Buna en iyi örnek olarak boyut kriterleri verilebilir.

Nominal değer etrafında ki toleranslar saptanırken Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonundan faydalanılır. Çünkü tolerans tasarımı ekonomik analizler sonucunda kalite kayıplarını ölçmektedir [16].

Ve bu durum için sinyal/ gürültü oranı şöyle tanımlanır;

$$S/N = 10 \log \left( \frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (3.3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

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

## Eşitliklerde

$y_i$ : Performans yanıtının  $i$ . gözlem değerini

$n$ : Bir denemede test sayısını

$\bar{y}$ : Gözlem değerlerinin ortalamasını

$S^2$ : Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

Her üç durumda da hedef, S/N oranını maksimize etmektir. Taguchi'ye göre, S/N oranlarının maksimize edilmesi, bir yandan sinyali arttırırken, diğer yandan da varyasyonu azaltmaktadır (Şirvancı, 1997).

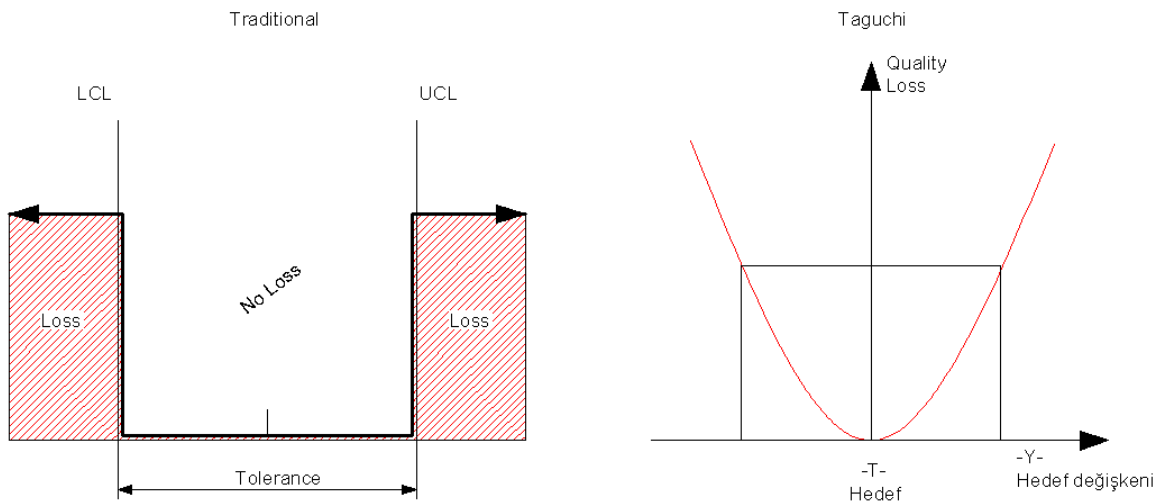
S/N oranları yorumlanarak süreç sonuçlarına etki eden parametreler tespit belirlenebileceği gibi, süreç parametrelerin optimum değerleri de tespit edilebilir. (Kwak, 2005)

### 3.4.2. Taguchi kayıp fonksiyonu

Ford'un 80'li yıllarda ki bir deneyimi, parça üretiminde hedeften sapmalar sonucu oluşan varyasyonun, firmaya ekonomik kayıp olarak döndüğünü göstermektedir. Ford, ürettiği araçlara şanzıman üretmek için iki ayrı firmaya sipariş verir. Tedarikçi firmalardan bir Amerikan firması, diğeri ise Japonların Mazda firmasıdır. Her iki firma da şanzımanları, Ford'un istemiş olduğu spesifik değerlere uygun olarak üretip teslim ederler. Garanti süresi içinde şanzıman sorunlarından kaynaklanan garanti talepleri oluşur. Ford yetkilileri, sorunlu şanzımanları üretici firmaya göre sınıflandırdıklarında şunu görürler; Amerikan firmasının ürettiği şanzımanların sayısal olarak diğlerinden birkaç kat fazladır. Bunun üzerine şanzımanların bazı kritik performans değişkenlerinin olasılık dağılımını hesaplarlar. Her iki firmanın da ürettiği şanzımanlar, Ford'un belirlediği spesifik sınırlar içindedir. Ancak Amerikan firmasının ürettiği şanzımanlarda varyasyon Mazda'ya oranla daha fazladır. Bu şanzımanlar, daha sık, daha erken arıza periyotları oluşturarak firmanın ekonomik durumuna olumsuz katkı vermektedir [21].

Geleneksel kalite kontrolde uygulamalarında, parçalar, hedef değerden sapmalarına bakılmadan, belirlenen spesifik sınırlar içinde olup olmadıklarına göre değerlendirilir. Parçanın değeri sınırların uymuyorsa, parça yeniden işleme ya da hurdaya sevk olarak değerlendirilir; sınırlara uyuyorsa kabul edilir. Yani işletme açısından kayıp ya sıfırdır ya da tamdır. Taguchi, bu geleneksel kalite kontrol anlayışının gerçeği yansıtmadığını düşünerek karesel kayıp fonksiyonu adı verilen fonksiyonu geliştirmiştir.

Burada, yatay eksen hedeften sapmanın miktarını, dikey eksen ise parasal kaybı belirtmektedir. Buna iadeler, garanti istekleri, müşterinin tamir masrafları gibi maliyetler dahildir. Hedef değerden sapma arttıkça, sapmanın karesi oranında kayıp artmaktadır (Şirvancı,1997) (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Taguchi kayıp fonksiyonu

Kayıp fonksiyonun denklemini şöyledir;

$$\text{Kayıp} = k (Y-T)^2$$

Denkleminde "T= Hedef değeri, Y= Değişkenin ölçülen değeri, k= sapmayı para birimine çeviren bir katsayıdır." Kayıp fonksiyonunu farklı şekillerde yorumlamak mümkündür. Örneğin kaybın azaltılması için varyasyonun azaltılması gerekmektedir. Kaybı azaltabilmek için sürecin sürekli iyileştirilmesi gerekir (Şirvancı,1997).

### On-Line kalite kontrol

Çevrim içi kalite kontrol, ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrasındaki kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, On-line kalite kontrol uygulamalarıdır.

“Deney tasarımı, Taguchi'nin kalite sisteminde, Off-line kalite kontrol içinde yer almaktadır.”

### **3.5. Taguchi Metodu ile Gerçekleştirilen Çalışmalardan Örnekler**

1. M. Pınar ve A. Güllü, (2010); CNC takım tezgâhların denetiminde kullanılan FM 357 fonksiyon modülü ile kontrol edilen hidrolik sistemin pozisyonlama doğruluğunu incelemişlerdir. Sistem oransal yön denetim valflerinin yönlendirdiği iki adet silindirin sürdüğü iki eksenden oluşmaktadır. İlerleme oranı, hareket mesafesi, yön ve atalet yükü parametrelerinin pozisyonlama doğruluğu üzerindeki etkileri ve bunlara ait optimum seviyelerin tespiti Taguchi metodu ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre minimum pozisyonlama hatası 10 mm/dk'lık ilerleme oranında, 5 mm'lik hareket mesafesinde, “-” yönde ve 5 kg'lık atalet yükünde elde edilmiştir. Son olarak, yapılan doğrulama deneyleri, Taguchi metodunun, sistemin optimizasyonunu yeterli doğrulukta gerçekleştirdiğini göstermiştir [22].
2. Y. Kayır, S. Aslan ve A. Aytürk, (2013); yaptıkları çalışmada, AISI 316Ti paslanmaz çelik malzemesinin tornalanmasına yönelik bir Taguchi modeli oluşturmuşlardır. Klasik bir tornalama tezgahında deneyler yapılmıştır. Deneylerde, farklı uç geometrisine sahip ve TiCN-Al2O3-TiN kaplamalı karbür kesiciler kullanılmıştır. Kesici uç yarıçapı, kesici uç formunun ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Taguchi ve ANOVA analizleri yapılmıştır. Yüzey pürüzlülükleri için S/N ve etki grafikleri oluşturulmuştur. Sonuçlar, yüzey pürüzlülüğüne en etkili faktörlerin ilerleme (%73,97) ve kesici uç yarıçapı (%13,26) olduğunu göstermiştir. Deneylerde, uç yarıçapı küçük olan kesicilerin daha çok aşındığı görülmüştür [23].

3. G. Meral, M. Sarıkaya ve H. Dilipak, (2011); yapmış oldukları çalışmada, delik delme işlemlerinde kaplamalı ve kaplamasız matkapların, kesme parametrelerine bağlı olarak performansları araştırmış ve optimum işleme şartları tespit etmişlerdir. Deneyler Taguchi L9 orthogonal (dik) düzlemine göre yapılarak deney sonuçlarının değerlendirilmesinde sinyal/gürültü (S/N) oranı esas alınmıştır. Minitab 15 yazılımı yardımıyla Taguchi tekniği kullanılarak optimum kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini veren kontrol faktörleri belirlenmiştir. Kontrol faktörlerinin sonuçlara etkisi Varyans analizi (ANOVA) yardımıyla bulunmuştur. Son olarak doğrulama deneyleri yapılmış ve optimizasyonun başarıyla uygulandığı tespit edilmiştir [24].
4. Şanyılmaz, (2006), Kale Porselen Elektroteknik Sanayi A.Ş.'de üretilen NH bıçaklı sigorta butonlarında meydana gelen çatlama probleminin çözümü için Taguchi yöntemi kullanılmış ve. L8(27) 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 ve Faktör etkilerinin grafiksel gösterim metodu ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre buton gövdesinin basınca karşı mukavemetinin en büyükleyen faktör seviyeleri tespit edilmiş ve bu sonuçlar Tam Faktöriyel deney tasarımı ile de doğrulanmıştır. Bununla birlikte, Taguchi yöntemi ile aynı sonuçlara daha az sayıda deneyle ulaşılmış olması Taguchi yönteminin Tam Faktöriyel deney tasarımına göre daha avantajlı olduğu gösterilmiştir [25].
5. Kopaj ve Krajnik, enjeksiyon kalıpları için alüminyum alaşımlı dökme plakaların alın tornalama parametrelerini çok ölçütlü optimizasyon problemi olarak ele almış ve faktörlerin en iyi seviyeleri Taguchi yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre süreçte eş zamanlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri bileşkesi minimize edilmiş ve talaş kaldırma oranı arttırılmıştır [26].
6. N. Sakarya ve C. Göloğlu (2006), Plastik hacim kalıp imalatını konu deneysel çalışmada, cep yüzey işlemede farklı takım yolu hareketleri ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Son talaş kaldırma işlemi için takım yolu stratejileri olarak, tek yönlü, zigzag ve spiral takım yolları kullanılmıştır. Kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici yanal adımı değerleri

belirlenen dört farklı seviyede tanımlanmış ve Taguchi ortogonal dizi ile deney tasarımları gerçekleştirilmiştir. Deneyler, hacim kalıp çeliği olarak yaygın kullanılan IMPAX EN/DIN 1.2738 çeliği üzerinde, düz uçlu HSSE parmak frezeler ile yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen ortalama pürüzlülük değerleri ile ANOVA tabloları oluşturulmuş, her bir takım yolu için ilgili parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri belirlenmiştir. İlgili koşullar altında cep işleme için en ideal takım yolunun spiral takım yolu olduğu tespit edilmiştir. [27].

7. Gencel (2007), Kalite ile ilgili problemlere neden olan değişkenlik kaynakları belirlenerek, kalite karakteristiklerinin en iyilenmesine olanak veren; gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin endüstriyel problemlerinde sık ve etkin olarak kullanılan Taguchi yöntemlerini çok yanıtlı problemlerin eniyilemesinde kullanarak, endüstriyel bir uygulama bazında da yaptığı iyileştirmeleri ve etkinliği ortaya konulmuştur [28].
8. V. Erdem, M. Belevi ve C. Koçhan'ın (2010) yaptıkları çalışmanın amacı plastik parçaların üretiminde etkili olan; farklı ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri ve yolluk tasarımı parametreleri ile üründe oluşan çarpılmanın en aza indirilmesidir. Kontrol parametreleri olarak ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri, yolluk tasarımı kullanılmış ve deney kalıbı tasarlanıp imal edilmiştir. Kalıp imalatı sonrasında çarpılma değerlerinin elde edilmesi için üretilen kalıp kullanılarak plastik enjeksiyon yöntemiyle üretim yapılmıştır. Plastik malzeme olarak polipropilen (PP) Petoplen MH220 kullanılmıştır. Kalıp tasarımı aşamasında ve çarpılma değerlerinin kullanılmasında üç seviyeli deney tasarımına dayanan Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi'nin ortogonal dizini, Sinyal/Gürültü (S/G) oranı ve varyans analizi çarpılmayı etkileyen kontrol parametrelerinin optimum seviyelerini bulmak için kullanılmıştır. Kontrol parametrelerinin optimum seviyeleri ile yapılan doğrulama testi sonuçları plastik enjeksiyon kalıplama işleminde çarpılmaların azaltılmasında Taguchi Metodunun uygun bir metot olduğunu göstermiştir [29].



9. Ghani, Choudhury ve Hassan, son frezeleme parametrelerinin en iyilenmesinde Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Çalışmada frezeleme parametreleri olarak kesme hızı, besleme oranı, kesme derinliğini ve kesme derinliği ile besleme oranı arasındaki etkileşim olarak 4 farklı parametre ve bu parametreler için 3 farklı seviye kullanılmıştır. Deney tasarımı için L27 ortogonal dizisi seçilmiştir. Çalışma sonucunda en iyi bileşen; yüksek kesme hızı, düşük besleme hızı ve kısa kesme derinliği olarak belirlenmiştir [30].
10. Yang ve Tarng"ın gerçekleştirdiği bir çalışmada, S45C çelik barların tornalanma sürecinde kesici takım parametrelerinin en iyi seviyelerinin belirlenmesi için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Her biri üç seviyeli üç temel faktörün tornalama işlemi üzerindeki etkilerini görmek için L9(3<sup>4</sup>) ortogonal dizi uygulanmıştır [31].



## 4. TAGUCHI METODUNUN HONLAMA PROSESİ SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERİNİ OPTİMİZE ETMEK AMACI İLE UYGULANMASI

### 4.1. Deneysel Detaylar

#### 4.1.1. Malzeme

Yapılan deneysel çalışmada, kimyasal kompozisyonu St52-3 malzeme kalitesinde çelik borular kullanılmıştır (Çizelge 4.1., Resim 4.1.). Bu borular tedarikçiden, boy kesimi dışında hiçbir talaşlı imalat operasyonuna tabi tutulmadan ham haliyle temin edilmiştir.

Çizelge 4.1. St52-3 Çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu

St52-3	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (max) (%)	S (max) (%)	N (%)
	0,15-0,20	1,20-1,50	0,20-0,40	0,040	0,035	0,009



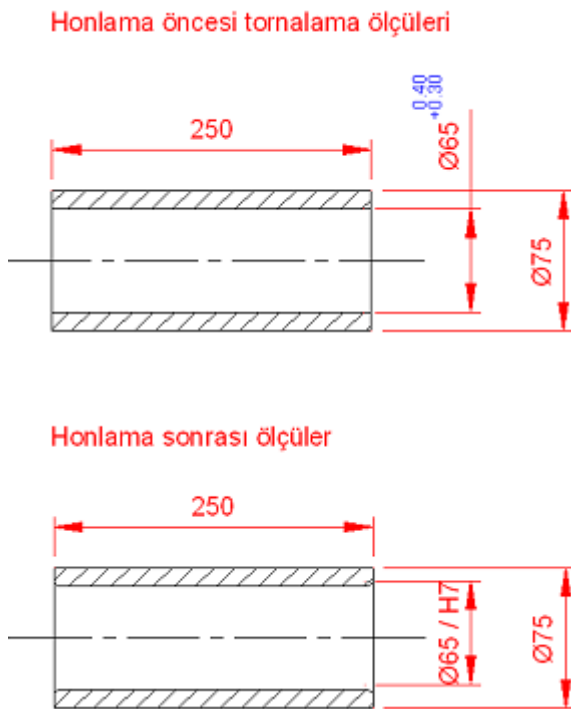
Resim 4.1. Tornalanmış deney numuneleri

#### 4.1.2. Honlamaya ön hazırlık

Temin edilen çelik boru, öncelikle dış yüzeyinden torna edilir. İç çap parametresi ve et kalınlığı parametreleri de göz önüne alınarak dış yüzeyden kaldırılacak talaş miktarı tespit edilir. Dış yüzey tornalama operasyonundan sonra elde edilmesi istenilen iç çap boyutuna göre torna delik kateri kullanılarak boru iç çapı torna edilir.

Burada dikkat edilmesi gereken husus şudur; Honlama ile kaldırılacak talaş miktarını minimize etmek, dolayısıyla da honlama operasyonu süresini azaltmak amacı ile boru iç çapı tornalama operasyonunda, honlama sonrası elde edilmek istenilen boru iç çapı değerinden 0,30 ~ 0,40 mm fazla talaş bırakılır.

Örneğin; Taguchi Metodu ile yapılacak olana deney senaryolarında işlenecek olan boru iç çapı honlama sonrasında 65 mm olması bekleniyorsa, bu durumda honlama öncesi tornalama işleminde  $65+0,30 \sim 0,40$  mm değerine uygun bir tornalama operasyonu uygulanır (Resim 4.2.). Böylece honlama süresinin en aza indirgenmesi sağlanacağı gibi honlama taşı aşınmasının da azaltılması sağlanır.



Resim 4.2. Honlamaya ön hazırlık/Honlama sonrası ölçü değerleri

### 4.1.3. Honlama prosedürü

1. Boru iç çapına uygun honlama kafası seçilir. Seçilen honlama kafası üzerine, uygulanacak işleme uygun honlama taşları yapıştırılır (Resim 4.3.).



Resim 4.3. Tezgaha bağlanmış honlama kafası

2. Honlama tezgâhı çalıştırılır. Çalıştırmadan önce tezgâh üzerinde iş parçası olmamasına, elektrik kaçağı olmamasına, elektrik bağlantılarının tam olmasına ve magnetik filtreleme sisteminin çalışır durumda olmasına dikkat edilir.
3. Honlanacak boru, vinç yardımıyla (büyük borular için) kaldırılarak, dikkatli ve zarar görmeyecek bir şekilde, iş güvenliği kurallarını da riayet edilerek tezgâh üzerindeki bağlama aparatlarına bağlanır/sıkıştırılır (Resim 4.4.).

“Bu işlem esnasında eksen kaçıklığı olmaması için, gerek duyulursa yataklar kullanılarak boru beslenmelidir. Çünkü honlama kafası ile honlanacak boru arasında ki eksen kaçıklığı yüzey kalitesini, silindirikliği ve daireselliği olumsuz etkiler.”



Resim 4.4. Honlama tezgahı ve iş bağlama

4. Honlanacak borunun içindeki talaş miktarı komparatör vasıtasıyla ölçülerek honlama operasyonu ile kaldırılacak talaş miktarı tespit edilir ve boru malzemesi de dikkate alınarak paso miktarı belirlenir.

5. Tezgâha sabitlenmiş durumda bulunan honlanacak borunun içine honlama yağı akıtılır ve honlama işlemine başlanır. (Resim 4.5., Resim 4.6.).



Resim 4.5. Honlama ön hazırlık



Resim 4.6. Honlama prosesi ve honlama yağı

6. Honlama prosesi esnasında elde edilmek istenilen boru iç çapına ulaşıp ulaşılmadığını görmek ya da kaldırılacak ne kadar talaş kaldığını görmek amacı ile zaman zaman tezgah durdurulup honlama kafası boru içinden çıkarılarak komparatör vasıtasıyla boru iç çapı ölçülür.

#### 4.1.4. Honlama tezgahı teknik spesifikasyonlar

Taguchi Metodu ile oluşturan deney kombinasyonları, 2014 model, üretim yeri Türkiye olan, Özhonsan Markalı ÖHM 2500 Model Dikey Honlama Tezgâhında gerçekleştirilmiştir (Resim 4.7., Çizelge 4.2.).



Resim 4.7. ÖHM 2500 Dikey honlama tezgâhı

Çizelge 4.2. ÖHM 2500 honlama tezgahı teknik datalar

ÖZELLİK	DEĞER	BİRİM
Honlama Stroku	2500	mm
Minimum Honlama Çapı	65	mm
Maximum Honlama Çapı	260	mm
Honlama Mil Devirleri	Digital Kademesiz	rpm
Strok İlerleme Hızı	Hidrolik Kademesiz	mm/dak.
Tabla Boyutu	700x800	mm
Mil Tabla Arası Min.	0	mm
Mil Tabla Arası Max.	2750	mm
Devir Motor Gücü	5,5	hp
Hidrolik Motoru	10	hp
Soğutma Ünitesi	0,25	hp
Paso Verme Motor Gücü	1,5	hp
Makina Ağırlığı	5300	kg
Honlama Kafaları	65x260	mm
Honlama Şaft Mili	2	adet
Soğutma Sistemleri	1	adet
Hidrolik Sistem	1	adet
Hidrolik Hız Ayar Ünitesi	1	adet

ÖHM 2500 honlama tezgâhı, hidrolik boruların imalatı ve tamir-bakımında kullanılmak üzere imal edilmiştir. Dikey honlama tezgahı, dikey duruşu nedeniyle, montaj esnasında zemini kazılması gerekliliği olan bir tezgahtır. Bu durum, ağır hidrolik silindir boruları ve iş makinaları hidrolik silindirlerinin borularının honlanmasında kullanımını kısıtlamaktadır. Bundan dolayı bu tür borularda yatay honlama tezgâhı tercih edilmektedir. Şanzıman, lineer kızaklar üzerinde hareket etmektedir. Hidrolik ünitesi makinadan ayrı olarak üretilmiştir. İş sıkma ve paso verme sistemi otomatik olarak dizayn edilmiştir.



#### 4.1.5. Honlama taşı

Uygulamada, tane büyüklüğüne göre üç adet taş türü kullanılmaktadır. Bu taşlara piyasada 150 kum taş, 100 kum taş ve 80 kum taş denilmektedir. 150 kum taşın tane büyüklüğü 150 micron, 100 kum taşın tane büyüklüğü 100 micron, 80 kum taşın tane büyüklüğü 80 microndur (Çizelge 4.3., Çizelge 4.4., Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.3. Mesh 80 honlama taşı

ÖZELLİK	Mesh 80
Taş Malzemesi	Silisyum Karbür (SiC)
Kum Büyüklüğü	80: ( Mesh ) 190: ( DIN ISO 6344 ) 190: ( ISO ) 190: ( JIS )
Sertlik	≤ 200 HRc
Bağlayıcı Türü	Seramik Bağlayıcı

Çizelge 4.4. Mesh 100 honlama taşı

ÖZELLİK	Mesh 100
Taş Malzemesi	Silisyum Karbür (SiC)
Kum Büyüklüğü	100: ( Mesh ) 140: ( DIN ISO 6344 ) 140: ( ISO ) 165: ( JIS )
Sertlik	≤ 200 HRc
Bağlayıcı Türü	Seramik Bağlayıcı

Çizelge 4.5. Mesh 150 honlama taşı

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

#### 4.1.6. Soğutucu sıvı

Bu tezde yapılacak olan deneylerde YARMIX HD Honlama Yağı kullanılacaktır. Demir ve demir alaşımlı malzemelerin hafif taşlama ve honlama operasyonlarında pür olarak kullanılan, rafine edilmiş yüksek kalite mineral yağlar ile özel katkıları kullanılarak hazırlanmış honlama yağıdır (Çizelge 4.6.).

Çizelge 4.6. YARMIX HD honlama yağı teknik spesifikasyonları

TEKNİK ÖZELLİKLER	DEĞER
Görünüm	Açık-Koyu Kahverengi
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,885
Kinematik Viskozite ( 40 °C, cSt )	36
Parlama Noktası ( °C )	< 220
Akma Noktası ( °C )	-12

#### 4.1.7. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Honlama prosesi sonucunda elde edilen işlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde, Taylor Hobson Surtronic 3 marka yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır (Resim 4.8., Çizelge 4.7.).



Resim 4.8. Taylor Hobson Surtronic 3 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Ölçümler boru eksenine paralel olacak şekilde ve yüzey üzerinde farklı noktalarda yapılacaktır.

Çizelge 4.7. Taylor Hobson Surtronic 3 teknik spesifikasyonlar

TEKNİK DATALAR	
Gauge Range	±150µm
Traverse Length (Max)	25.4mm
Pick up type	Variable reluctance
Stylus	112/1502: Diamond tip radius 5µm 112/1503: Diamond tip radius 10µm
Cut Off Values	0.25, 0.8, 2.5, 8mm (8mm Cut off only available when using Talyprofile or Macro-Maker Software)
Parameters	Ra, Rq, Rz (DIN), Ry, Sm, Rt
Overall Dimensions	130 x 80 x 65mm
Data Processing Module	185 x 140 x 50mm
Weight	450g
Resolution	0.01µm
Traverse Length (min)	0.25mm
Traverse Speed	1mm/sec
Accuracy of Parameters	2% of reading + LSD µm
Power	Battery or Mains (optional)

## 4.2. Taguchi Metodu-Uygulama

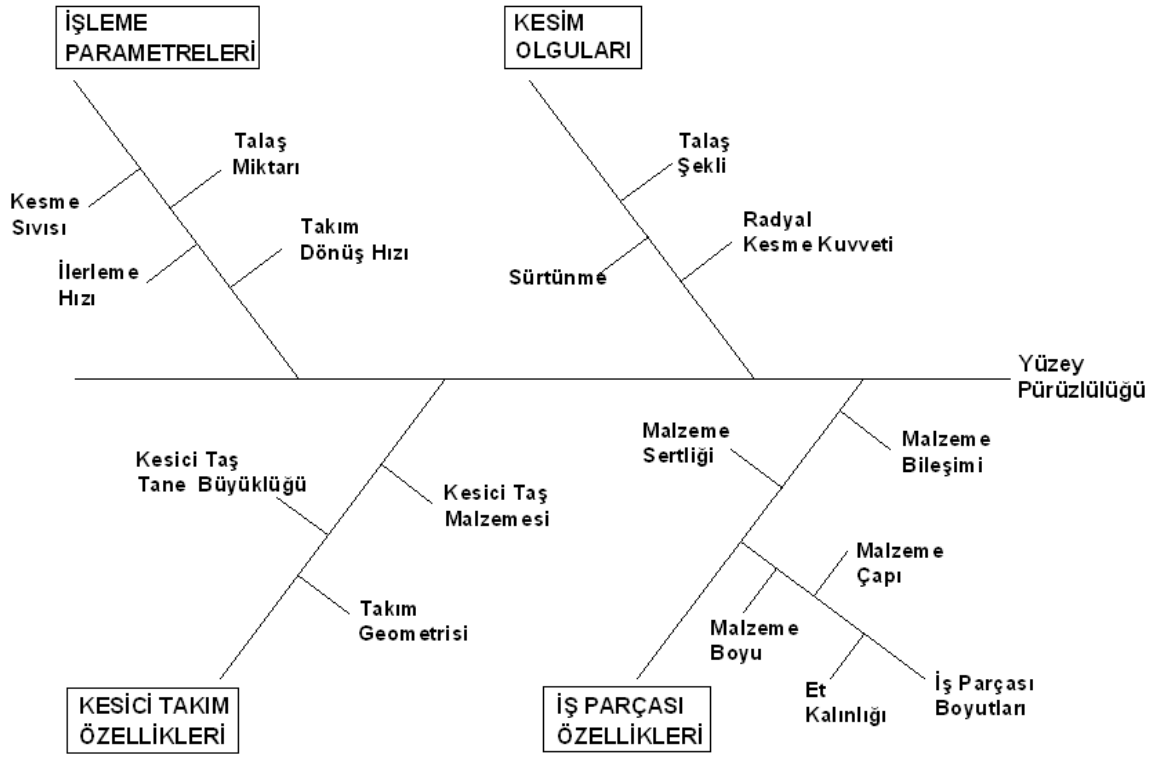
1. Honlama Prosesi için Taguchi Metodu ile optimizasyonu yapılacak olan kalite karakteristiği belirlenmesi.

Honlama operasyonlarında temel amaç yüzey kalitesini iyileştirmektir. Bu sebepten dolayı Taguchi Metodu ile optimize etmek amacı ile Honlama Prosesinde “Boru iç yüzey pürüzlülüğü” kalite karakteristiği incelenecektir.

İşletmede, honlama prosesi ile işlenen borular genellikle hidrolik silindir imalatında kovan ve beton pompalarında sevk silindiri olarak kullanılmaktadır (EK-9, EK-10). Önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi hem hidrolik silindirlerde hem de beton pompalarında, borunun honlanan iç yüzeyi ile çalışan aşınma/sıvanma ihtimali yüksek olan parçalar vardır. Bu aşınmayı/sıvanmayı optimize etmek, sistemdeki verim kayıplarını ve tamir bakım maliyetlerini de minimize etmekte önemli bir rol oynayacaktır. *Bundan dolayı bu tez de, Taguchi Metodu ile optimize etmek amacı ile Honlama prosesinde boru iç yüzey pürüzlülük faktörünün incelenmesi kararlaştırılmıştır.*

2. Honlama Prosesinde, yüzey kalitesi kalite karakteristiğini etkileyen faktörlerin belirlenmesi

2006 yılından bu yana ağır sanayi, iş makinaları sanayi ve temel endüstriyel sanayi alanlarında hidrolik silindirler, honlanmış borular ve beton pompası sevk silindirleri için üretim ve servis hizmeti vermekte olan ve bu tez çalışması için yapılacak olan deneylerin de (tornalama ve honlama prosesleri) gerçekleştirileceği firmada, Honlama Prosesi kalitesini arttırabilmek amacı ile çeşitli analiz ve uygulamalar yapılmakta ve aynı zamanda honlama taşı ve honlama yağı tedarikçilerinden de teknik destek alınmaktadır. Bu analiz ve uygulamalar sonrasında Honlama Prosesi Yüzey Kalitesi en çok önem arz eden faktör olarak ortaya çıkmıştır. Ve firmada gerçekleştirilen Beyin Fırtınası, Neden-Sonuç Diagramı çalışmaları ve Süreç Akış Şemaları gibi yöntemlerle Yüzey Kalitesi kalite karakteristiğine etkileyen faktörler ya da bu kalite karakteristiği ile etkileşimi olan faktörler tespit edilmiştir (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Honlama prosesinde yüzey kalitesine etki eden faktörler

Kontrol edilebilir faktörler şunlardır;

1. İlerleme hızı
2. Takım dönüş hızı
3. Honlama taşı tane büyüklüğü
4. Radyal baskı kuvveti
5. Talaş miktarı
6. Kesme sıvısı türü
7. Boru et kalınlığı
8. Honlama taşı malzemesi
9. İşlenecek malzeme çapı
10. İşlenecek malzeme boyu
11. Takım geometrisi

Kontrol edilemeyen faktörler şunlardır;

1. Takım aşınması
2. Talaş oluşumu
3. Talaş yükleri
4. Kesme sıvısı ısınması

İşletmede gerçekleştiren;

1. Ar-Ge faaliyetlerinin
2. Kalite uygulamalarının
3. Analizlerin
4. Sebep-sonuç diyagramlarının
5. Müşteri geri bildirimlerinin
6. Operatör deneyimlerinin

analiz edilip incelenmesi sonucunda;

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden, “ilerleme hızı, takım dönüş hızı ve honlama taşı tane büyüklüğü faktörleri”, Taguchi Metodu ile deney tasarımında incelenecek faktörler olarak tespit edilmiştir. Kontrol edilebilir diğer faktörler sabit olarak kabul edilmiş olup deney tasarımı ve sonrasında deneyler bu koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Bu şartlar altında deneylerde kullanılacak parametreler şöyledir; (Çizelge 4.8)

Çizelge 4.8. Deneylerde kullanılacak spesifik özellikler

FAKTÖRLER	DEĞER
<i>İlerleme hızı (kurs/dak.)</i>	<i>Alt seviye: 5 Orta seviye: 10 Üst seviye: 15</i>
<i>Takım dönüş hızı (rpm)</i>	<i>Alt seviye: 70 Orta seviye: 75 Üst seviye: 80</i>
<i>Honlama taşı tane büyüklüğü (Mesh)</i>	<i>Alt seviye: 80 Orta seviye: 100 Üst seviye: 150</i>
Radyal baskı kuvveti (bar)	10
Kaldırılacak talaş miktarı (Honlama prosesinden önce boru iç çapında bırakılan honlama payı)	Boru iç çapı + (0.30~0,40 mm)
Kesme sıvısı türü	YARMIX HD
Boru et kalınlığı (mm)	5
Honlama taşı malzemesi	Silisyum Karbür
İşlenecek malzeme boyu (mm)	250
İşlenecek malzeme çapı (mm)	65 mm (Boru= $\Phi$ 65x75)
Takım geometrisi	Honlama takımı eksenini ile boru eksenini eş eksenli duruma getirilecek, gerek görülürse malzeme (boru), yatakla desteklenecek. Ancak malzeme boyu kısa seçildiği için yataklamaya gerek yok.

3. İncelenecek her bir faktör için seviyelerin tespit edilmesi.

Deney tasarımında; aşağıda da belirtilmiş olan 3 faktörün 3 farklı değerde ki seviyelerinin incelenmesi uygun görülmüştür. Bu seviyeler tespit edilirken uygulamada en çok kullanılan değerler baz alınmıştır. Sonuç olarak bu tezde, 3 faktörlü 3 seviyeli Taguchi Deney Tasarımı kullanılması ve bu tasarıma uygun deney kombinasyonlarının gerçekleştirilmesi kararlaştırılmıştır.

Kullanılması kararlaştırılan faktörler aşağıdaki gibi seçilmiştir;

1. İlerleme hızı
2. Takım dönüş hızı
3. Honlama taşı tane büyüklüğü

Aşağıda, deneyde kullanılacak faktörler, her bir faktöre ait seviye değerleri gösterilmiştir (Çizelge 4.9.).

Çizelge 4.9. Deneyde kullanılacak faktörler, seviyeleri ve seviye değerleri

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

4. Faktör ve seviyelere uygun Taguchi ortogonal matrisinin seçilmesi.

3 faktör ve 3 seviyeden oluşan deney tasarımına uygun matris yapısı, aşağıda verilmiş olan Taguchi Ortogonal Dizi Seçim Çizelgesi'nden seçilir (Çizelge 4.10.). "Taguchi Ortogonal Dizi Seçim Çizelgesi'ne göre 3 faktör / 3 seviye için en uygun Taguchi Deney tasarımı, 9 deneyli Taguchi L9 ortogonal dizisidir." *Taguchi*



orthogonal dizi seçim çizelgesi kullanılmadan doğrudan MINITAB paket programı vasıtasıyla da L9 orthogonal dizisini belirlemek mümkündür.

Çizelge 4.10. Taguchi orthogonal dizi seçim çizelgesi [20]

2		3		4		5					
P=2	S=2	L4	P=2	S=3	L9	P=2	S=4	L16	P=2	S=5	L25
P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=4		P=3	S=5	
P=4	S=2	L8	P=4	S=3	L18	P=4	S=4	L32	P=4	S=5	L50
P=5	S=2		P=5	S=3		P=5	S=4		P=5	S=5	
P=6	S=2		P=6	S=3		P=6	S=4		P=6	S=5	
P=7	S=2	L11	P=7	S=3	L27	P=7	S=4	L32	P=7	S=5	L50
P=8	S=2		P=8	S=3		P=8	S=4		P=8	S=5	
P=9	S=2	L11	P=9	S=3	L27	P=9	S=4	L32	P=9	S=5	L50
P=10	S=2		P=10	S=3		P=10	S=4		P=10	S=5	
P=11	S=2	L16	P=11	S=3	L36				P=11	S=5	L50
P=12	S=2		P=12	S=3					P=12	S=5	
P=13	S=2		P=13	S=3					P=13	S=5	
P=14	S=2	L16	P=14	S=3	L36				P=14	S=5	L50
P=15	S=2		P=15	S=3					P=15	S=5	
P=16	S=2	L32	P=16	S=3	L36				P=16	S=5	L50
P=17	S=2		P=17	S=3					P=17	S=5	
P=18	S=2		P=18	S=3					P=18	S=5	
P=19	S=2		P=19	S=3					P=19	S=5	
P=20	S=2		P=20	S=3					P=20	S=5	
P=21	S=2		P=21	S=3					P=21	S=5	
P=22	S=2		P=22	S=3					P=22	S=5	
P=23	S=2	P=23	S=3	P=23	S=5						
P=24	S=2	L32							P=24	S=5	L50
P=25	S=2								P=25	S=5	
P=26	S=2								P=26	S=5	
P=27	S=2								P=27	S=5	
P=28	S=2								P=28	S=5	
P=29	S=2								P=29	S=5	
P=30	S=2								P=30	S=5	
P=31	S=2								P=31	S=5	

**P: Faktör sayısı**  
**S: Seviye sayısı**  
**L: Ortogonal dizi**

Burada MINITAB 17 programı kullanımının sağlayacağı avantajlar; deney sonuçlarının ya da S/N oranlarının bu programa girilebilmesi ve tüm bu değerlerin program aracılığı ile istatistiki diyagramlara dönüştürülebilmesi ile beraber Anova Analizi adı verilen ve faktörlerin her birinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin oranının tespitini sağlayan sonuçların da doğrudan çıkarabilmesidir.

5. Faktörlerin ve seviyelerin seçilen ortogonal matrisin sütunlarına aktarılması.

Taguchi ortogonal dizi seçim çizelgesi'nden seçilmiş olan L9 deney tasarımı modeli, ortogonal matrise aktarılır (Çizelge 4.11.).

Çizelge 4.11. Taguchi L9 modeli

Deney No	İlerleme hızı (A)	Takım dönüş hızı (B)	Honlama taşı tane büyüklüğü (C)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Taguchi L9 modelinin değişkenlere göre yerleşimi aşağıda gösterilmektedir (Çizelge 4.12.). Deneyler, bu değişken kombinasyonlarında gerçekleştirilecektir.

Çizelge 4.12. Taguchi L9 modeli değişkenlerin gösterimi

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

## 6. DeneYlerin yapılması.

Deney metodolojisi aşağıda anlatıldığı gibidir.

Tablo 4.11.'de verilen değişken kombinasyonlarına göre "9 adet deney 3'er kere", deney düzeneğine ve şartlarına uygun bir biçimde yapılır (Resim 4.9., Resim 4.10., Resim 4.11., Resim 4.12.). "Aynı deney kombinasyonlarının uygulanmasında her aynı deney kombinasyonu arasında minimum 2 saat olmalıdır ve aynı kombinasyona sahip deneylerde ki tüm koşullar da aynı olmalıdır."



Resim 4.9. Honlama deney düzeneği



Resim 4.10. Honlanacak deney numuneleri



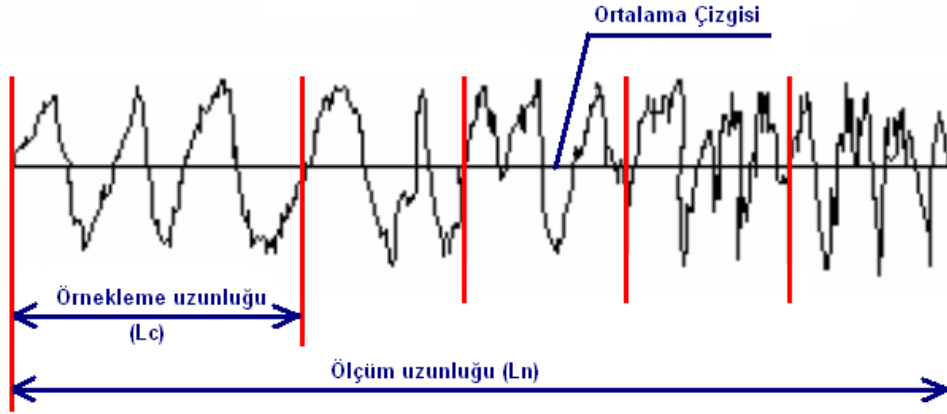
Resim 4.11. Honlama deney düzeneği



Resim 4.12. Honlama deney düzeneği

### Yüzey pürüzlülüğü ölçüm tekniği

Bir yüzey profilinin pürüzlülük hesapları yapılırken, yüzeyin üstünde ve altında kalan alanları eşit şekilde kesen ve ortalama çizgisi olarak adlandırılan referans çizgisinden yararlanır (Şekil 4.2). Bu çizgi matematiksel olarak yüzey profilinin ağırlık merkezi şeklinde de ifade edilebilir ( $L_c$ ).



Şekil 4.2. Ölçüm ve örnekleme uzunluğu

Örnekleme uzunluğu yüzeyin pürüzlülük karakteristiğini bulmada öncelikli olarak seçilen parametredir.  $n$  adet örnekleme uzunluğunun bir araya gelmesi ile  $L_n$  şeklinde ölçüm uzunluğu oluşmaktadır (Şekil 4.2.).

“Deney numunelerinin yüzey pürüzlülük ölçümü doğrusal yapılacaktır. Çünkü teze konu olan tüm silindirlerin içinde pistonun doğrusal hareketi söz konusudur. Bu sebepten dolayı doğrusal yüzey pürüzlülük değerini ölçülmesi kararlaştırılmıştır.” Numunelerin  $R_a$  pürüzlülük değerinin ölçümü yapılacak ve Taguchi sistematığı bu değerler baz alınarak kurulacaktır.

Ölçüm yapmadan önce, yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının kalibrasyonu, cihazla beraber bulunan test parçası ile yapılacaktır (Resim 4.13.).



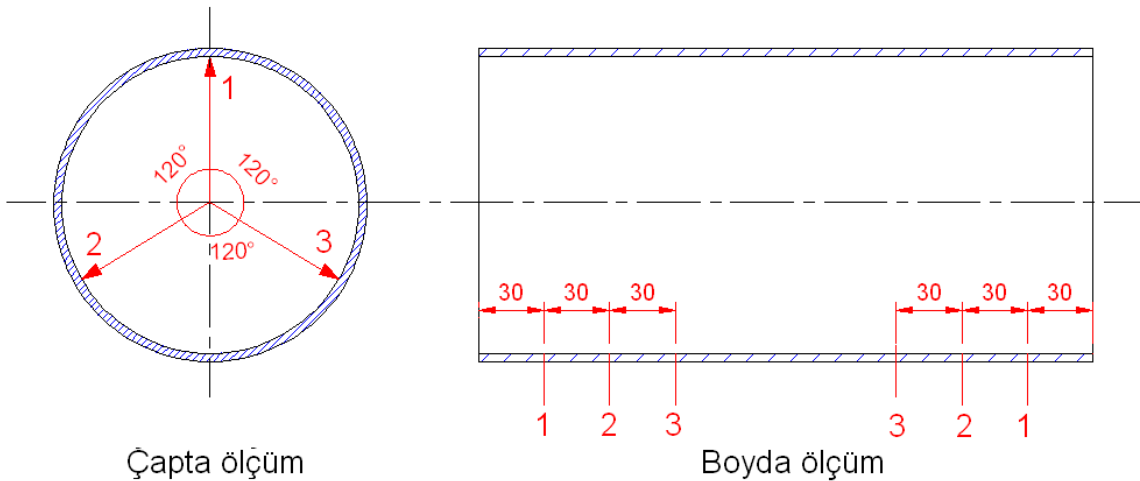
Resim 4.13. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kalibrasyonu

“Örnekleme uzunluğu  $L_c=0,80$  mm olarak alınacaktır.”

### Ölçüm metodu

Hem tornalama sonrası hem de honlama sonrası pürüzlülük ölçümünde, deney numunesi olan boruların her iki ucunun başlangıcından 30 mm uzaklıkta başlanarak ve  $L_c$ : 0,80 mm örnekleme uzunluğunda, 30 mm aralıklarla 3 adet ölçüm alınacaktır.

İlk üç ölçüm yapıldıktan sonra bunların aritmetik ortalaması alınıp kaydedilecek ve boru 120 derece döndürülüp borunun aynı tarafından aynı koşullarda 3 ölçüm daha yapılacak. Bu ölçüm de tamamlandıktan sonra boru yine 120 derece çevrilip aynı ölçüm işlemi yeniden yapılacak (Resim 4.14.). Böylece borunun bir tarafından toplam 9 değer ölçülmüş olacak. Her 3'lü ölçümün aritmetik ortalaması alınıp çıkan değer kaydedilecektir. Aynı işlemler borunun diğer tarafında da yapılacaktır ve böylece her borudan toplamda 18 ölçüm alınmış olacaktır. Bu ölçümler, aritmetik ortalama alma işlemleri sonrasında 6 ölçüme indirgenmiş şekilde kaydedilmiş olacaktır.



Resim 4.14. Pürüzlülük ölçüm noktaları

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

4.1

$R_a$  değerleri deneyde kullanılacak Taylor Hubson 3+ yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır.

## 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 5.1. Deneylerden Elde Edilen Verilerin Analizi Ve Optimal Seviyelerin Belirlenmesi

Deney numuneleri, tornalama prosesi sonrasında honlanacaktır. Tornalama sonrası ve honlama sonrası yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılabilmesi için her iki proses sonrası yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir (Çizelge 5.1., Çizelge 5.2. Çizelge 5.3.).

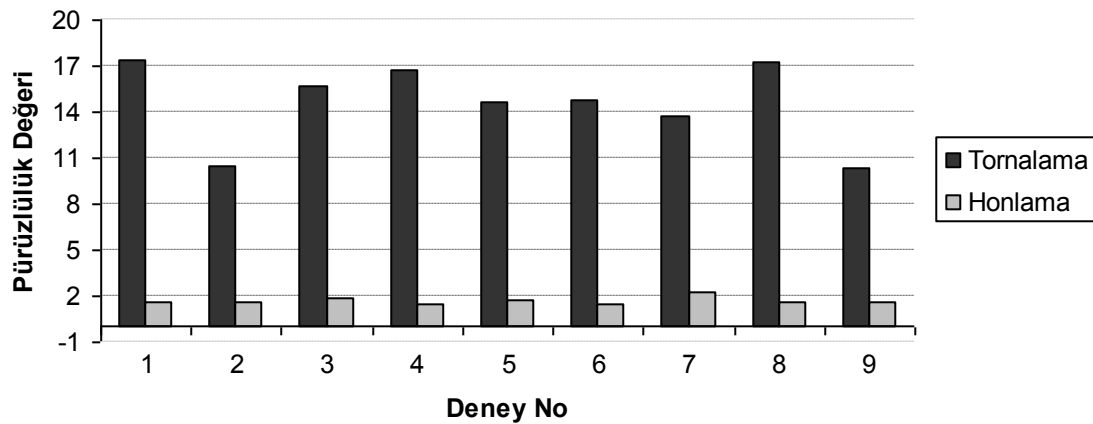
Çizelge 5.1., Çizelge 5.2. Çizelge 5.3. doldurulurken; tornalanmış her bir numunenin yüzey pürüzlülük değeri ölçülecek ve tabloya işlenecektir. Ancak tornalamaya başlamadan önce, tornalama prosesi uygulanan hangi numunenin daha sonra ki aşamada honlama prosesi ve yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılacak hangi deney serisinin hangi Taguchi Deney Kombinasyonunda kullanıldığını takip ve tespit edebilmek için her bir deney numunesi markalanacaktır.

Bu markalama; 1.1., 1.2., vs. şeklinde yapılacaktır. Böylece örneğin, 1.1. markası vurulmuş numune 1. seri deneyin 1. deney kombinasyonu uygulanarak honlanmış olacaktır ve sonrasında yüzey pürüzlülük değeri tespit edilecektir. Böylece gerek görülmesi halinde tornalama-honlama yüzey pürüzlülük karşılaştırmasının her bir parça-deney bazında yapılabilmesi de sağlanabilecektir.

Birinci deney serisi için tormalama ve honlama sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları ve bunların karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.1., Şekil 5.1.)

Çizelge 5.1. Birinci deney serisi ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri

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



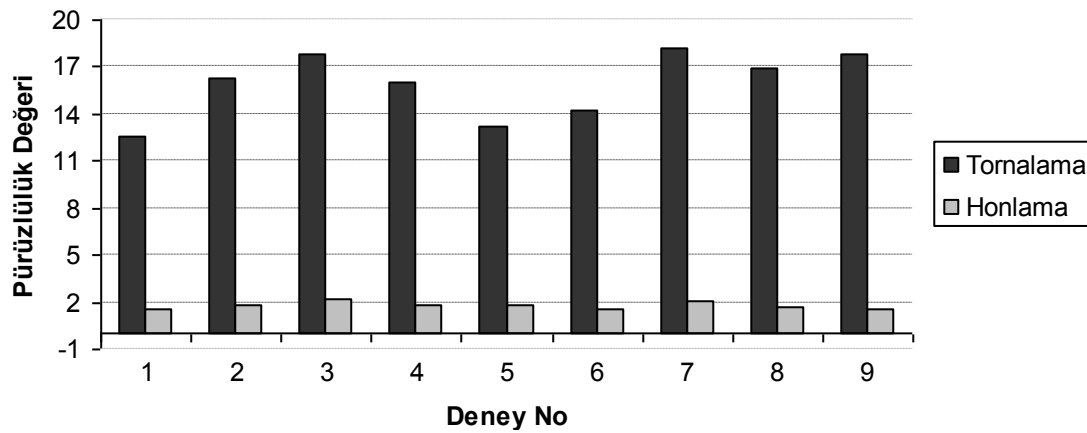
Şekil 5.1. Birinci deney serisi Tormalama/Honlama yüzey pürüzlülük karşılaştırma grafiği



İkinci deney serisi için tornalama ve honlama sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları ve bunların karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.2., Şekil 5.2.)

Çizelge 5.2. İkinci deney serisi ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri

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

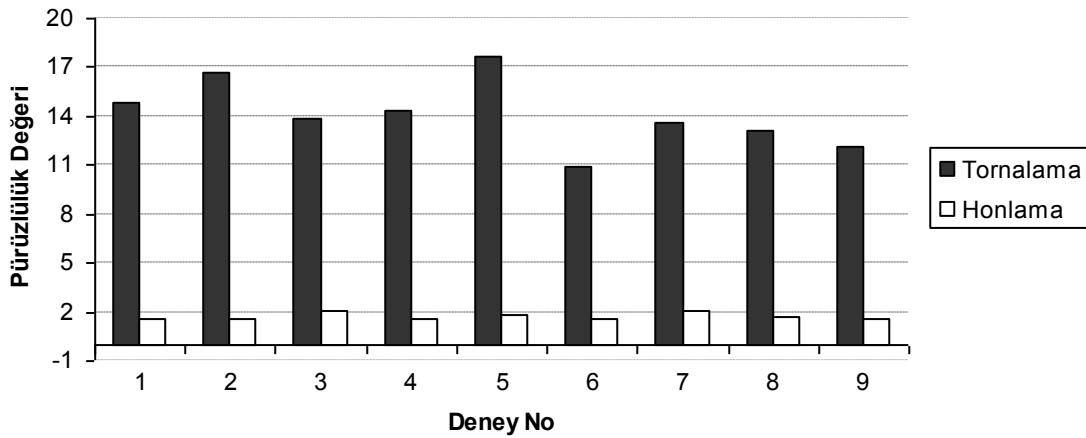


Şekil 5.2. İkinci deney serisi Tornalama/Honlama yüzey pürüzlülük karşılaştırma grafiği

Üçüncü deney serisi için tornalama ve honlama sonrası yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları ve bunların karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.3., Şekil 5.3.)

Çizelge 5.3. Üçüncü deney serisi ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri

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



Şekil 5.3. Üçüncü deney serisi Tornalama/Honlama yüzey pürüzlülük karşılaştırma grafiği

“Sonuç tabloları ve grafiklerden de çok net bir şekilde görülebileceği gibi; Honlama prosesi, tornalamaya oranla yüzey pürüzlülük değerini çok iyi seviyelere getirmektedir (Çizelge 5.1., Çizelge 5.2., Çizelge 5.3., Şekil 5.1., Şekil 5.2., Şekil 5.3.).”

Çizelge 5.4. Honlama sonrası yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları

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

Yüzey pürüzlülüğü değeri için “en düşük en iyi değeri” en uygun değer olacağı için, S/N oranı hesaplanırken bu değeri veren eşitliğin kullanılması uygun olacaktır (Eş. 3.1.).

## 5.2. Deney Sonuçlarının ve Optimal Seviyelerin Yorumlanması

### 5.2.1. Hesaplama yoluyla yorumlama

Çizelge 5.5. Parametre seviyelerinin S/N yanıt tablosu (boş örnek)

Değişkenler	İlerleme hızı (A)	Takım dönüş hızı (B)	Honlama taşı tane büyüklüğü (D)
1	X		
2			
3			

Çizelge 5.5.'in doldurulurken;

Örnek olarak X 'in olduğu kutucuk alınırsa; bu kutucuk A1 değerini ifade etmektedir. Yani, ilerleme hızı değerinin seviye 1 de ki durumunu göstermektedir.

İçinde A1 değeri geçen tüm deney kombinasyonlarına ait S/N oranları Çizelge 5.4.'ten alınır ve toplanır. Sonra bu toplam değeri, içinde A1 geçen kaç tane deney kombinasyonu var ise bu kadar sayıya bölünür. X değeri bu ortalama değerdir. Bu deney için; ilk 3 deneyde A1 bulunmaktadır. Bu A1 olan deneylerin S/N oranları toplanır ve 3'e bölünür. Bulunan değer X değeridir.

Çizelge 5.6. Parametre seviyelerinin S/N yanıt tablosu

Değişkenler	İlerleme hızı (A)	Takım dönüş hızı (B)	Honlama taşı tane büyüklüğü (C)
1	- 4,9176	- 4,9935	- 4,0836
2	- 4,4173	- 4,5518	- 4,2365
3	- 4,8695	- 4,6591	- 5,8843

Tablo 5.6.' te hesap edilen değerler tek tek incelenir. Hangi seviyede en büyük yanıt değerinin verildiği tespit edilir (Çizelge 5.7.).

Burada;

1. İlerleme hızı için en büyük yanıt değeri – 4,4173 değeri ile A2,
2. Takım dönüş hızı için en büyük yanıt değeri – 4,5518 değeri ile B2,
3. Honlama taş tane büyüklüğü için en büyük yanıt değeri – 4,0836 değeri ile C1,

olarak tespit edilmiştir (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7. Parametre seviyelerinin S/N yanıt tablosu seçimler

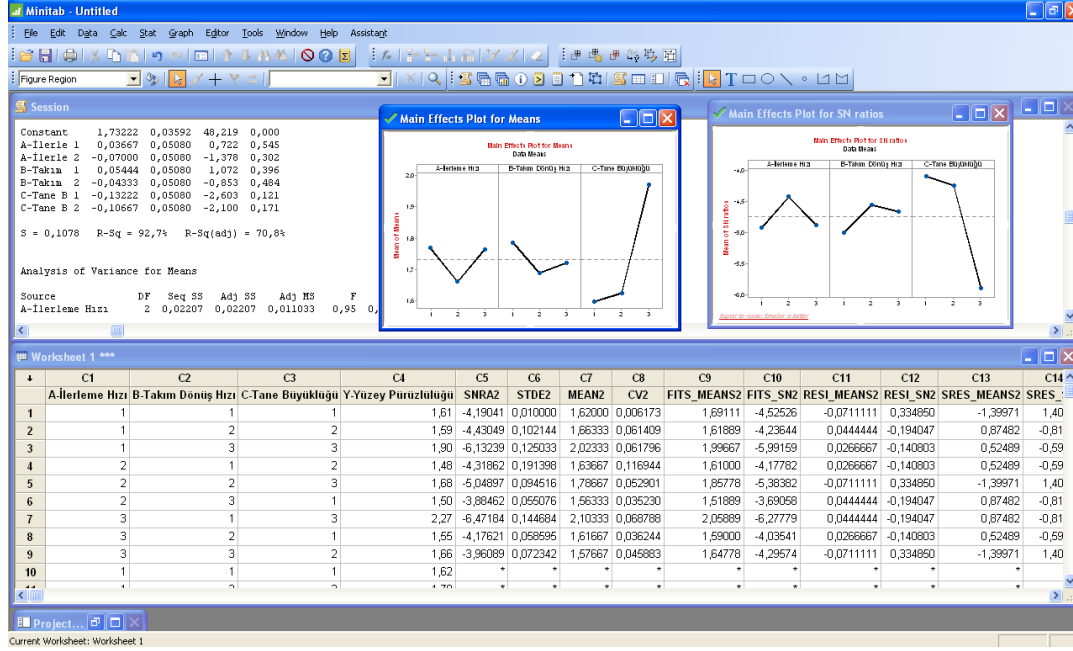
Değişkenler	İlerleme Hızı (A)	Takım dönüş hızı (B)	Honlama taşı tane büyüklüğü (C)
1	- 4,9176	- 4,9935	- 4,0836
2	- 4,4173	- 4,5518	- 4,2365
3	- 4,8695	- 4,6591	- 5,8843

Sonuç olarak;

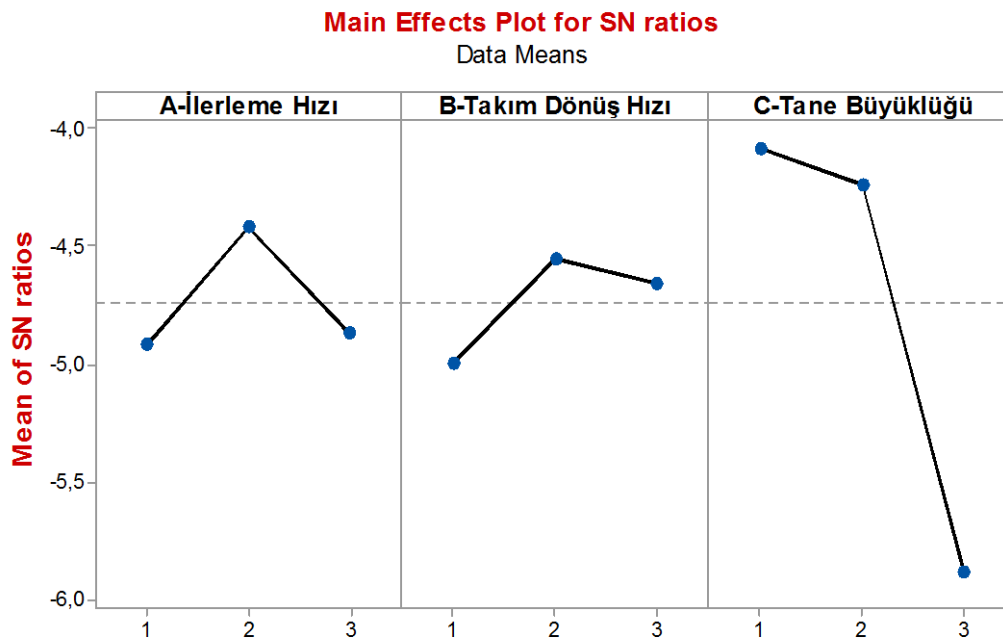
Bu sonuçlara göre optimum şartları sağlayan deney kombinasyonu “A2B2C1” kombinasyonudur. Aynı deney kombinasyonunun; deney sonuçlarının MINITAB paket programı ile yapılan analizlerin yorumlanması sonrasında da çıkması beklenir (EK-16, EK-17, EK-18).

## 5.2.2. MINITAB programı vasıtasıyla yorumlama

MINITAB ile analiz sonrası çalışma sayfası görüntüsü, program tarafından hesaplanan değerler Resim 5.1.'de görülmektedir (EK-18).



Resim 5.1. MINITAB çalışma sayfası görüntüsü



*Signal-to-noise: Smaller is better*

Şekil 5.4. Faktörlerin S/N oranı grafiği (Program çıktısı)

### MINITAB çıktıları ve grafiğin yorumlanması

MINITAB program çıktısında; “Response Table for Signal to Noise Ratios, Smaller is better” ifadesinin altında yer alan veri tablosu (Çizelge 5.8.) incelenirken, “en büyük” değer aranır. Çünkü burada hesaplanan ifadeler, parametrelerin S/N yanıt değerlerini vermektedir. Bu yanıt değeri en büyük olan sonuç, optimum değeri veren seviyedir.

Aynı şekilde en S/N değerinin en büyük yanıtı verdiği seçenek Şekil 5.4.’te de görülmektedir. Grafikte her bir parametre için işaretli her bir nokta farklı seviyeleri göstermektedir. Bu noktalardan grafiksel değeri en büyük olanı, optimum şartı gerçekleştiren seviyeyi vermektedir.

Bu durumlara dikkat edilerek;

Response Table for Signal to Noise Ratios, Smaller is better bölümü incelenecek olursa optimum değeri sağlayan seviyelerin;

Çizelge 5.8. MINITAB analiz çıktısı

Response Table for Signal to Noise Ratios Smaller is better			
	A-İlerleme	B-Takım	C-Tane
Level	Hız1	Dönüş Hızı	Büüklüğü
1	-4,918	-4,994	-4,084
2	-4,417	-4,552	-4,237
3	-4,870	-4,659	-5,884
Delta	0,500	0,442	1,801
Rank	2	3	1

A, İlerleme hızı için en büyük değer; -4,417 ile A2

B, Takım dönüş hızı için en büyük değer; -4,552 ile B2

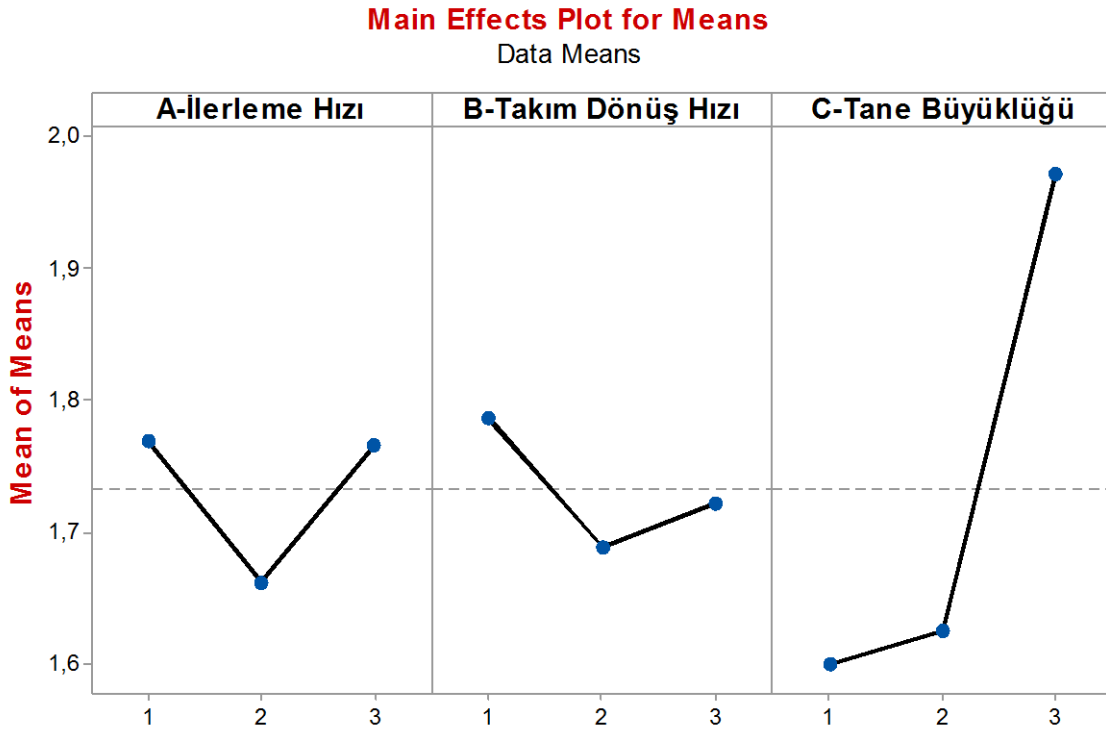
C, Honlama taşı tane büyüklüğü için en büyük değer; -4,084 ile C1

seviyeleri olduğu görülmektedir.

Aynı şekilde grafik incelenip en büyük değeri gösteren noktalar belirlendiğinde; “A2B2C1” seviyeleri yani deney kombinasyonu tespit edilmektedir (Şekil 5.4.).

Sonuç olarak;

“A2B2C1” deney kombinasyonunun, S/N oranına göre optimizasyonun sağlandığı deney kombinasyonu olduğu tespit edilmiş olur.



Şekil 5.5. Faktörlerin S/N yanıt grafiği (Program çıktısı)

MINITAB program çıktısında “Response Table for Means” ifadesinin altında yer alan veri tablosu incelenecek olursa; burada en küçük değer (smaller is beter) aranması gerekir. Çünkü buradaki sonuçlar, yüzey pürüzlülük değerlerine göre oluşturulmuş değerlerdir.

Yüzey pürüzlülük değerinin küçüklüğü yüzey kalitesinin iyiliği anlamına geldiğinden dolayı burada en düşük değer aranmaktadır. Aynı ayrı her bir parametre için en düşük değer, optimum şartı sağlayan seviyeyi ifade etmektedir.



Çizelge 5.9. MINITAB analiz çıktısı

Response Table for Means			
	A-İlerleme	B-Takım	C-Tane
Level	Hızı	Dönüş Hızı	Büyüklüğü
1	1,769	1,787	1,600
2	1,662	1,689	1,626
3	1,766	1,721	1,971
Delta	0,107	0,098	0,371
Rank	2	3	1

Bu bağlamda optimum seviyeler;

A, İlerleme hızı için en düşük değer; 1,662 ile A2

B, Takım dönüş hızı için en düşük değer; 1,689 ile B2

C, Honlama taşı tane büyüklüğü için en düşük değer; 1,600 ile C1

olarak tespit edilebilir.

Aynı şekilde grafik incelenip en büyük değeri gösteren noktalar belirlendiğinde; "A2B2C1" seviyeleri yani deney kombinasyonu tespit edilmektedir (Şekil 5.5.).

Sonuç olarak;

Belirlenen "A2B2C1" deney kombinasyonu, optimizasyonun sağlandığı deney kombinasyonudur.

"Hem hesaplama yöntemi kullanıldığında hem de MINITAB programı kullanılarak elde edilen veriler kullanıldığında ortaya çıkan sonuç aynıdır. Bu sonuca göre "A2B2C1" deney kombinasyonu, optimizasyonun sağlandığı deney kombinasyonu olarak belirlenmiştir."

### 5.3. Anova Analizi (Varyans Analizi)

MINITAB paket programına deney sonuçlarının girilip Taguchi analizi yapılmasının ardından hesaplanan program çıktıları içerisinde “Analysis of Variance for Means” başlıklı bölümde veriler incelenerek Anova Analizi sonuçları çıkarılabilir.

Burada her bir faktör için “P” değerleri incelenir.

Eğer herhangi bir faktör için hesaplanan P değeri 0,05’ ten küçük ise bu durumda bu faktör, incelenen kalite karakteristiği üzerinde etkilidir.

Eğer herhangi bir faktör için hesaplanan P değeri 0,05’ ten büyük ise bu durumda bu faktör, incelenen kalite karakteristiği üzerinde etkili değildir.

Çizelge 5.10. MINITAB analiz çıktısı (Varyans analizi)

Analysis of Variance for Means						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A-İlerleme Hızı	2	0,02207	0,02207	0,011033	0,95	0,513
B-Takım Dönüş Hızı	2	0,01490	0,01490	0,007448	0,64	0,609
C-Tane Büyüklüğü	2	0,25779	0,25779	0,128893	11,10	0,083
Residual Error	2	0,02323	0,02323	0,011615		
Total	8	0,31798				

Yukarıda da görülebileceği gibi 0.05’ten küçük P değeri yoktur. Ancak 0.05’e en yakın P değeri 0.083 ile honlama taşı tane büyüklüğüne aittir.

Bu durumda;

“Honlama sonrası boru iç yüzey pürüzlülük değerinde en etkili faktör, honlama taşı tane büyüklüğüdür denilebilir.”

#### 5.4. Sonuç Sınama Deneilerinin Yapılması

Taguchi Metodu ile yapılan optimizasyon sonrasında “A2B2C1” kombinasyonuna sahip deneyinin optimal sonucu sağladığı tespit edilmiştir.

1. Tüm deneylerin tamamlanmasının ardından aynı deney koşulları altında, “A2B2C1” deneyi parametrelerine sahip deney kombinasyonu ile 3 deney daha yapılır (Çizelge 5.11.). Bu deneyler sınama deneyleridir.
2. Pratikte en sık kullanılan “ilerleme hızı- Takım dönüş hızı- Honlama taşı tane büyüklüğü” kombinasyonuna göre 3 deney, deney düzeneğine ve şartlarına uygun olarak yapılır (Çizelge 5.9.).

Bu son iki set deneyden elde edilen veriler; optimizasyon öncesinin ve sonrasında kıyaslanmasında kullanılacaktır. Yani pratikte en sık kullanılan kombinasyonda yapılan deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile Taguchi optimizasyonu sonucunda tespit edilen deney kombinasyonunda yapılan deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin kıyaslanması ve yapılan iyileştirme oranının görülmesini sağlanacaktır (Çizelge 5.10., Şekil 5.6.).

Çizelge 5.11. Taguchi metodu ile optimize edilmiş deney tasarımı

FAKTÖRLER	DEĞER
İlerleme hızı -A2-	10 kurs/dk.
Takım dönüş hızı -B2-	75 rpm
Honlama taşı tane büyüklüğü -C1-	80 mesh

Çizelge 5.12. Pratikte en sık kullanılan kombinasyon

FAKTÖRLER	DEĞER
İlerleme hızı - A2 -	10 kurs/dk.
Takım dönüş hızı - B1 -	70 rpm
Honlama taşı tane büyüklüğü - C2 -	100 Mesh

Çizelge 5.13. Sonuç sına deneylerinden elde edilen veriler

Ölçüm No	Pratikte en sık kullanılan deney kombinasyonu ile yapılan deneyler sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değeri (P) $\mu\text{m}$		Taguchi optimizasyonu sonrası elde edilen deney kombinasyonu ile yapılan deneyler sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değeri (T) $\mu\text{m}$	
	Ölçümler	Ortalama	Ölçümler	Ortalama
1	1,82 – 1,55 – 1,62 1,66 – 1,78 – 1,89	1,72	1,34 – 1,50 – 1,38 1,44 – 1,54 – 1,42	1,43
2	1,91 – 1,76 – 1,49 1,54 – 1,69 – 1,87	1,71	1,44 – 1,53 – 1,58 1,43 – 1,61 – 1,52	1,51
3	1,53 – 1,79 – 1,64 1,62 – 1,58 – 1,82	1,66	1,39 – 1,51 – 1,43 1,46 – 1,56 – 1,46	1,46
Genel Ortalama		<u>1,69</u>	Genel Ortalama	<u>1,46</u>

İyileştirme oranı hesaplanacak olursa;

$P_{\max} : 1,72$

$T_{\min} : 1,43$

$\Rightarrow$  Max. %16,8 iyileştirme gerçekleşmiştir.

$P_{\min} : 1,66$

$T_{\max} : 1,51$

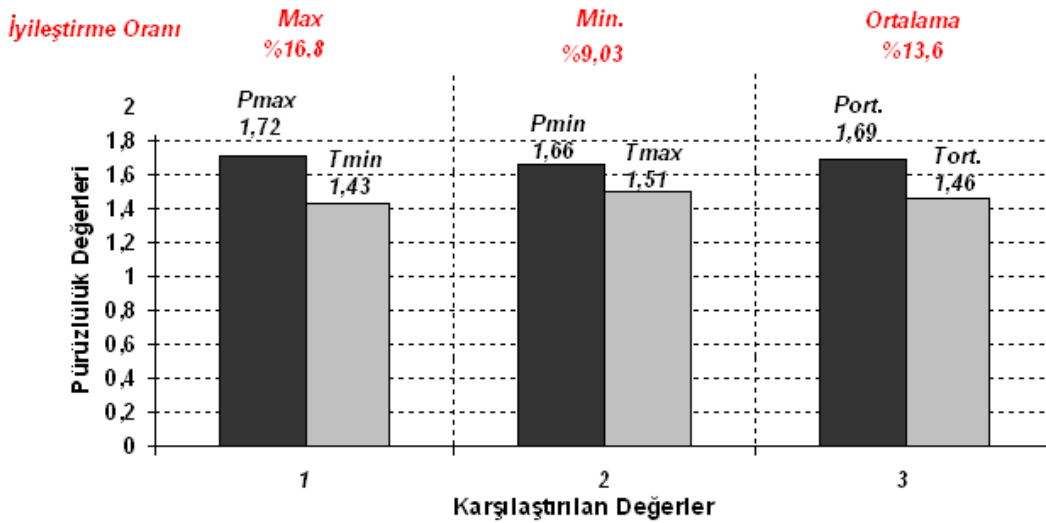
$\Rightarrow$  Min. %9,03 iyileştirme gerçekleşmiştir.

$P_{\text{ort. genel}} : 1,69$

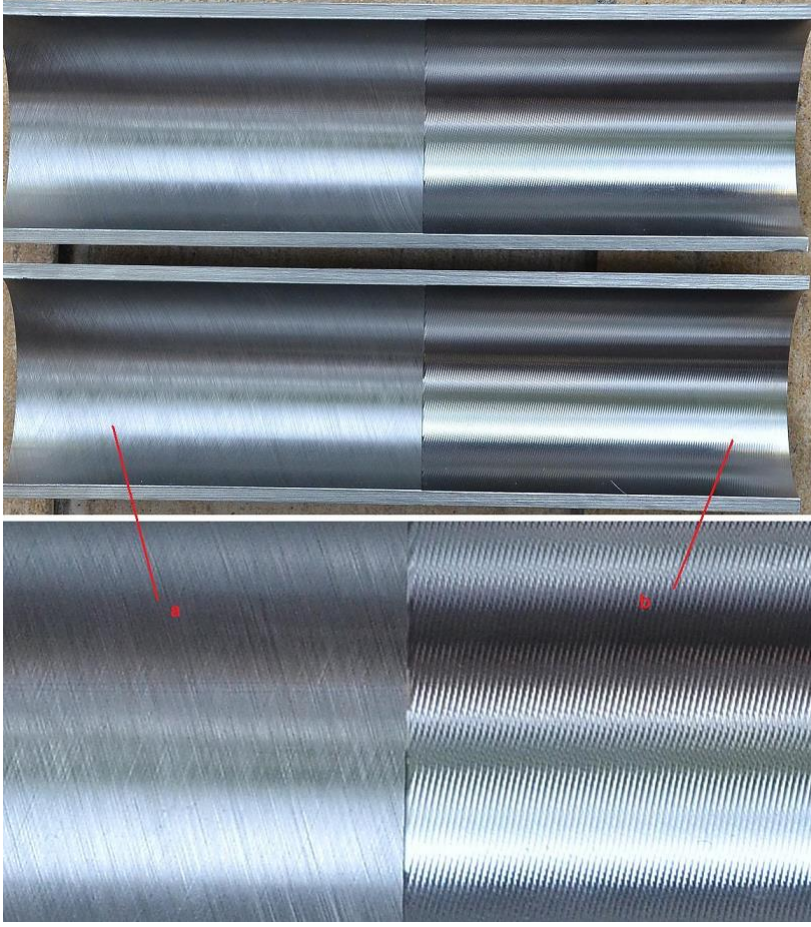
$T_{\text{ort. genel}} : 1,46$

$\Rightarrow$  Ortalama %13,6 iyileştirme gerçekleşmiştir.

değerlerine ulaşılır.



Şekil 5.6. İyileştirme karşılaştırma grafiği



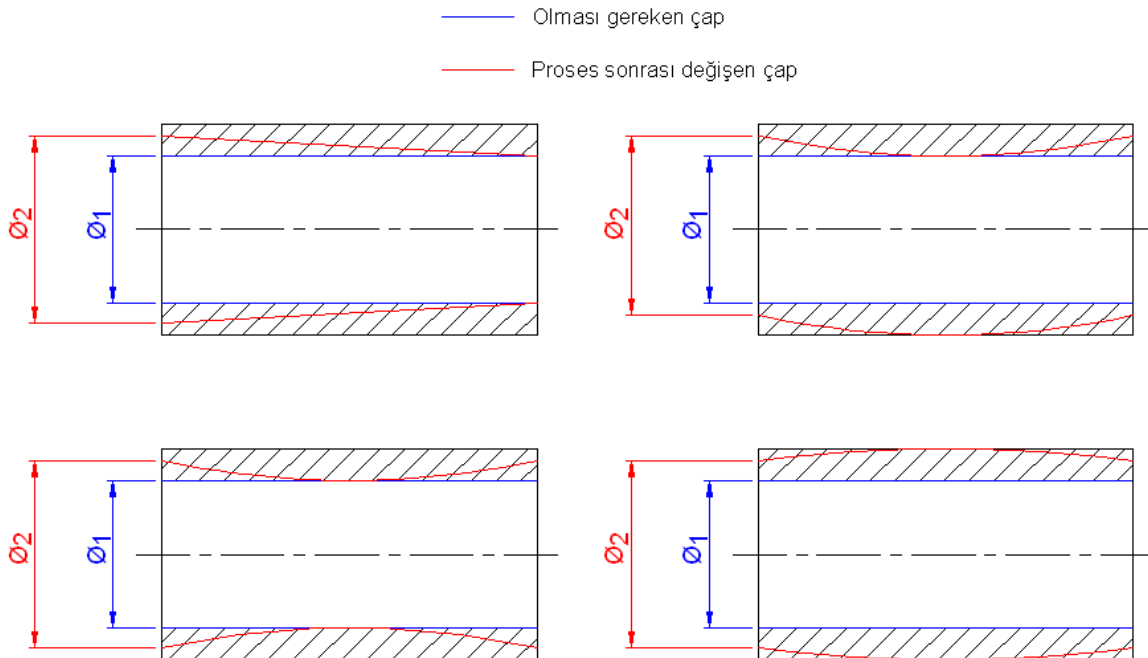
Resim 5.2. a) Taguchi optimizasyonu ile elde edilmiş deney kombinasyonu ile Honlanmış yüzey, b) Tornalanmış yüzey

## 5.5. Silindiriklik ve Dairesellik Ölçümleri

Bu tez kapsamında honlama prosesi sonrası boru iç yüzey pürüzlülük değerinin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yüzey pürüzlülük değeri Ra olarak ölçülmüş ve analizler bu değerler üzerinde yapılmıştır. Ancak honlama prosesinde, önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi 2 önemli kalite karakteristiği daha mevcuttur. Bunlar silindiriklik ve daireseliktir. Tez kapsamı içinde bu iki karakteristik ile ilgili bir çalışma yapılmayacaktır ancak hem honlama prosesinin bu karakteristikler üzerindeki etkisini görmek hem de ilerleyen zamanda bu konularda yapılacak çalışmalara veri sağlamak amacı ile silindiriklik ve dairesellik değerleri de ölçülecek, bunlar hakkında yorumlar yapılacaktır.

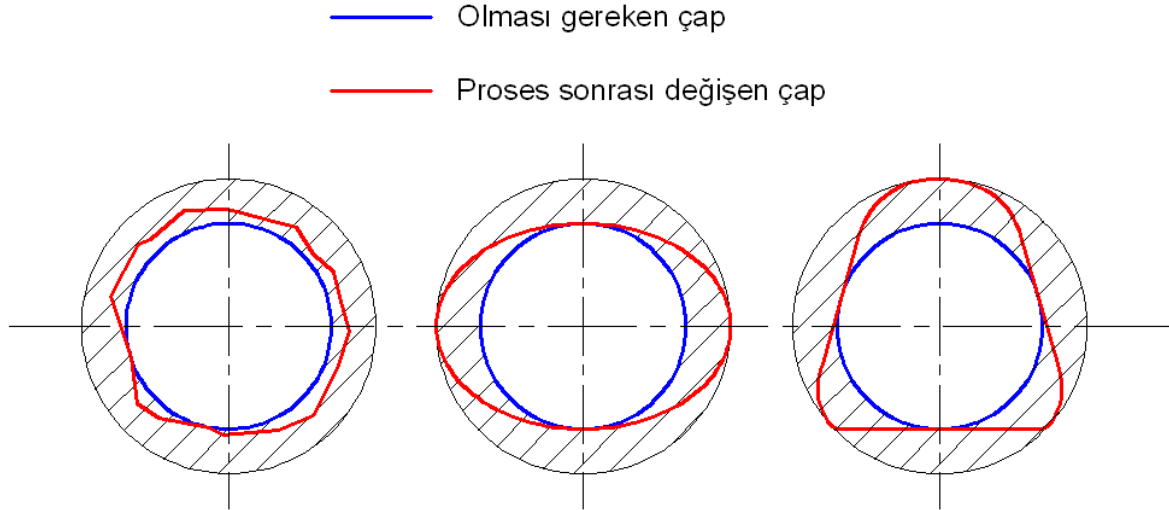
### 5.5.1. Silindiriklik ve dairesellik

Silindiriklik, en genel anlamda; boru yatay ekseninde meydana gelen ölçüsel çap değişimleri olarak ifade edilebilir. (Resim 5.3.). Koniklik olarak ta adlandırılır.



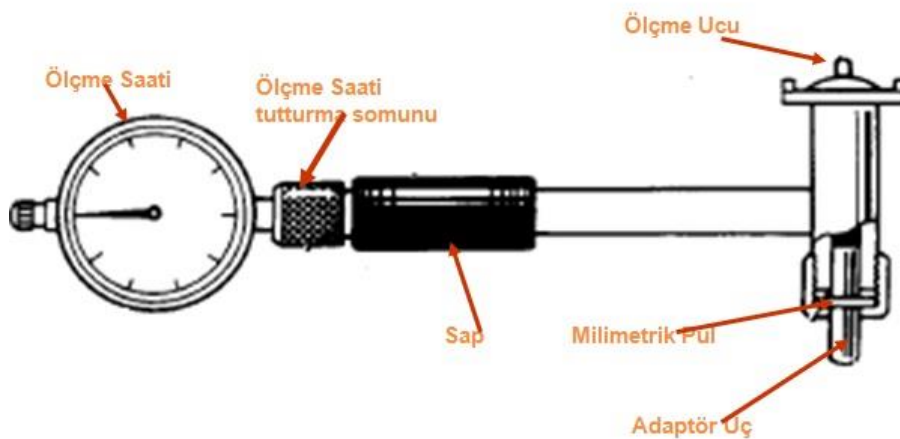
Resim 5.3. Çeşitli silindiriklik kaçıklık örnekleri

Dairesellik en genel anlamda; boru dikey ekseninde meydana gelen ölçüsel çap sapmaları olarak ifade edilebilir (Resim 5.4.).



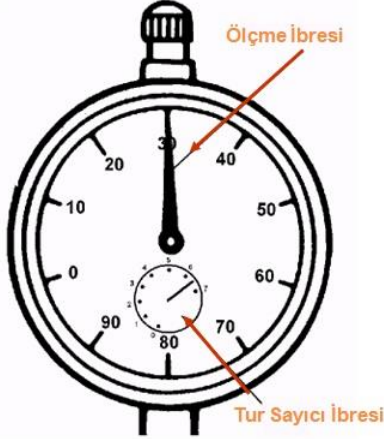
Resim 5.4. Çeşitli dairesellik kaçıklık örnekleri

Silindir ve yatak iç çaplarının ölçülerinin alınmasında komparatör kullanılır (Resim 5.5.). Komparatör aynı zamanda alınan ölçülerin birbirleriyle karşılaştırılması içinde kullanılmaktadır. Komparatör bir gövde ve bu gövdeye bağlanan komparatör saatinden meydana gelir. Komparatör saatinin hassasiyeti her bir çizgi aralığı 0,01 mm olacak şekilde ayarlanmıştır.



Resim 5.5. Komparatör

Komparatör saatinin içerisinde iki tane ibre vardır bunlardan büyük olan ibre sıfırlamada ve ölçülerin alınmasında kullanılan ibredir (Resim 5.6.). Diğerisi ise büyük ibrenin turlarını sayan ibredir. Ölçüler alınırken büyük ibrenin kaç tur attığı da önemli olduğu için dikkate alınmalıdır.



Resim 5.6. Komparatör saati

Komparatör saatini gövdeye takarken bu tur sayıcı ibrenin en az bir tur gösterecek şekilde saat yerine takılmalıdır. Ayrıca saat ile komparatör ayağı yandaki şekilde gösterildiği gibi aynı düzlemde olacak şekilde bağlanmalıdır. Ayrıca komparatör ayağına, ölçülecek silindirin çapına uygun adaptör uç takılmalıdır. Adaptör uçları komparatör kutusunda set olarak bulunmaktadır.

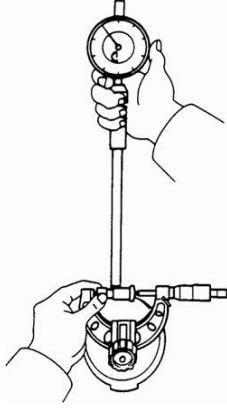
Komparatör iki amaçla kullanılabilir.

1. Ölçü almak. (Mikrometre yardımıyla)
2. İki ölçüyü karşılaştırmak.

Ölçümde; ölçülecek silindirin standart çapı katalogdan belirlenmelidir. Boru daha önceden honlanmış ise bu bilinmelidir ve buna göre silindirin son ölçüsü tesbit edilmelidir. Bu çapı ölçebilecek bir mikrometre alınır. Bir bez ile sap kısmından mengeneye veya özel mikrometre tutucusuna takılır. (Mengene kullanılacaksa mikrometre sapını fazla sıkmamaya dikkat ediniz.) Mikrometre silindirin çapına ayarlanır ve kilitletir. Komparatörün ayakları mikrometrenin ölçme uçları arasına sokulur.



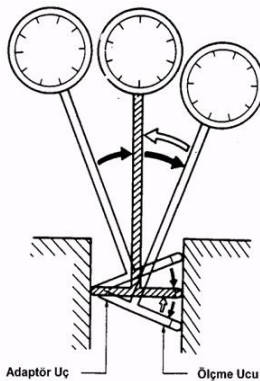
Sonra mikrometre hafifçe oynatılarak komparatör saati büyük ibrenin dönüş yaptığı en son noktaya sıfırlanır. Komparatör saatinin sıfırlanması için saatin camının dış kenarındaki halka çevrilmelidir (Resim 5.7.).



Resim 5.7. Komparatörün sıfırlanması

Komparatör silindirin içersine sokulur. Komparatörün silindire rahatça girmesi için önce yaylı ölçme ucunun olduğu taraf silindire sokulmalı sonra komparatör gövdesi yan tarafa doğru itilerek adaptör uç tarafı silindire sokulmalıdır.

Komparatör silindir içersinde sağa ve sola hareket ettirilirken ibrenin dönüş yaptığı çizgi dikkate alınır (Resim 5.8., Resim 5.9.). Komparatörün sağa sola hareket ettirilmesinin sebebi silindirin içindeki birbirine en yakın mesafeyi bulmak içindir. Komparatör ibresinin dönüş yönü saat yönündedir. Yani silindirin çapı küçüldükçe ibre sağa doğru hareket ederken ölçü büyüdükçe ibre sola doğru kayacaktır.



Resim 5.8. Komparatörün delik içindeki hareketi

İbre (0)'a göre sağda: Silindir ölçüsü küçülmüş. Bu durum pratikte mümkün değildir

İbre (0)'a göre solda: Silindir ölçüsü büyümüş. Bu durum silindirde aşınmayı gösterir.

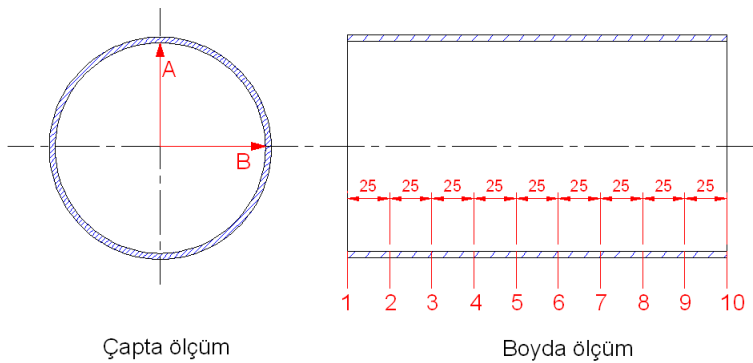
Ölçü, standart (mikrometrenin sıfırlandığı) değer ile komparatör ibresinin gösterdiği sapmanın toplanması veya çıkarılmasıyla bulunur.



Resim 5.9. Komparatör ile ölçü alma

### 5.5.2. Silindiriklik/Dairesellik ölçüm sonuçları

Deneylerde kullanılacak numunlerin boyu 250 mm'dir. Bu boy değeri de dikkate alınarak, silindiriklik ölçümü yapmak amacı ile A ve B noktalarından her 25 mm'de bir ölçüm yani bir numunede 20 ölçüm alınması kararlaştırılmıştır (Şekil 5.7., Çizelge 5.14., Çizelge 5.15., Çizelge 5.16.). Ölçümler komparatörle yapılacaktır.



Şekil 5.7. Silindiriklik/Dairesellik ölçüm noktaları

Çizelge 5.14. Birinci deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçüm değerleri

T:Tornalama H:Honlama		1. Deney Serisi									
Ölçüm	Deney No	1 (A1B1C1)		2 (A1B2C2)		3 (A1B3C3)		4 (A2B1C2)		5 (A2B2C3)	
		T	H	T	H	T	H	T	H	T	H
1	A	65,23	65,52	65,40	65,42	65,35	65,48	65,33	65,53	65,21	65,50
	B	65,22	65,51	65,39	65,42	65,33	65,45	65,30	65,55	65,22	65,50
2	A	65,25	65,51	65,41	65,41	65,35	65,48	65,31	65,51	65,21	65,48
	B	65,24	65,48	65,40	65,41	65,33	65,45	65,30	65,50	65,22	65,47
3	A	65,26	65,51	65,41	65,43	65,34	65,47	65,32	65,50	65,21	65,47
	B	65,24	65,48	65,40	65,44	65,32	65,45	65,30	65,49	65,23	65,48
4	A	65,28	65,50	65,43	65,45	65,33	65,47	65,30	65,50	65,22	65,46
	B	65,25	65,46	65,43	65,45	65,30	65,46	65,29	65,49	65,23	65,47
5	A	65,28	65,50	65,43	65,45	65,32	65,46	65,29	65,50	65,23	65,45
	B	65,27	65,46	65,45	65,47	65,30	65,47	65,28	65,49	65,24	65,46
6	A	65,29	65,49	65,45	65,45	65,32	65,46	65,27	65,50	65,25	65,45
	B	65,28	65,46	65,45	65,47	65,30	65,48	65,27	65,49	65,25 3222	65,46
7	A	65,30	65,49	65,45	65,47	65,31	65,48	65,27	65,49	65,25	65,45
	B	65,30	65,46	65,45	65,47	65,28	65,48	65,27	65,49	65,25	65,46
8	A	65,32	65,48	65,45	65,47	65,30	65,48	65,25	65,49	65,27	65,45
	B	65,30	65,45	65,46	65,48	65,27	65,49	65,25	65,49	65,26	65,46
9	A	65,32	65,45	65,45	65,48	65,30	65,48	65,24	65,49	65,26	65,45
	B	65,33	65,41	65,47	65,48	65,25	65,48	65,24	65,48	65,26	65,46
10	A	65,33	65,45	65,48	65,49	65,28	65,45	65,23	65,49	65,26	65,45
	B	65,33	65,41	65,48	65,49	65,24	65,45	65,22	65,48	65,27	65,45
Ölçüm	Deney No	6 (A2B3C1)		7 (A3B1C3)		8 (A3B2C1)		9 (A3B3C2)			
		T	H	T	H	T	H	T	H		
1	A	65,25	65,46	65,40	65,57	65,30	65,45	65,22	65,52		
	B	65,27	65,45	65,41	65,56	65,50	65,46	65,23	65,53		

Çizelge 5.14. (devam) Birinci deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçüm değerleri

2	A	65,23	65,46	65,40	65,50	65,28	65,45	65,22	65,47
	B	65,27	65,46	65,41	65,48	65,50	65,46	65,23	65,47
3	A	65,25	65,46	65,41	65,46	65,29	65,47	65,20	65,46
	B	65,28	65,46	65,41	65,43	65,48	65,48	65,20	65,46
4	A	65,28	65,47	65,45	65,44	65,28	65,47	65,22	65,48
	B	65,30	65,46	65,45	65,45	65,51	65,50	65,21	65,48
5	A	65,29	65,47	65,44	65,43	65,29	65,48	65,27	65,48
	B	65,39	65,47	65,45	65,45	65,48	65,49	65,26	65,48
6	A	65,30	65,48	65,45	65,45	65,30	65,48	65,24	65,48
	B	65,30	65,47	65,47	65,45	65,47	65,49	65,28	65,49
7	A	65,32	65,48	65,47	65,45	65,26	65,48	65,25	65,48
	B	65,30	65,48	65,49	65,45	65,47	65,49	65,30	65,49
8	A	65,34	65,50	65,48	65,45	65,25	65,46	65,27	65,49
	B	65,32	65,50	65,50	65,48	65,47	65,50	65,28	65,48
9	A	65,34	65,51	65,50	65,47	65,23	65,46	65,30	65,50
	B	65,34	65,50	65,51	65,48	65,44	65,52	65,31	65,49
10	A	65,34	65,55	65,51	65,47	65,23	65,52	65,32	65,53
	B	65,34	65,53	65,51	65,49	65,43	65,55	65,33	65,53

Birinci deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçümleri sonrası elde edilen ölçüm değerleri (A ve B ölçüleri) yukarıda bulunan tabloda verilmiştir (Çizelge 5.14.).

Çizelge 5.15. İkinci deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçüm değerleri

T:Tornalama H:Honlama		2. Deney Serisi									
Ölçüm	Deney No	1 (A1B1C1)		2 (A1B2C2)		3 (A1B3C3)		4 (A2B1C2)		5 (A2B2C3)	
		T	H	T	H	T	H	T	H	T	H
1	A	65,25	65,40	65,24	65,58	65,20	65,48	65,21	65,48	65,22	65,53
	B	65,25	65,41	65,25	65,53	65,19	65,44	65,24	65,48	65,20	65,55
2	A	65,25	65,40	65,25	65,52	65,20	65,48	65,22	65,44	65,22	65,52
	B	65,26	65,42	65,25	65,50	65,20	65,44	65,24	65,45	65,21	65,50
3	A	65,26	65,45	65,25	65,48	65,20	65,49	65,20	65,44	65,24	65,48
	B	65,27	65,45	65,27	65,48	65,20	65,46	65,23	65,44	65,22	65,47
4	A	65,28	65,47	65,26	65,48	65,20	65,50	65,24	65,44	65,24	65,48
	B	65,29	65,48	65,27	65,48	65,22	65,46	65,26	65,45	65,23	65,47
5	A	65,28	65,47	65,28	65,46	65,22	65,50	65,25	65,44	65,27	65,48
	B	65,30	65,49	65,27	65,46	65,26	65,47	65,26	65,45	65,23	65,47
6	A	65,30	65,47	65,29	65,46	65,22	65,48	65,26	65,45	65,28	65,48
	B	65,30	65,49	65,27	65,45	65,28	65,47	65,28	65,46	65,25	65,47
7	A	65,30	65,47	65,30	65,47	65,25	65,46	65,27	65,45	65,28	65,48
	B	65,31	65,49	65,29	65,45	65,27	65,45	65,29	65,45	65,26	65,47
8	A	65,30	65,46	65,31	65,47	65,25	65,45	65,28	65,45	65,29	65,48
	B	65,32	65,48	65,32	65,45	65,25	65,44	65,30	65,45	65,27	65,47
9	A	65,32	65,46	65,33	65,47	65,30	65,44	65,30	65,47	65,30	65,48
	B	65,32	65,48	65,32	65,45	65,30	65,44	65,31	65,47	65,28	65,48
10	A	65,32	65,47	65,33	65,48	65,28	65,50	65,30	65,49	65,31	65,50
	B	65,34	65,49	65,32	65,46	65,30	65,46	65,31	65,52	65,30	65,50
Ölçüm	Deney No	6 (A2B3C1)		7 (A3B1C3)		8 (A3B2C1)		9 (A3B3C2)			
		T	H	T	H	T	H	T	H		
1	A	65,23	65,52	65,33	65,60	65,23	65,42	65,34	65,53		
	B	65,22	65,51	65,33	65,58	65,25	65,44	65,34	65,53		

Çizelge 5.15. (devam) İkinci deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçüm değerleri

2	A	65,23	65,48	65,31	65,55	65,23	65,41	65,35	65,48
	B	65,23	65,49	65,33	65,54	65,25	65,43	65,33	65,50
3	A	65,25	65,46	65,31	65,52	65,24	65,42	65,35	65,49
	B	65,24	65,49	65,32	65,52	65,27	65,45	65,33	65,49
4	A	65,26	65,46	65,30	65,50	65,25	65,44	65,33	65,49
	B	65,25	65,48	65,30	65,50	65,29	65,47	65,31	65,49
5	A	65,28	65,45	65,29	65,49	65,27	65,45	65,30	65,49
	B	65,27	65,47	65,30	65,50	65,30	65,50	65,30	65,48
6	A	65,28	65,45	65,29	65,48	65,29	65,46	65,30	65,49
	B	65,28	65,47	65,29	65,49	65,30	65,50	65,30	65,48
7	A	65,30	65,46	65,26	65,48	65,30	65,48	65,29	65,50
	B	65,30	65,48	65,29	65,49	65,30	65,50	65,29	65,48
8	A	65,30	65,46	65,25	65,45	65,31	65,48	65,27	65,50
	B	65,30	65,48	65,28	65,47	65,31	65,50	65,28	65,48
9	A	65,31	65,45	65,24	65,44	65,33	65,50	65,25	65,50
	B	65,32	65,46	65,25	65,45	65,34	65,52	65,26	65,51
10	A	65,33	65,45	65,24	65,44	65,33	65,55	65,25	65,53
	B	65,32	65,45	65,25	65,45	65,34	65,57	65,25	65,51

İkinci deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçümleri sonrası elde edilen ölçüm değerleri (A ve B ölçüleri) yukarıda bulunan tabloda verilmiştir (Çizelge 5.15.).

Çizelge 5.16. Üçüncü deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçüm değerleri

T:Tornalama H:Honlama		3. Deney Serisi									
Ölçüm	Deney No	1 (A1B1C1)		2 (A1B2C2)		3 (A1B3C3)		4 (A2B1C2)		5 (A2B2C3)	
		T	H	T	H	T	H	T	H	T	H
1	A	65,34	65,47	65,36	65,52	65,22	65,47	65,29	65,55	65,22	65,55
	B	65,32	65,43	65,36	65,52	65,22	65,48	65,28	65,51	65,22	65,54
2	A	65,33	65,45	65,36	65,48	65,23	65,46	65,29	65,49	65,22	65,50
	B	65,31	65,44	65,36	65,48	65,23	65,47	65,28	65,46	65,23	65,51
3	A	65,31	65,47	65,34	65,47	65,25	65,47	65,30	65,48	65,23	65,48
	B	65,31	65,46	65,35	65,48	65,24	65,47	65,30	65,55	65,25	65,49
4	A	65,29	65,47	65,33	65,47	65,27	65,48	65,32	65,48	65,24	65,48
	B	65,30	65,47	65,33	65,47	65,25	65,48	65,30	65,46	65,25	65,48
5	A	65,28	65,47	65,32	65,45	65,29 <sub>28</sub>	65,48	65,33	65,49	65,26	65,47
	B	65,30	65,47	65,33	65,46	65,28	65,49	65,32	65,49	65,26	65,47
6	A	65,25	65,47	65,29	65,45	65,29	65,48	65,33	65,50	65,27	65,46
	B	65,28	65,47	65,32	65,46	65,28	65,49	65,33	65,49	65,27	65,46
7	A	65,25	65,48	65,29 <sub>31</sub>	65,47	65,29	65,48	65,35	65,50	65,30	65,45
	B	65,28	65,48	65,31	65,48	65,29	65,49	65,34	65,49	65,29	65,45
8	A	65,24	65,48	65,27	65,47	65,30	65,47	65,36	65,50	65,30	65,45
	B	65,27	65,51	65,30	65,48	65,30	65,48	65,35	65,49	65,30	65,47
9	A	65,23	65,51	65,26	65,49	65,31	65,47	65,37	65,50	65,30	65,45
	B	65,25	65,52	65,39	65,48	65,32	65,48	65,36	65,53	65,30	65,45
10	A	65,23	65,52	65,25	65,49	65,32	65,48	65,38	65,50	65,30	65,44
	B	65,25	65,53	65,29	65,51	65,33	65,51	65,36	65,53	65,32	65,47
Ölçüm	Deney No	6 (A2B3C1)		7 (A3B1C3)		8 (A3B2C1)		9 (A3B3C2)			
		T	H	T	H	T	H	T	H		
1	A	65,23	65,42	65,35	65,58	65,21	65,48	65,25	65,45		
	B	65,23	65,43	65,32	65,57	65,21	65,47	65,27	65,48		

Çizelge 5.16. (devam) Üçüncü deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçüm değerleri

2	A	65,23	65,40	65,27	65,48	65,22	65,47	65,26	65,45
	B	65,24	65,40	65,24	65,50	65,22	65,45	65,28	65,46
3	A	65,24	65,40	65,23	65,47	65,23	65,48	65,26	65,45
	B	65,25	65,40	65,21	65,48	65,23	65,45	65,29	65,47
4	A	65,25	65,42	65,21	65,46	65,25	65,48	65,28	65,46
	B	65,26	65,41	65,21	65,48	65,25	65,46	65,30 30	65,48
5	A	65,27	65,42	65,20	65,45	65,28	65,49	65,30	65,46
	B	65,27	65,42	65,22	65,48	65,25	65,47	65,32	65,50
6	A	65,29	65,42	65,19	65,45	65,30	65,50	65,32	65,48
	B	65,29	65,42	65,20	65,48	65,27	65,47	65,33	65,50
7	A	65,29	65,42 2	65,17	65,45	65,30	65,50	65,33	65,48
	B	65,30	65,42	65,18	65,48	65,27	65,47	65,34	65,50
8	A	65,30	65,43	65,18	65,44	65,30	65,50	65,33	65,48
	B	65,31	65,43	65,18	65,47	65,30 30	65,47	65,34	65,50
9	A	65,32	65,45	65,16	65,46	65,30	65,51	65,33	65,48
	B	65,33	65,46	65,17	65,49	65,31	65,47	65,35	65,50
10	A	65,33	65,49	65,15	65,48	65,33	65,52	65,33	65,51
	B	65,35	65,50	65,17	65,50	65,31	65,48	65,35	65,50

Üçüncü deney serisi silindiriklik/dairesellik ölçümleri sonrası elde edilen ölçüm değerleri (A ve B ölçüleri) yukarıda bulunan tabloda verilmiştir (Çizelge 5.16.).

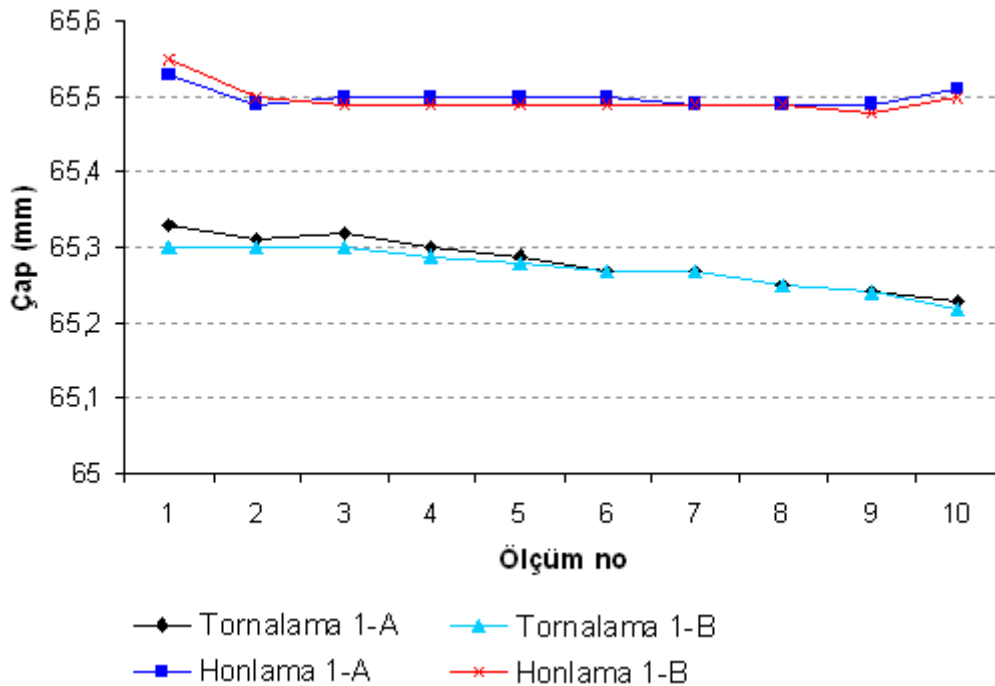


### 5.5.3. Silindiriklik/Dairesellik ölçüm sonuçlarının yorumlanması

Hiç bir operasyona girmemiş 3 deney numunesi önce başta belirtilen ölçülerde tornalanır ve silindiriklik/dairesellik ölçümü (A,B ölçümü) yapılır. Daha sonra bu numuneler Taguchi optimizasyonu ile belirlenen deney kombinasyonunda honlanır ve silindiriklik/dairesellik ölçümü (A,B ölçümü) yapılır. Elde edilen bu veriler üzerinden yorumlar yapılır (Çizelge 5.17. Çizelge 5.18., Çizelge 5.19.)

Çizelge 5.17. Numune 1-Tornalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma ölçümleri

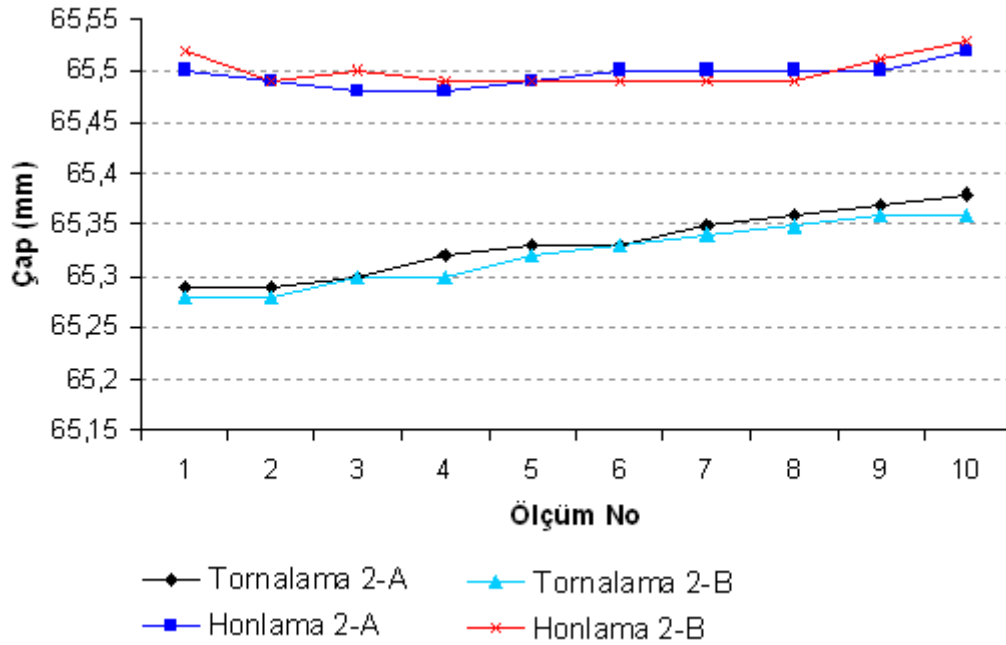
Ölçüm No	TORNALAMA-A	HONLAMA-A	TORNALAMA-B	HONLAMA-B
1	65,33	65,53	65,3	65,55
2	65,31	65,49	65,3	65,5
3	65,32	65,5	65,3	65,49
4	65,3	65,5	65,29	65,49
5	65,29	65,5	65,28	65,49
6	65,27	65,5	65,27	65,49
7	65,27	65,49	65,27	65,49
8	65,25	65,49	65,25	65,49
9	65,24	65,49	65,24	65,48
10	65,23	65,51	65,22	65,5



Şekil 5.8. Numune 1-Tornalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma grafiği

Çizelge 5.18. Numune 2-Tornalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma ölçümleri

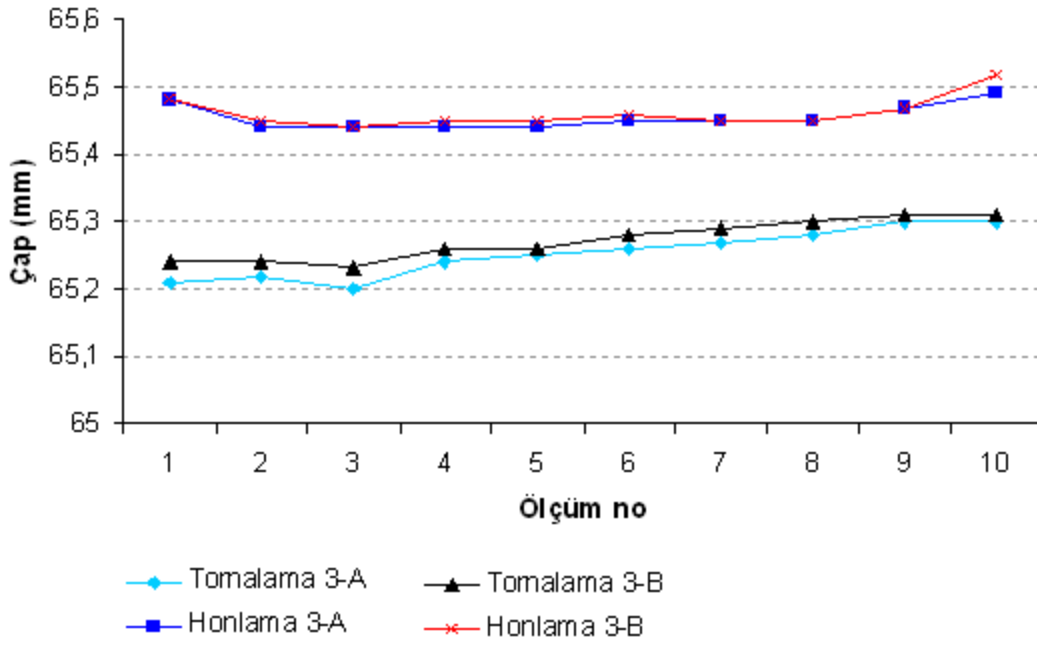
Ölçüm No	TORNALAMA-A	HONLAMA-A	TORNALAMA-B	HONLAMA-B
1	65,29	65,5	65,28	65,52
2	65,29	65,49	65,28	65,49
3	65,3	65,48	65,3	65,5
4	65,32	65,48	65,3	65,49
5	65,33	65,49	65,32	65,49
6	65,33	65,5	65,33	65,49
7	65,35	65,5	65,34	65,49
8	65,36	65,5	65,35	65,49
9	65,37	65,5	65,36	65,51
10	65,38	65,52	65,36	65,53



Şekil 5.9. Numune 2-Tornalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma grafiği

Çizelge 5.19. Numune 3-Tornalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma ölçümleri

Ölçüm No	TORNALAMA-A	HONLAMA-A	TORNALAMA-B	HONLAMA-B
1	65,21	65,48	65,24	65,48
2	65,22	65,44	65,24	65,45
3	65,2	65,44	65,23	65,44
4	65,24	65,44	65,26	65,45
5	65,25	65,44	65,26	65,45
6	65,26	65,45	65,28	65,46
7	65,27	65,45	65,29	65,45
8	65,28	65,45	65,3	65,45
9	65,3	65,47	65,31	65,47
10	65,3	65,49	65,31	65,52



Şekil 5.10. Numune 3-Tornalama-Honlama çap değişimi karşılaştırma grafiği

Deney numunelerinin ölçüm sonuçlarından ve silindiriklik/dairesellik ölçümü için özel olarak yapılan uygulama deneyinin ölçüm sonuçlarından da görüldüğü gibi;

Honlama prosesi, silindiriklik ve dairesellik değerlerini iyileştiren bir talaşlı imalat yöntemidir (Çizelge 5.17., Çizelge 5.18., Çizelge 5.19., Şekil 5.10., Şekil 5.11., Şekil 5.12.). Tornalama sonrası gerçekleştirilen honlama prosesi, sonrası nominal çap kaçıklıklarının tornalamaya oranla belirgin oranda iyileştiği görülmektedir. Bundan dolayı hassas delik ölçüsü istenilen uygulamalarda honlama prosesinin son işlem olarak uygulanması uygundur.

Honlama ile benzer yöntemler olan ezme ve elektrokimyasal honlama gibi proseslerin kullanılması durumunda silindiriklik değerleri daha iyi seviyelere de çekilebilmektedir.

Tornalama sonrası nominal çap kaçıklıklarının oldukça yüksek oranda olduğu görülmektedir. Bundan dolayı hassas delik ölçüsü istenilen uygulamalarda tornalama prosesinin son işlem olarak uygulanması çok uygun değildir. Ancak, işlenecek malzemenin sert olması ya da çok yumuşak olması gibi durumlarda honlama, yeterli performansı göstermeyebilir. Çünkü, mekanik özellikleri uygun olmayan malzemeler honlanırken honlama taşları görevlerini tam olarak yerine getiremeyebilirler yani işlenecek malzeme çok sert ise honlama taşları çok çabuk aşınır ya da işlenecek malzeme çok yumuşak ise honlama taşları operasyon sırasında iş parçasına fazla girip istenilenden fazla talaş kaldırılmasına neden olabilir. Böylece hem ölçüsel hem de yüzey kalitesi açısından istenemeyen durumlar söz konusu olabilir.

Silindiriklik ve daireselliğin sağlanmasında tezgah-iş parçası uyumu çok önemli bir faktördür. İş parçasına göre tezgah seçimi kavramı, ölçüsel doğruluğun sağlanması için elzemdir.

Bu tez de kullanılan honlama tezgahı daha düşük kapasiteli olsa idi, silindiriklik ve dairesellik değerleri daha iyi değerler alabilirdi. Bu durumu özellikle iş parçası giriş-çıkış ölçü değerlerinde görebilmek mümkündür.

Şekil 5.10., Şekil 5.11. ve Şekil 5.12. grafiklerinden de görülebileceği gibi iş parçası üzerinden alınan ilk ölçü ile hemen sonra gelen ölçü ve son ölçü ile ondan hemen önce gelen ölçü değerleri arasında grafiksel bir sapma göze çarpmaktayken, iş parçalarının uç kısımlarından içerilere doğru ilerlendikçe silindiriklik/dairesellik sapmasının da azaldığı gözlenmektedir. Bundan dolayı, honlama prosesinde silindiriklik/dairesellik konusuna çalışacak akademisyenlere yapacakları çalışmalarda tezgah-iş parçası uygunluğu seçimine dikkat etmeleri önerilir. Bunlara ilaveten operatörün yetkinliğinin de dikkate alınması gereken bir faktör olduğu unutulmamalıdır.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, honlanmış boru imalatı yapılan bir işletmede, honlama sonrası elde edilen boru iç yüzey pürüzlülük değerinin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; işletme genelinde yürütülen Ar-Ge çalışmaları, kalite faaliyetleri, müşteri geri bildirimleri, operatör tecrübeleri ve analizler incelenerek yüzey pürüzlülük değerine etki eden faktörler ve bu faktörlerin hangi seviyeleri ile deneyler yapılması gerektiği tespit edilmiştir.

Yapılan bu analiz faaliyetlerinin ardından, Taguchi deney tasarımı uygulaması için L9 orthogonal matrisinin kullanılması uygun görülmüştür. Bu matris yapısı; 3 faktör ve bu faktörlerin 3 seviyesi için uygun görülen matristir. Bu matris yapısı, MINITAB 17 paket programı vasıtasıyla tespit edilmiştir.

Normal koşullarda 3 faktör ve bu 3 faktöre ait 3 seviye için  $3^3 = 27$  deney ve her bir deneyin 3'er kere tekrarlanması ile  $27 \times 3 = 81$  deney yapılması gerekmekteydi. Taguchi metodu kullanılarak, L9 orthogonal matris yapısına uygun olarak 9 deney ve her bir deneyin 3'er kere tekrarlanması ile beraber toplam  $9 \times 3 = 27$  deney ile optimum sonucu veren faktör seviyeleri tespit edilebilmiştir.

Boru iç yüzey pürüzlülük değeri kalite karakteristiğini etkileyen faktörler, MINITAB 17 paket programı vasıtasıyla analiz edilmiştir. Program çıktılarından olan Anova Analizi ile, honlama taşı tane büyüklüğü faktörünün yüzey pürüzlülüğünde en etkili faktör olduğu belirlenmiştir, diğer faktörlerin etkisinin honlama taşı tane büyüklüğü nün etkisi yanında çok daha az olduğu tespit edilmiştir.

MINITAB 17 paket programı vasıtasıyla faktör seviyelerinin en iyi değerleri de tahmin edilebilmiştir. Bu tahmin neticesinde "A2B2C1" kombinasyonuna sahip (takım dönüş hızı:75 rpm, takım ilerleme hızı:10 kurs/dak. ve honlama taşı tane büyüklüğü: 80 Mesh) deney tasarımının en iyi yüzey pürüzlülük değerini vereceği belirlenmiştir.

Tüm deneylerin ve sonrasında analizlerin tamamlanmasının ardından, en iyi yüzey pürüzlülük değerini sağlayan deney kombinasyonu olan A2B2C1 kombinasyonu ile 3 sına deneyi yapılmıştır. Bu deneylerin ardından, uygulamada en çok kullanılan deney kombinasyonu olan A2B1C2 (takım dönüş hızı:75 rpm, takım ilerleme hızı:5 kurs/dak. ve honlama taşı tane büyüklüğü: 100 Mesh) kombinasyonu ile de 3 deney yapılmıştır. Sonrasında, bu iki deney setinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılmış ve Taguchi optimizasyonu ile elde edilen deney kombinasyonunda yapılan honlama işlemi ile pratikte en çok kullanılan kombinasyona oranla yüzey pürüzlülük değerinde ortalama %13,6 oranında iyileştirme elde edildiği görülmüştür.

Sonuç olarak;

1. Honlama prosesinde yüzey pürüzlüğünü en çok etkileyen faktörlere göre büyük oranla honlama taşı tane büyüklüğü olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar göz önüne alındığında, işlenen malzeme özellikleri de dikkate alınmak kaydıyla daha büyük tane yapısına sahip honlama taşları tercih edilmelidir.

Ancak, bu tezde kullanılan honlama taşları ince kum tabir edilen nispeten ufak taneli taşlardır. Bu sebepten dolayı bu tezde yapılan çalışmaya benzer bir çalışmanın kalın kum denilen 80 mesh altı kum büyüklüğüne sahip taşlarla da yapılması, daha kalın taneli honlama taşlarının arasında seçme kriterlerinin tespitine de olanak sağlayacaktır. Kaldı ki, piyasada birçok uygulamada tornalama sonrası honlama prosesinde 40 mesh civarı honlama taşları ile ön honlama yapıp yüzey daha hassas honlamaya hazır hale getirilmekte ve sonrasında bu tezde kullanılan honlama taşları tane büyüklüğü aralığında ki taşlarla son honlama prosesi uygulanmaktadır.

Aynı zamanda pratikte, son honlama işlemi bitirdikten sonra honlama kafası üzerine zımpara kağıdı sarılarak honlanacak boru içerisinde zımpara kağıdı ile honlama hareketi yapılmaktadır. Bu uygulama, honlama sonrası yüzeyde ki olası derin çizikleri en aza indirmeye yöneliktir ki böylece yüzey kalitesi daha da artmaktadır. Ayrıca honlanan boru, su içinde çalışacaksa, iç yüzeyi korozyona



karşı krom kaplanmaktadır ki bu işlem korozyona karşı korumanın yanı sıra yüzeyi neredeyse mükemmel hale getirmektedir.

Bu tezde ki amacımız tornalama sonrası tek honlama uygulaması yapmak ve bu koşulda yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreleri optimize etmek olduğu için yukarıda belirtilen yöntem uygulanmamıştır.

Sonuç olarak, yukarıda belirtildiği gibi sadece daha kalın tane yapılı taşlarla yapılacak bir deney prosedürü ve ön honlamalı uygulama prosedürü ile yeni iki akademik çalışma yapılması da bu konuda çalışacak akademisyenlere önerilir.

2. Takım dönüş hızı faktörünün yüzey pürüzlülük değerine etkisi honlama taşı tane büyüklüğünün etkisine oranla düşük bir değer olarak tespit edilmiştir. İşlenecek malzeme yapısı dikkate alınarak, takım dönüş hızının; tezgahı zorlamayacak ve işlenen malzemenin çok ısınmasına neden olmayacak değerlerde tespit edilmesi uygun ve yeterli olacaktır. Eğer çok yüksek ya da çok düşük dönüş hızları ile honlama yapılırsa honlama taşının, işlem esnasında kırılması ve kırılan taş parçalarının, iş parçası yüzeyine zarar vermesi, derin çiziklere neden olması söz konusu olabilecektir.
3. İlerleme hızı faktörünün yüzey pürüzlülüğüne etkisi honlama taşı tane büyüklüğünün etkisi yanında düşük bir etki değerindedir. Ancak, çok yüksek ilerleme hızları ile çalışılmamalıdır. İlerleme hızı, özellikle boru boyu ve işlenecek malzeme dikkate alınarak tespit edilmelidir. Örneğin bu tezde kullanılan 10 kurs/dak. ilerleme hızı değeri 250 mm uzunluğunda ki deney numuneleri için uygun bir hız değeri iken, boru boyunun 1500 mm olması halinde çok düşük bir hız değeri olabilmektedir. Ayrıca, çelik olan ve olmayan malzemeler arasında ve hatta farklı tür çelikler arasında bile ilerleme hızı değerinin etkisi de farklılık gösterebilmektedir. Yüksek ilerleme hızları, honlama taşlarının yüzeye dalmasına, yüzeyi çizmesine ve borunun aşırı ısınmasına neden olabilecektir. Aşırı ısınan boruda ise soğuduktan sonra ölçüsel hatalar görülebilecektir.

4. Bu tez çalışmasına konu olan deneylerin yapıldığı honlama tezgahı genellikle  $\Phi 100$  mm ve daha büyük çaplı honlama operasyonlarında daha verimli çalışmaktadır. Hem yüzey pürüzlülük değeri hem de silindiriklik/dairesellik değerleri belirtilen bu çaplarda daha iyi seviyelere ulaşmaktadır.

Deneylerde elde edilen pürüzlülük değerleri hidrolik uygulamalar için yeterli değerlerdir. Ancak, ileride honlama konusunda yapılacak çalışmalarda tezgah-parça boyutları ilişkisinin yani parçaya uygun tezgah seçiminin dikkate alınması ve operasyonların buna göre planlanıp uygulanması da önerilir.

5. Honlama prosesinde yüzey kalitesine etki eden ancak arka planda kalan önemli bir etken de operatörün yetkinliğidir. Tezgahı ve işlenecek malzemeyi tanıyan, tezgah kapasitesini bilen ve malzeme işleme konusunda tecrübe sahibi bir operatörün, yüzey kalitesinin artmasına/azalmasına sebep olabilecek müdahalelerde bulunabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır ki bunun etkisi deneyler yapılırken bizzat gözlenmiştir.
6. Önceki bölümler de anlatıldığı gibi honlama prosesine oranla yüzey pürüzlülük değerini daha iyi seviyelere getiren ezme ve elektrokimyasal honlama gibi işleme prosesleri de mevcuttur. İşletme de yapılacak yatırım planlamasıyla gelecekte bu prosesleri gerçekleştirecek tezgah-ekipman yatırımı yapılabilir.
7. Yapılan iyileştirmeden de görülebileceği Taguchi metodu, optimizasyon için etkili bir araç olarak kullanılabilir. Bu sebepten dolayı honlama prosesinin diğer önemli kalite karakteristikleri olan silindiriklik ve koniklik üzerinde de Taguchi metodu ile uygulama yapıp bu değerlerin de en iyilenmesi için çalışmalar yapılabilir.
8. Taguchi metodu sadece üretim proseslerini iyileştirmede kullanılmak amacı ile geliştirilmemiştir. Benzer şekilde yönetim prosesleri ve işletmede uygulanan tüm proseslerin tek başına ya da sistem olarak en iyilenmesinde de Taguchi metodu etkili bir yöntem olarak kullanılabilir.

9. Sonuçların istatistiksel analizinin manual olarak yapılabilceği gibi MINITAB paket programı ile yapılabilceği de gösterilmiştir. İşletme bu programın hem Taguchi modülünü hem istatistiki verilere ihtiyaç duymaları halinde diğer modüllerini kolay bir şekilde kullanabilecektir. Üstelik bir yatırım maliyeti de yoktur.



## KAYNAKLAR

1. İnternet; Taguchi Metodu.  
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fendustrimuhendisligi.blogspot.com.tr%2F2012%2F12%2Ftaguchi-metodu.html&date=2015-07-05>. Son Erişim Tarihi: 05.07.2015
2. Arslan, M., Serer., M. (2003). *Hidrolik silindir tasarım ve imalatında kullanılan tolerans ve formüller*. 3. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi'nde sunuldu, İzmir
3. Akkurt, A., Ovalı, İ., (2009). Ezme ve Geleneksel Bitirme İşlemlerinin Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü ve Daireselliği Üzerine Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(3), 371-382
4. Akkurt, A., Kurt, A., Özdemir, A., Şeker, U. (2014). Comparison of Hole Surface Finishing Processes with Roller Burnishing Method Applied in Copper Materials. *Gazi University Journal of Science*, 27(1), 721-734
5. Çoğun, C. (2003). Alışılmamış İmalat Yöntemleri Lisansüstü Ders Notu, *Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*
6. İnternet; Toleranslar ve Ölçülendirme Ders Kitapçığı, Kutay.M.G, (Kasım 2009).  
URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.guvenkutay.ch%2Fozet-konular%2F02\\_toleranslar.pdf&date=2015-07-05](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.guvenkutay.ch%2Fozet-konular%2F02_toleranslar.pdf&date=2015-07-05),  
Son Erişim Tarihi: 05.07.2015.
7. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarı Deney Föyü*, Deney 3
8. Çetin, C., Erol, V., Akın, B. (1998). *Toplam Kalite Yönetimi ve ISO 900 Kalite Güvence Sistemi*, Beta Basım Yayım, İstanbul
9. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, (2000). *ISO 9000 Kalite Güvence Sistemleri*, Ankara, Yayın No: 549
10. Kavrakoğlu İ., (1996). *Toplam Kalite Yönetimi*, Kalder, İstanbul
11. Besterfield, D.F., Besterfield, C., Besterfield, G.H., Besterfield M., (1995). *Total Quality Management*, Prentice Hall Inc., New Jersey
12. Sover, V.E., Savoie, M.J., Renick, S. (1999). *An Introduction to Quality Management and Engineering*, Prentice Hall Inc., New Jersey
13. Montgomery, D.C. (1991). *Design And Analysis Of Experiment*, John Wiley&Sons, Newyork

14. Scheffler, E. (1997). Statische versuchplanung und austwertung, *Eine Einführung in die Praxis der statistischen Versuchplanung*, Deutscher Verlag für Grund staffindustrie, Stuttgart
15. Lunani, M., Nair V.N., Wasserman G.S., Graphical Methods For Robust Design With Dynamic Charactersitics, *Journal Of Quality Technology*, 29, 327-338
16. Canıyılmaz, E. (2001). *Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Uygulama*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
17. Ranjit, K.R. (1990). *A primer on the Taguchi method*, Van Nostrand Reinhold
18. Güral, G. (2003). *Gaz Kaynağında proses parametrelerinin optimizasyonu*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
19. Gökçe, G., Taşgetiren, S. (2009). Kalite için Deney Tasarımı, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 71-83
20. Yıldırım, S. (2011). *Ürün Tasarımı Geliştirilmesi: Taguchi Tasarımı*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
21. Kasapoğlu, Ö.A. (2007). *Talaşlı İmalatta Bir Kalite Karakteristiğinin Modellenmesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul
22. Pınar, M., Güllü, A. (2010). Sayısal Denetimli Hidrolik Pozisyonlama Sisteminin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1), 93-100
23. Kayır, Y., Aslan, S., Aytürk, A. (2013). AISI 316 Ti Çeliğın Tornalamasında Kesici Uç Etkisinin Taguchi Metodu ile Analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 363-372
24. Meral, G., Sarıkaya, M., Dilipak, H. (2011). Delik İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4), 332-338
25. Şanyılmaz, M. (2006). *Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi İle Bir Uygulama*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya

26. Kopaj, J., Krajnik, P. (2007). Robust design of flank milling parameters based grey-Taguchi method. *Journal of Material Processing Technology*, 191, 400-403
27. Sakarya, N., Göloğlu, C. (2006). *Taguchi Yöntemi ile Cep İşlemede Kullanılan Takım Yolu Hareketlerinin ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Belirlenmesi*, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4), 603-611
28. Gencel, İ. (2007). *Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli*
29. Erdem, V., Belevi, M., Koçhan, C. (2010). Taguchi Metodu ile Plastik Enjeksiyon Parçalarda Çarpılmanın En Aza İndirilmesi *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 12(2), 17-29
30. Ghani, J.A., Choudhury, I.A., Hassan, H.H. (2004). Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 145, 84–92
31. Yang, W.H., Tarng, Y.S. (1998). Design optimization of cutting parameters for turning based on Taguchi Method, *Journal of Materials Processing Technology*, Taiwan





## **EKLER**

## EK-1. Uluslararası kum standartları

Kum Büyüklüğü (Mesh)	<i>µm cinsinden ortalama kum çapı</i>			
	DIN ISO 6344	JIS	ANSI	
60	270	270	270	<b>Macro Kum</b>
70	230		230	
80	190	190	190	
90	160		160	
100	140	165	140	
120	120	120	120	
150	95	95	95	
180	80	80	80	
200	70			
220	60	70	70	
240	45	57	57	<b>Micro Kum</b>
280		48	37	
320	29	40	29	
360		35	23	
400	17	30	17	
500	13	25	13	
600	9	20	9	
700		17		
800	7	14	7	
1000	5	12	4	
1200	3	10	3	
1500	2	8		
2000	1	7		
2500		5		
3000		4		
4000		3		
6000		2		
8000		1		

EK-2. Yüzey işleme işaretleri tablosu

TEZGAH İŞLEME	DIN 3141 (ESKİ GÖSTERİM)	ASA 46-1 (AMERİKAN STANDARDI)	DIN 3142 (YENİ GÖSTERİM)	AÇIKLAMA
LAPLAMA				Honlama, perdelama gibi çok yüksek kalite işleme sonucu elde edilir. Silindir iç yüzeyleri, rodlar gibi sızdırmazlık gereken yüzeylerde kullanılır. Ayna görüntüsü verirler.
TAŞLAMA				Yüksek kalite taşlama işlemi ile elde edilirler. Sübap yatakları, kam yüzeyleri, sürtünmesiz yataklar, hassas yüzeyler için kullanılırlar. Parlak görüntü verirler
				Taşlama, raybalama, kaba honlama ile elde edilir. Yüksek devirli yataklamalar, sızdırmazlık gereken yüzeyler, pistonlar, kaymalı yatak, fren kasnakları vs için kullanılır.
				Orta kalite taşlama veya çok ince zımpara ile elde edilir. Preste geçme yüzeyleri, kam yüzeyi, kaymalı yataklamalar, ağır yük taşıyan yatak yüzeyleri, raybalanmış delikler için kullanılırlar.
İNCE İŞLEME				Yüksek kalite torna ve frezeleme işlemi ile elde edilirler. Hareket etmeyen fakat ağır yük taşıyan yataklar, dişli diş yüzeyleri, şaft yüzeyleri, mil delikleri, soğuk çekme yüzeyler için kullanılırlar.
				Torna ve frezede yüksek hız ve düşük ilerleme pasolarında elde edilirler. Hareketsiz ve orta derece yük taşıyan yataklar, conta yüzeyleri, pafta ile açılan dişler için kullanılırlar.
ORTA İŞLEME				Kaba eğeleme bu işlem için yeterlidir. Bu yüzeylerde kesici alet izleri gözükür. Kaba makine parçaları, herhangi bir yüzeye teması olmayan parçalar için kullanılır.
				İşlenmiş olmasına rağmen pürüzlerin gözlenebildiği yüzeylerdir. Bu yüzeylerin başka bir yüzey ile teması olmamalı ve titreşim ve gerilim altında bulunmamalıdır.
KABA İŞLEME				Temizlik amacı ile çok kaba işlenmiş yüzeylerdir
İŞLEME YOK		SEMBOL YOK		Hiç işlemeye gerek bulunmayan yüzeylerdir.

## EK-3. İşleme yöntemlerine göre ulaşılabilecek Ra yüzey pürüzlülükleri

Yapım Yöntemleri	Pürüzlülük değeri ( Ra )												
	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	0
<b>İŞLENMEMİŞ YÜZEYLER</b>													
Kum dökümü													
Kaynak													
Dövme													
Kokil döküm													
Kuyumcu dökümü													
Kalıpta döküm													
Haddeleme													
Ekstrüzyon													
<b>İŞLENMİŞ YÜZEYLER</b>													
Alev ve testere ile kesme													
El ile Taşlama													
Eğeleme													
Planyalama													
Kaba tomalama													
Kaba frezeleme													
Kaba taşlama													
Zimba ile delme													
Matkapla delme													
İnce tomalama ve frezeleme													
Broşlama													
Alın düzlem taşlama													
Raybalama													
Silindirik Taşlama													
Parlatma													
Elmas kalemle tomalama													
Honlama													
Deri ile parlatma													
Lebleme													
Çok hassas parlatma													

■ Genellikle uygulanır.

▨ Nadiren uygulanır.

EK-4. Çizelge 4.1. H7 Geçme toleransı

Nominal ölçü mm olarak	H7	Boşluklu geçme			Ara geçme				Sıkı geçme		
		f6	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6
≤ 3	+10 0	-6 -12	-2 -8	0 -6	±3	+6 0	+8 +2	+10 +4	+12 +6	+16 +10	+20 +14
> 3 - 6	+12 0	-10 -18	-4 -12	0 -8	±4	+9 +1	+12 +4	+16 +8	+20 +12	+23 +15	+27 +19
> 6 - 10	+15 0	-13 -22	-5 -14	0 -9	±4,5	+10 +1	+15 +6	+19 +10	+24 +15	+28 +19	+32 +23
> 10 - 18	+18 0	-16 -27	-6 -17	0 -11	±5,5	+12 +1	+18 +7	+23 +12	+29 +18	+34 +23	+39 +28
> 18 - 30	+21 0	-20 -33	-7 -20	0 -13	±6,5	+15 +2	+21 +8	+28 +15	+35 +22	+41 +28	+48 +35
> 30 - 50	+25 0	-25 -41	-9 -25	0 -16	±8	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34	+59 +43
> 50 - 65	+30 0	-30 -49	-10 -29	0 -19	±9,5	+21 +2	+30 +11	+39 +20	+51 +32	+60 +41	+72 +53
> 65 - 80										+62 +43	+78 +59
> 80-100	+35 0	-36 -58	-12 -34	0 -22	±11	+25 +3	+35 +13	+45 +23	+59 +37	+73 +51	+93 +71
> 100-120										+76 +54	+101 +79
> 120-140	+40 0	-43 -68	-14 -39	0 -25	±12,5	+28 +3	+40 +15	+52 +27	+68 +43	+88 +63	+117 +92
> 140-160										+90 +65	+125 +100
> 160-180										+93 +68	+133 +108
> 180-200	+46 0	-50 -79	-15 -44	0 -29	±14,5	+33 +4	+46 +17	+60 +31	+79 +50	+106 +77	+151 +122
> 200-225										+109 +80	+159 +130
> 225-250										+113 +84	+169 +140
> 250-280	+52 0	-56 -88	-17 -49	0 -32	±16	+36 +4	+52 +20	+66 +34	+88 +56	+126 +94	+190 +158
> 280-315										+130 +98	+202 +170
> 315-355	+57 0	-62 -98	-18 -54	0 -36	±18	+40 +4	+57 +21	+73 +37	+98 +62	+144 +108	+226 +190
> 355-400										+150 +114	+244 +208
> 400-450	+63 0	-68 -108	-20 -60	0 -40	±20	+45 +5	+63 +23	+80 +40	+108 +68	+166 +126	+272 +232
> 450-500										+172 +132	+292 +252

EK-4. (devam) Çizelge 4.2 H8 Geçme toleransı

Nominal ölçü mm olarak	H8	Boşluklu geçme				
		d9	e8	h9	f7	h7
≤ 3	+14 0	-20 -45	-14 -28	0 -25	-6 -16	0 -10
> 3 - 6	+18 0	-30 -60	-20 -38	0 -30	-10 -22	0 -12
> 6 - 10	+22 0	-40 -76	-25 -47	0 -36	-13 -28	0 -15
> 10 - 18	+27 0	-50 -93	-32 -59	0 -43	-16 -34	0 -18
> 18 - 30	+33 0	-65 -117	-40 -73	0 -52	-20 -41	0 -21
> 30 - 50	+39 0	-80 -142	-50 -89	0 -62	-25 -50	0 -25
> 50 - 65	+30 0	-100	-60	0	-30	0
> 65 - 80		-174	-106	-74	-60	-30
> 80-100	+35 0	-120	-72	0	-36	0
> 100-120		-207	-126	-87	-71	-35
> 120-140	+40 0	-145	-85	0	-43	0
> 140-160		-245	-148	-100	-83	-40
> 160-180						
> 180-200	+46 0	-170	-100	0	-50	0
> 200-225		-285	-172	-115	-96	-46
> 225-250						
> 250-280	+52 0	-190	-110	0	-56	0
> 280-315		-320	-191	-130	-108	-52
> 315-355	+57 0	-210	-125	0	-62	0
> 355-400		-350	-214	-140	-119	-57
> 400-450	+63 0	-230	-135	0	-68	0
> 450-500		-385	-232	-155	-131	-63

EK-4. (devam) Çizelge 4.3. h9 Geçme toleransı

Nominal ölçü mm olarak	h9	Boşluklu geçme					Ara geçme	
		H11	D10	E9	F8	H9	JS9	P9
≤ 3	0	+60	+60	+39	+20	+25	±12	-6
	-25	0	+20	+14	+6	0		-31
> 3 - 6	0	+75	+78	+50	+28	+30	±15	-12
	-30	0	+30	+20	+10	0		-42
> 6 - 10	0	+90	+98	+61	+35	+36	±18	-15
	-36	0	+40	+25	+13	0		-51
> 10 - 18	0	+110	+120	+75	+43	+43	±21	-18
	-43	0	+50	+32	+16	0		-61
> 18 - 30	0	+130	+149	+92	+53	+52	±26	-22
	-52	0	+65	+40	+20	0		-74
> 30 - 50	0	+160	+180	+112	+64	+62	±31	-26
	-62	0	+80	+50	+25	0		-88
> 50 - 65	0	+190	+220	+134	+76	+74	±37	-32
	-74	0	+100	+60	+30	0		-106
> 65 - 80	0	+220	+260	+159	+90	+87	±43	-37
	-87	0	+120	+72	+36	0		-124
> 80-100	0	+250	+305	+185	+106	+100	±50	-43
	-100	0	+145	+85	+43	0		-143
> 100-120	0	+290	+355	+215	+122	+115	±57	-50
	-115	0	+170	+100	+50	0		-165
> 120-140	0	+320	+400	+240	+137	+130	±65	-56
	-130	0	+190	+110	+56	0		-186
> 140-160	0	+360	+440	+265	+151	+140	±70	-62
	-140	0	+210	+125	+62	0		-202
> 160-180	0	+400	+480	+290	+165	+155	±77	-68
	-155	0	+230	+135	+68	0		-223

EK-4. (devam) Çizelge 4.4. h6 Geçme toleransı

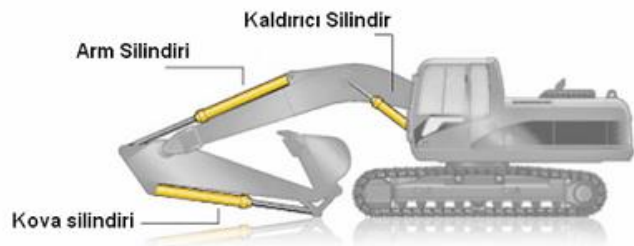
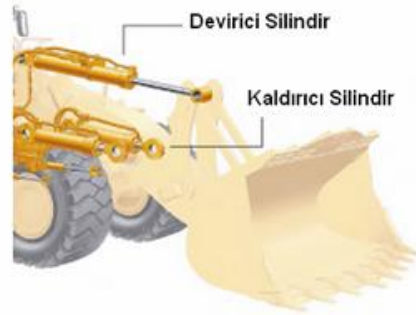
Nominal ölçü mm olarak	h6	Boşluklu geçme		Ara geçme			Sıkı
		G7	H7	JS7	K7	N7	P7
≤ 3	0 - 6	+ 12 + 2	+ 10 0	± 5	0 - 10	- 4 - 14	- 6 - 16
> 3 - 6	0 - 8	+ 16 + 4	+ 12 0	± 6	+ 3 - 9	- 4 - 16	- 8 - 20
> 6 - 10	0 - 9	+ 20 + 5	+ 15 0	± 7	+ 5 - 10	- 4 - 19	- 9 - 24
> 10 - 18	0 - 11	+ 24 + 6	+ 18 0	± 9	+ 6 - 12	- 5 - 23	- 11 - 29
> 18 - 30	0 - 13	+ 28 + 7	+ 21 0	± 10	+ 6 - 15	- 7 - 28	- 14 - 35
> 30 - 50	0 - 16	+ 34 + 9	+ 25 0	± 12	+ 7 - 18	- 8 - 33	- 17 - 42
> 50 - 65	0	+ 40	+ 30	± 15	+ 9 - 21	- 9 - 39	- 21 - 51
> 65 - 80	- 19	+ 10	0				
> 80-100	0	+ 47	+ 35	± 17	+ 10 - 25	- 10 - 45	- 24 - 59
> 100-120	- 22	+ 12	0				
> 120-140	0	+ 54	+ 40	± 20	+ 12 - 28	- 12 - 52	- 28 - 68
> 140-160	- 25	+ 14	0				
> 160-180							
> 180-200	0	+ 61	+ 46	± 23	+ 13 - 33	- 14 - 60	- 33 - 79
> 200-225	- 29	+ 15	0				
> 225-250							
> 250-280	0	+ 69	+ 52	± 26	+ 16 - 36	- 14 - 66	- 36 - 88
> 280-315	- 32	+ 17	0				
> 315-355	0	+ 75	+ 57	± 28	+ 17 - 40	- 16 - 73	- 41 - 98
> 355-400	- 36	+ 18	0				
> 400-450	0	+ 83	+ 63	± 31	+ 18 - 45	- 17 - 80	- 45 - 108
> 450-500	- 40	+ 20	0				



## EK-5. Endüstriyel hidrolik silindir örnekleri



Hidrolik Pres Hidrolik Silindiri



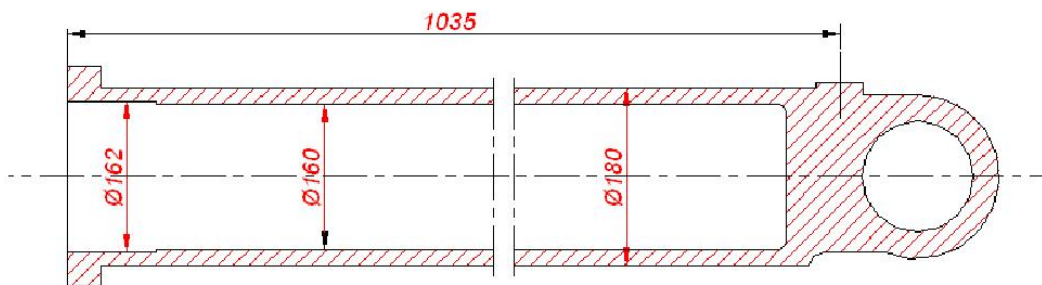
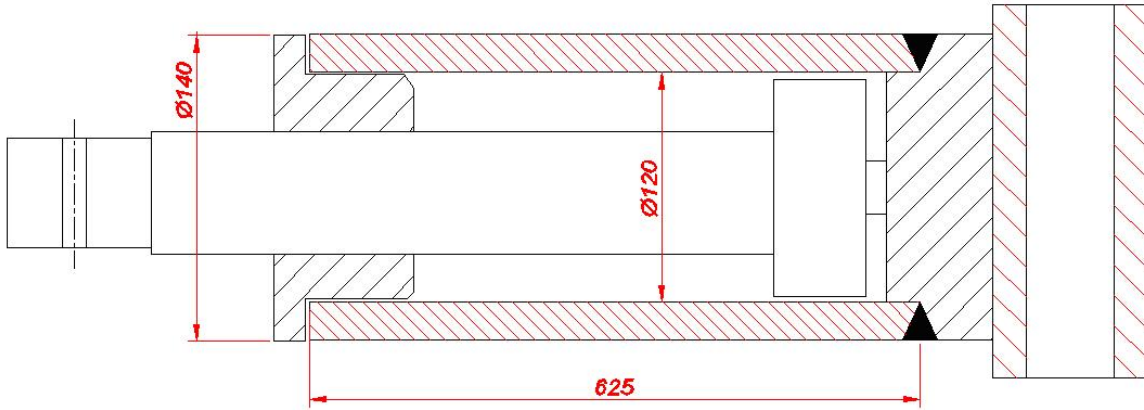
İş Makinaları Hidrolik Silindirleri



EK-6. İş makinası hidrolik silindiri örnekleri



EK-7. İşletmede üretilen değişik amaçlı hidrolik silindir örnekleri



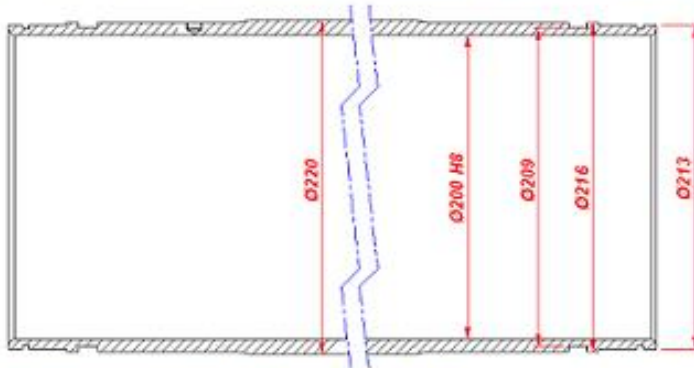
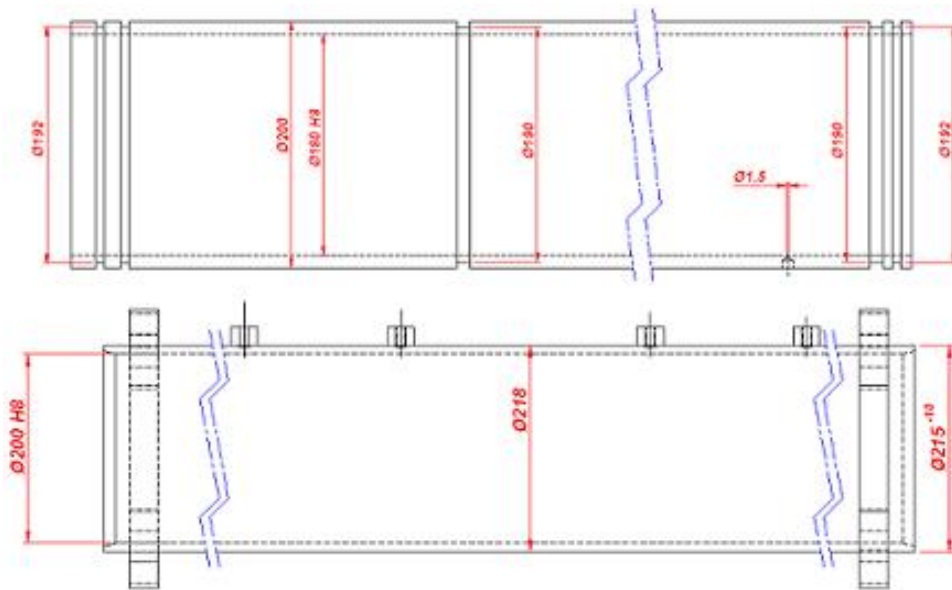
## EK-8. Çelik borularda uygulanan standartlar

Standartlar Standards	Konusu / Subject
DIN 1615	Özel kalite istekleri içermeyen dikişli alaşımsız çelik borular.
DIN 1626	Özel kalite istekleri içeren dikişli alaşımsız çelik borular.
DIN 1628	Çok yüksek kalite istekleri içeren dikişli alaşımsız çelik borular.
DIN 1629	Özel kalite istekleri içeren dikişsiz alaşımsız çelik borular.
DIN 1630	Çok yüksek kalite istekleri içeren dikişsiz alaşımsız çelik borular.
DIN 2391	Dikişsiz ve soğuk çekilmiş hassas borular.
DIN 2393	Dikişli ve soğuk çekilmiş hassas borular.
DIN 2394	Dikişli hassas borular.
DIN 2395	Genel kullanım amaçlı hassas profiller.
DIN 2440	Dikişli ve dikişsiz orta ağırlıkta dış açılmaya uygun borular.
DIN 2441	Özel kalite istekleri içermeyen dikişli alaşımsız çelik borular.
DIN 2442	Dikişli ve dikişsiz özel kalite, dişli manşonlu borular, anma basıncı 1-100 Atm.
DIN 2448	Dikişsiz çelik çekme boru ebad ve ağırlıkları.
DIN 2462	Dikişsiz paslanmaz çelik borular (Krom-nikel).
DIN 2463	Kaynaklı paslanmaz çelik borular.
DIN 2464	Dikişsiz hassas (prezisyon) paslanmaz çelik borular.
DIN 2465	Kaynaklı hassas (prezisyon) paslanmaz çelik borular.
DIN 17172	Petrol hattı boruları, yanıcı duman ve gaz nakil boruları için dikişsiz çelik çekme boru.
DIN 17173	Düşük sıcaklık tokluğuna sahip çeliklerden mamul yuvarlak dikişsiz borular.
DIN 17174	Düşük sıcaklık tokluğuna sahip çeliklerden mamul yuvarlak dikişli borular.
DIN 17175	Isıya dayanıklı dikişsiz çelik borular.
DIN 17177	Isıya dayanıklı dikişli çelik borular.
API 5L	Petrol hat (nakil) boruları.
API 5A	Sondaj ve muhafaza boruları (tunbing, casing).
API 5B	Hat sondaj ve muhafaza boruları.
BS 1387	Dikişsiz ve dikişli çelik borular, mekanik ve mühendislik uygulamaları için.
BS 1775	Dikişsiz çelik borular, mekanik ve mühendislik uygulamaları için.
BS 3059	Dikişsiz çelik borular, kazan ve kızdırıcı boruları.
BS 3601	Dikişsiz çelik borular, basınç ve genel kullanım amaçlı.
BS 3602	Dikişsiz çelik borular, basınç ve ağır şartlar için.
EN 10208-2	Yanıcı ve tutuşturucu malzeme transferinde kullanılan çelik çekme borular.
EN 10210	Sıcak hadde alaşımsız çelik çekme borular.
EN 10216-1/2/3/4	Basınçta kullanılan alaşımsız çelik çekme borular.
EN 10297-1	Mekanik ve mühendislik alanında kullanılan alaşımlı ve alaşımsız çelik borular.
ASTM A53	Dikişli ve dikişsiz borular.
ASTM A106	Yüksek sıcaklık, servis şartları için dikişsiz çelik borular.
ASTM A161	Düşük karbonlu ve molibdenli, rafinasyon tesisler için dikişsiz çelik çekme tasviye boruları.
ASTM A179	Soğuk çekme dikişsiz çelik boru, eşanjör, kondanser ve ısı boruları.
ASTM A192	Yüksek basınç şartları için karbonlu dikişsiz çelik çekme ve kazan boruları.
ASTM A209	Karbon-molibden alaşımlı dikişsiz çekme kazan ve kızdırıcı boruları.
ASTM A210	Orta karbonlu dikişsiz çelik çekme kazan ve kızdırıcı boruları.
ASTM A333	Dikişsiz ve dikişli çelik borular, düşük sıcaklık şartları için.
ASTM A450	Karbon, ferratik-alaşım ve östenitik, alaşımlı dikişsiz çelik çekme borular için genel şartlar (ASTM A161, A192, A209 ve A210).
ASTM A513-5	İç ve dışı berilri hassasiyette dikişli borular.
ASTM A513-6	İç yüzeyi çok temiz borular.
ASTM A519	Alaşımsız ve alaşımlı dikişsiz çelik çekme borular.
ASTM A520	Proses boruları tatbiki hususlar için ASTM A530 da söz konusudur.
ASTM A524	ISO şartlarına uygun kazan konstrüksiyonları için yüksek sıcaklık servis şartlarında çalışan adi karbonlu dikişsiz çelik çekme borulara ilişkin ilave şartlar (ASTM A106, A192, A210).
ASTM A530	Özel karbon ve alaşımlı çelik borular için genel şartlar (ASTM A106 ve A524).
TS 301	Dikişli veya dikişsiz dış açılabilir çelik borular.
TS 302	Dikişsiz hassas çelik borular.
TS 346	Genel maksatlar için dikişsiz çelik borular, bunlar boru donanımında cihaz ve depolarda kullanılan, sade karbonlu borular.
TS 381	Isı ve basınca dayanıklı dikişsiz çelik borular, bunlar 450 °C ısı ve yüksek basınç altında sıvı veya gaz nakleden borular.
TS 416	Genel amaçlı dikişli çelik borular.
TS 5317	Dikişli kare veya dikdörtgen kesitli borular.

## EK-9. Çelik boru standartları karşılaştırma tablosu

DIN Normu	Dayanım Sıcaklığı	Amerikan Standartı	Rus Standartı	Avrupa Standartı
	mm	ASTM / Grade	Grade / Gost	EN
DIN 1629	ST 37	A/SA 53 Gr A	8731 / 10 8733 / 10	P 195/235TR1 EN10216-1 EN10217-1
	ST 44	A/SA 53 Gr B	8731 / 20 8732 / 20	P 245/265TR1 EN10216-1 EN10217-1
	ST 52		5058 / 18 G 2	P 355N EN10216-3 EN10217-3
DIN 1630	ST 37,4			P 235TR2 EN10216-1 EN10217-1
	ST 44,4			P 265TR2 EN10216-1 EN10217-1
	ST 52,4			P 355N EN10216-3 EN10217-3
DIN 17175	ST 35,8	A/SA 106 Gr.A A/SA 179 Carbon A/SA 192 Steel A/SA 556 Gr.A 2	550 / 10	P235GH EN10216-2
	ST 45,8	A/SA 106 Gr.B A/SA 210 Gr.A 1 A/SA 556 Gr. B 2		P265GH EN10216-2
	17 Mn 4	A/SA 106 Gr.C A/SA 210 Gr.C A/SA 556 Gr.C 2		
	19 Mn 5			
DIN 17175	ST 35,8			
	ST 45,8		TU 14-3-460 / 20	
	17 Mn 4			
	19 Mn 5			
	15 Mo 3			
	13 Cr Mo 44	A/SA 199 } T11 A/SA 200 } T12 A/SA 213 } P11 A/SA 335 } P12**		13 Cr Mo4-5 EN10216/2
10 Cr Mo 9 10	A/SA 199 } T22 A/SA 200 } T22 A/SA 213 } T22 A/SA 335 } P22	TU 14-3-460/15Ch M	10 Cr Mo 9 10 EN10216/2	
14 Mo V 6 3				
DIN 17175	16 Mo 5	A/SA 161 } A/SA 209 } T1 A/SA 335 } P1		
	12 Cr 1 Mo V		TU 14-3-460/12 Ch 1 MF	

EK-10. İşletmede honlanan değişik amaçlı boru örnekleri



EK-11. İmalat aşamasındaki sevk silindiri örnekleri



EK-12. Montaj aşamasındaki sevk silindiri örnekleri

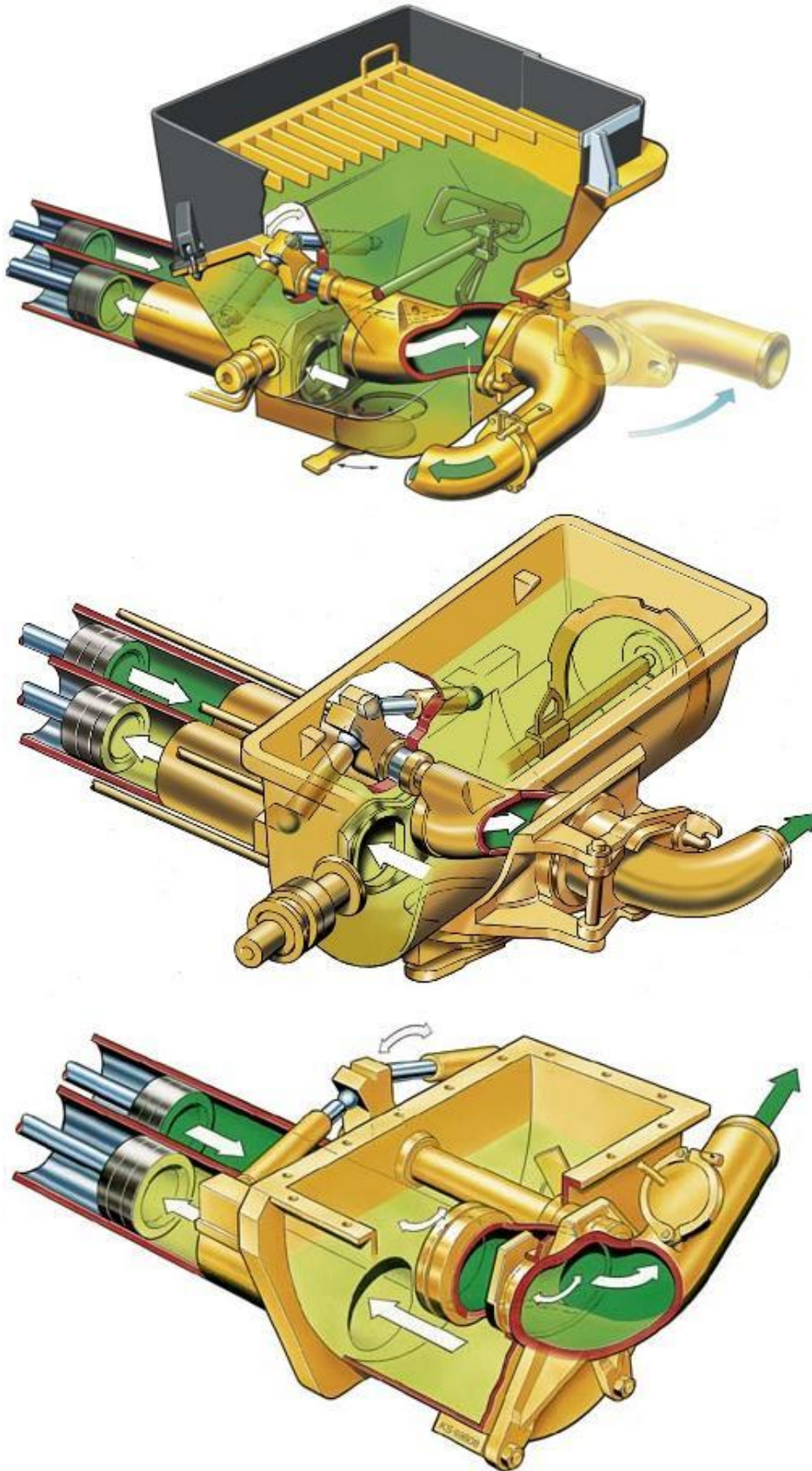




EK-13. Üretimi tamamlanmış beton pompaları



EK-14. Beton pompası çalışma prensibi



EK-15. Taguchi ortogonal dizi seçim çizelgesi

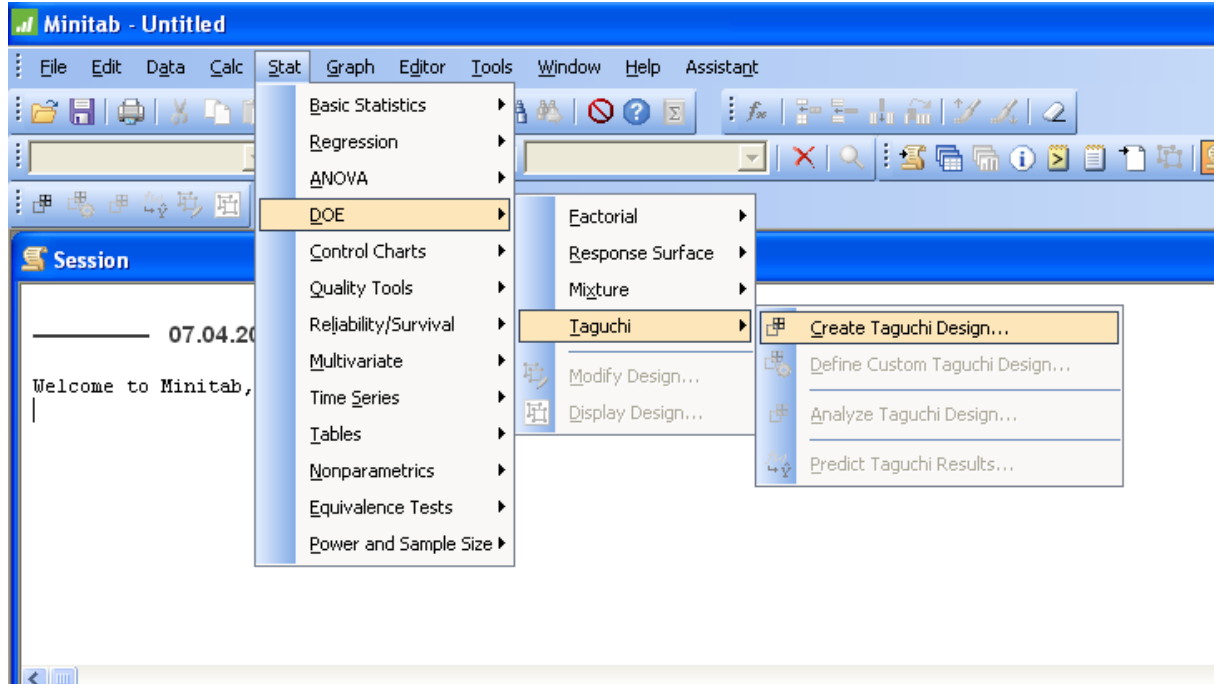
2			3			4			5		
P=2	S=2	L4	P=2	S=3	L9	P=2	S=4	L16	P=2	S=5	L25
P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=4		P=3	S=5	
P=4	S=2	L8	P=4	S=3	L18	P=4	S=4		P=4	S=5	
P=5	S=2		P=5	S=3		P=5	S=4	P=5	S=5		
P=6	S=2		P=6	S=3		P=6	S=4	P=6	S=5		
P=7	S=2	L11	P=7	S=3	L27	P=7	S=4	L32	P=7	S=5	L50
P=8	S=2		P=8	S=3		P=8	S=4		P=8	S=5	
P=9	S=2		P=9	S=3		P=9	S=4		P=9	S=5	
P=10	S=2	L16	P=10	S=3	L36	P=10	S=4	L32	P=10	S=5	L50
P=11	S=2		P=11	S=3		P=11	S=4		P=11	S=5	
P=12	S=2		P=12	S=3		P=12	S=4		P=12	S=5	
P=13	S=2	L16	P=13	S=3	L36			L32			L50
P=14	S=2		P=14	S=3							
P=15	S=2		P=15	S=3							
P=16	S=2	L32	P=16	S=3	L36			L32			L50
P=17	S=2		P=17	S=3							
P=18	S=2		P=18	S=3							
P=19	S=2	L32	P=19	S=3	L36			L32			L50
P=20	S=2		P=20	S=3							
P=21	S=2		P=21	S=3							
P=22	S=2	L32	P=22	S=3	L36			L32			L50
P=23	S=2		P=23	S=3							
P=24	S=2										
P=25	S=2	L32			L36			L32			L50
P=26	S=2										
P=27	S=2										
P=28	S=2	L32			L36			L32			L50
P=29	S=2										
P=30	S=2										
P=31	S=2	L32			L36			L32			L50

**P: Faktör sayısı**

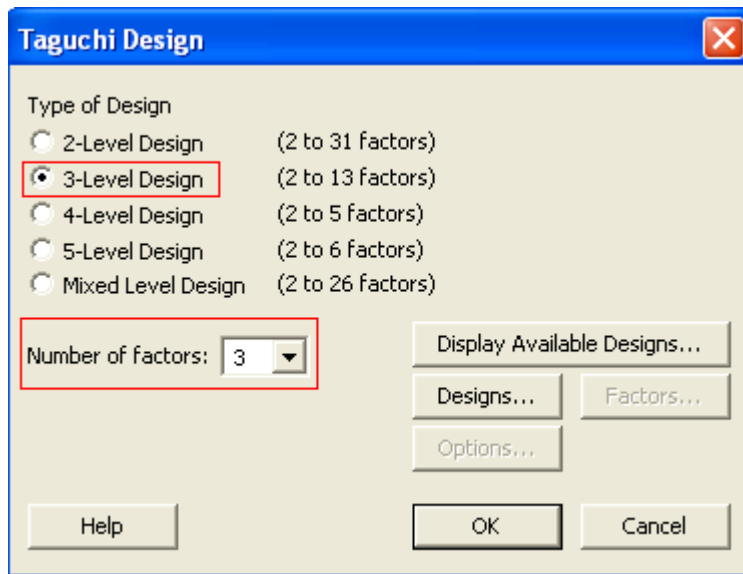
**S: Seviye sayısı**

## EK-16. MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları

MINITAB paket programı çalıştırılır. Açılan pencerede “Stat-DOE-Taguchi-Create Taguchi Design” sekmesi seçilir.

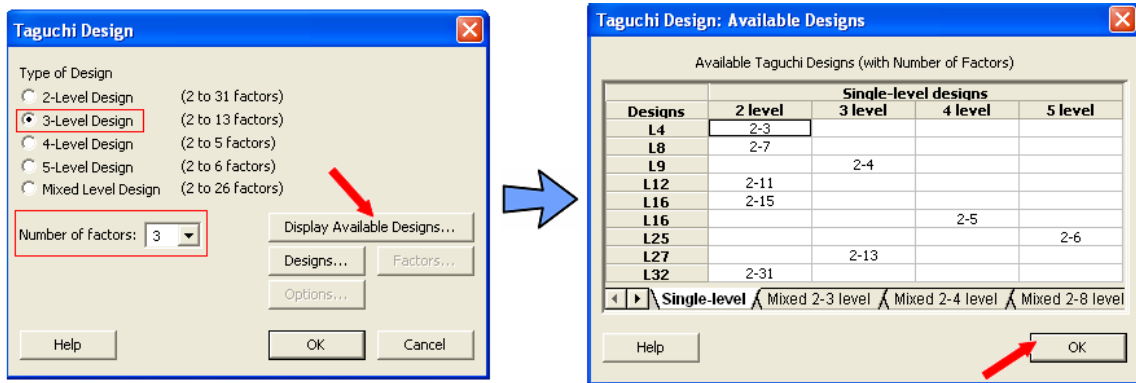


Açılan pencerede “3 faktör ve 3 seviye seçenekleri işaretlenir.”



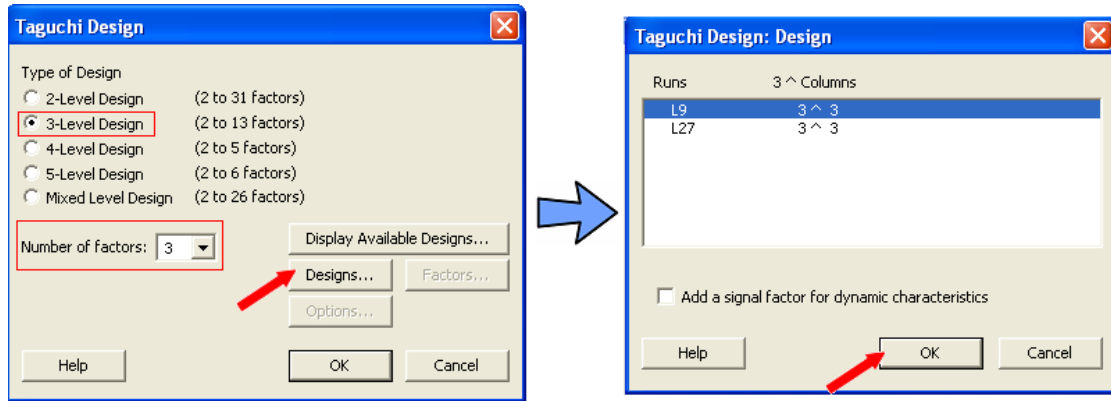
## EK-16. (devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları

Faktör ve seviyeler seçildikten sonra “Display Available Designs” sekmesi seçilir. Seçeneklerden uygun olanı tercih edilir. Bu tezde yapılacak analiz için açılan pencerede hiçbir değişiklik yapılmamıştır. “OK” sekmesi tıklanarak ilk pencereye geri dönülür.

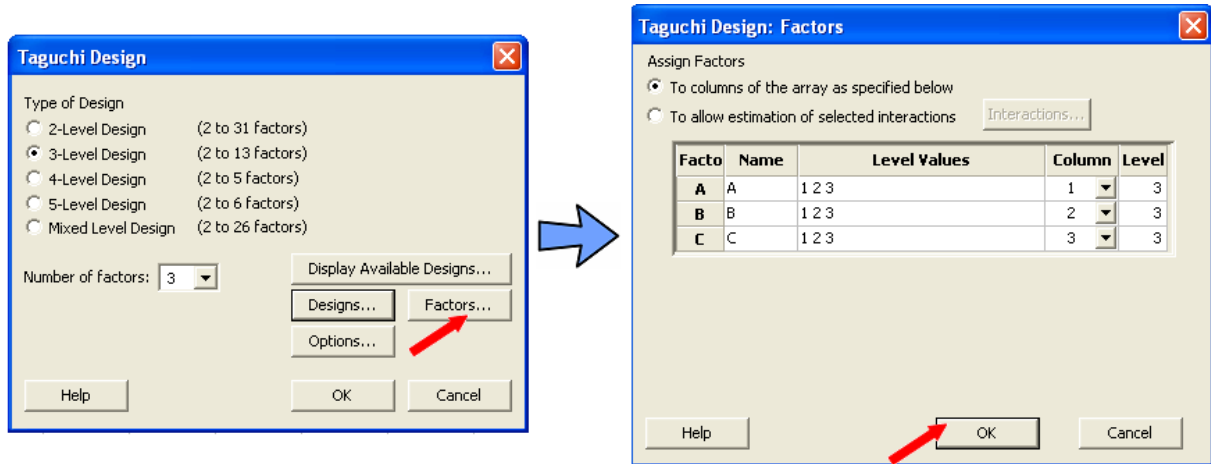


Aynı pencere “Designs” sekmesi işaretlenir. Açılan pencerede hangi deney tasarımının seçileceği işaretlenir. Bu tezde; zaman ve maliyeti düşük değerlerde tutabilmek ve ayrıca malzeme giderini/israfını minimuma indirebilme amacı ile L9 Taguchi Ortogonal Dizisinin seçilmesi kararlaştırılmıştır. L9 seçeneği seçilir ve OK sekmesine tıklanır. Böylece her biri 3’er kere tekrarlanan 9 deney ve sonrasında 3 adet doğrulama deneyi ile toplam 30 deney ile sonuca ulaşılabilecektir. Eğer L27 ortogonal dizisi seçilseydi her biri 3’er kere tekrarlanan 27 deney ve sonrasında 3 adet doğrulama deneyi ile toplam 84 adet deney yapılması gerekecekti. Bu durum ise malzeme ve işleme maliyetlerini çok ciddi oranda yükselteceği gibi deneylerin toplam yapılma zamanını da oldukça arttıracaktır.

## EK-16. (devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları

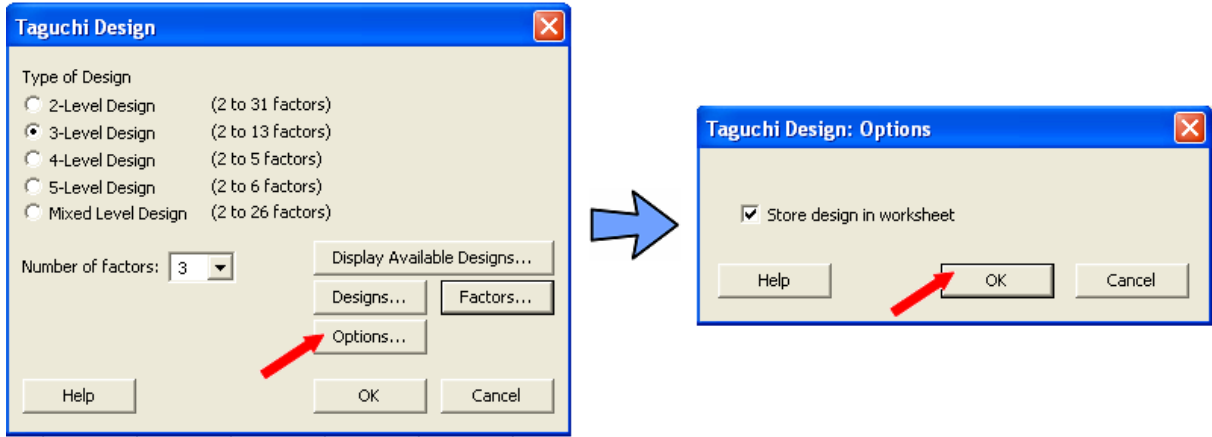


“Designs” sekmesinde yapılan işleminden ardından Factors ve Options sekmeleri aktif hale gelir. Bu aşamada “Factors” sekmesi tıklanır. Gerek görülen değişiklikler yapılır. Bu tezde bu sekme değişiklik yapılmadan kullanılmıştır. “OK” sekmesi tıklanır ve ilk pencereye dönülür.

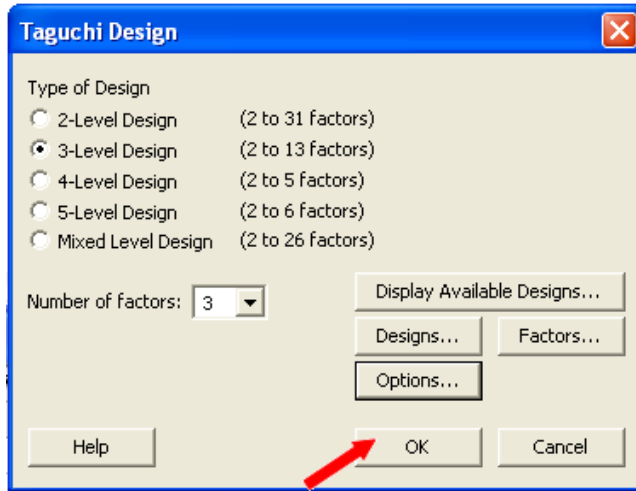


Bu aşamada “Options” sekmesi tıklanır. Gerek görülen değişiklikler yapılır. Bu tezde bu sekme değişiklik yapılmadan kullanılmıştır. “OK” sekmesi tıklanır ve ilk pencereye dönülür.

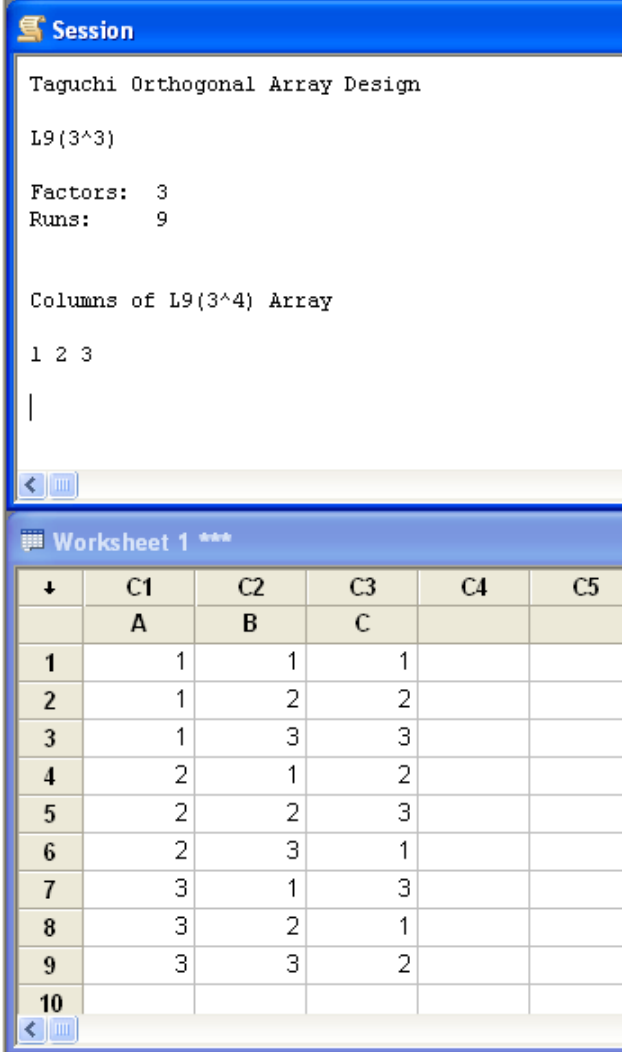
## EK-16. (devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları



Bütün seçimler yapıldıktan sonra “OK” sekmesi tıklanır ve program otomatik olarak L9 orthogonal dizisine ait kombinasyonu gösterir.



## EK-16. (devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları



The screenshot shows the Minitab software interface. The top window is titled "Session" and contains the following text:

```

Taguchi Orthogonal Array Design

L9(3^3)

Factors: 3
Runs: 9

Columns of L9(3^4) Array

1 2 3
|

```

The bottom window is titled "Worksheet 1 \*\*\*" and displays a table with 10 rows and 5 columns. The columns are labeled C1, C2, C3, C4, and C5. The first three columns are further labeled A, B, and C. The data in the table is as follows:

	C1	C2	C3	C4	C5
	A	B	C		
1	1	1	1		
2	1	2	2		
3	1	3	3		
4	2	1	2		
5	2	2	3		
6	2	3	1		
7	3	1	3		
8	3	2	1		
9	3	3	2		
10					

A, B, C değerleri yanına gerek görülürse faktör isimleri yazılır. Her bir 3'er defa yapılacağı ve dolayısıyla 3'er sonuç çıkacağı için L9 kombinasyonu kopyalanır. Kopyalanan hücreler 2 kere art arda alttaki hücrelere yapıştırılır.



## EK-16. (devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları

Session

Taguchi Orthogonal Array Design

L9(3<sup>3</sup>)

Factors: 3  
Runs: 9

Columns of L9(3<sup>4</sup>) Array

1 2 3

Worksheet 1 \*\*\*

	C1	C2	C3
	A-İlerleme Hızı	B-Takım Dönüş Hızı	C-Tane Büyüklüğü
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	1
5	2	2	2
6	2	3	3
7	3	1	1
8	3	2	2
9	3	3	3
10			

Context Menu:

- Undo typing "Y-Yüzey pürüzlülüğü" in R0 x C4 Ctrl+Z
- Redo Ctrl+Y
- Clear Cells Delete
- Delete Cells
- Copy Cells Ctrl+C
- Cut Cells Ctrl+X
- Paste Cells Ctrl+V
- Find... Ctrl+F
- Replace... Ctrl+H
- Format Column
- Column
- Formulas
- Insert Cells
- Insert Rows
- Insert Columns
- Move Columns...

	C1	C2	C3	C4	C5
	A-İlerleme Hızı	B-Takım Dönüş Hızı	C-Tane Büyüklüğü	Y-Yüzey pürüzlülüğü	
1	1	1	1		
2	1	2	2		
3	1	3	3		
4	2	1	1		
5	2	2	2		
6	2	3	3		
7	3	1	1		
8	3	2	2		
9	3	3	3		
10	1	1	1		
11	1	2	2		
12	1	3	3		
13	2	1	1		
14	2	2	2		
15	2	3	3		
16	3	1	1		
17	3	2	2		
18	3	3	3		
19	1	1	1		
20	1	2	2		
21	1	3	3		
22	2	1	1		
23	2	2	2		
24	2	3	3		
25	3	1	1		
26	3	2	2		
27	3	3	3		
28					

Deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri aşağıda görüldüğü gibi yeni açılan Y sütununa yazılır.

## EK-16. (devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları

	C1	C2	C3	C4	C5
	A-İlerleme Hızı	B-Takım Dönüş Hızı	C-Tane Büyüklüğü	Y-Yüzey Pürüzlülüğü	
1	1	1	1		1,61
2	1	2	2		1,59
3	1	3	3		1,90
4	2	1	2		1,48
5	2	2	3		1,68
6	2	3	1		1,50
7	3	1	3		2,27
8	3	2	1		1,55
9	3	3	2		1,66
10	1	1	1		1,62
11	1	2	2		1,78
12	1	3	3		2,15
13	2	1	2		1,85
14	2	2	3		1,82
15	2	3	1		1,59
16	3	1	3		2,03
17	3	2	1		1,64
18	3	3	2		1,53
19	1	1	1		1,63
20	1	2	2		1,62
21	1	3	3		2,02
22	2	1	2		1,58
23	2	2	3		1,86
24	2	3	1		1,60
25	3	1	3		2,01
26	3	2	1		1,66
27	3	3	2		1,54

Deney No	Taguchi Deney Tasarımı	Yüzey pürüzlülük değerleri		
		Deney Ölçüm Sonucu		
		Ra (µm)		
		1. SERİ DENEYLER	2. SERİ DENEYLER	3. SERİ DENEYLER
1	A1B1C1	1,61	1,62	1,63
2	A1B2C2	1,59	1,78	1,62
3	A1B3C3	1,90	2,15	2,02
4	A2B1C2	1,48	1,85	1,58
5	A2B2C3	1,68	1,82	1,86
6	A2B3C1	1,50	1,59	1,60
7	A3B1C3	2,27	2,03	2,01
8	A3B2C1	1,55	1,64	1,66
9	A3B3C2	1,66	1,53	1,54

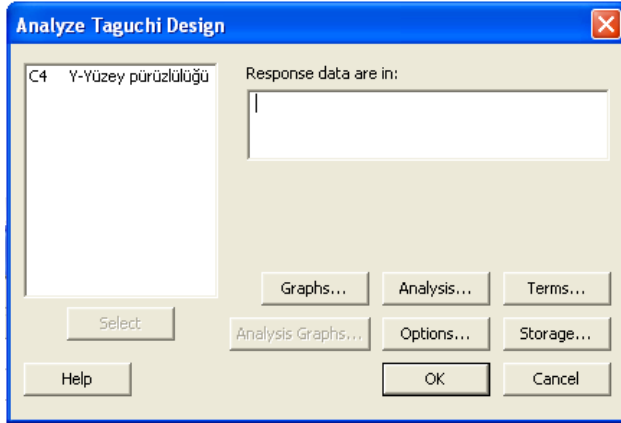
Ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri de programa girildikten sonra, “Stat-DOE-Taguchi-Analyze Taguchi Design” sekmesi seçilir ve analiz ayarlarına başlanır.

The screenshot shows the Minitab software interface. The 'Stat' menu is open, and the path 'DOE' > 'Taguchi' > 'Analyze Taguchi Design...' is selected. The 'Session' window shows the current design: 'Taguchi Orthogonal L9(3^3)'. The 'Worksheet 1' window shows the first four rows of the design matrix, corresponding to the first four rows of the table in the previous block.

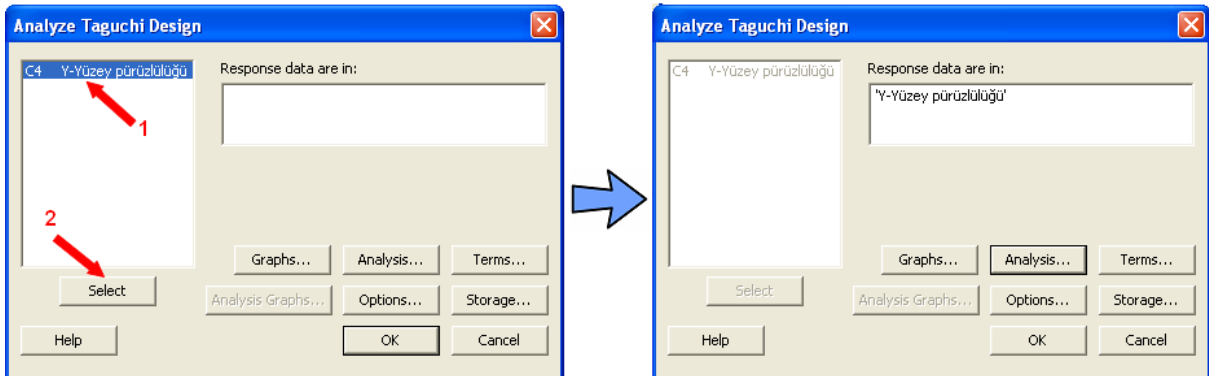
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	A-İlerleme Hızı	B-Takım Dönüş Hızı	C-Tane Büyüklüğü	Y-Yüzey pürüzlülüğü			
1	1	1	1	1,61			
2	1	2	2	1,59			
3	1	3	3	1,90			
4	2	1	2	1,48			

EK-16. (devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları

“Analyze Taguchi Design” sayfası açılır. Bu bölüm analiz ayarlarının yapılacağı bölümdür.

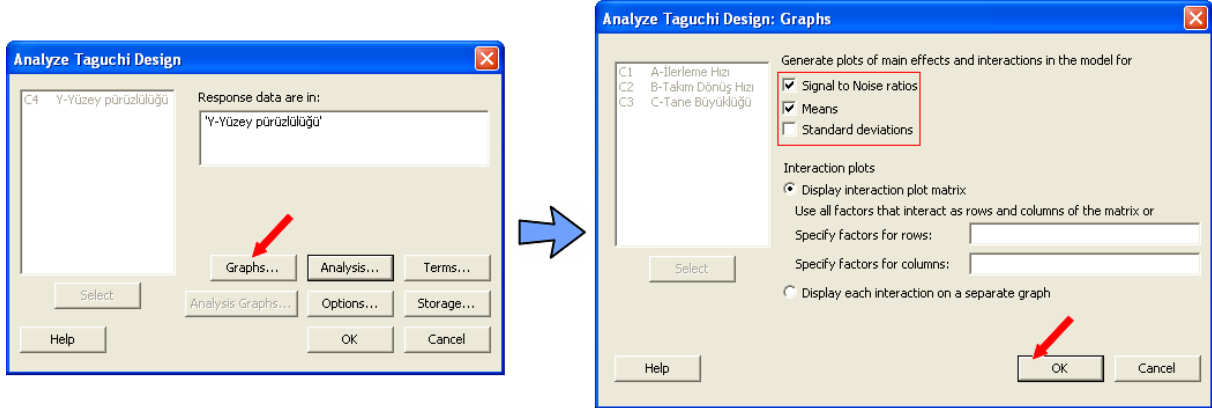


Cevap değerlerini gösteren sütun işaretlenir. “Select” sekmesi ile seçilir ve “Response data are in” kutusuna gönderilir.

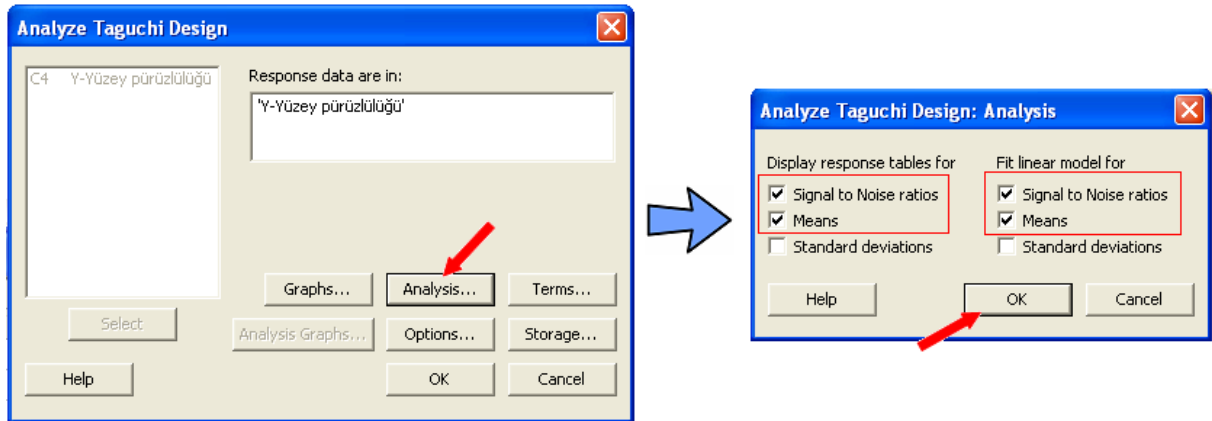


EK-16. (devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları

“Graphs” sekmesi tıklanır. Açılan pencerede aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi çerçeve içine alınmış seçimler yapılır. “OK” sekmesi tıklanır.

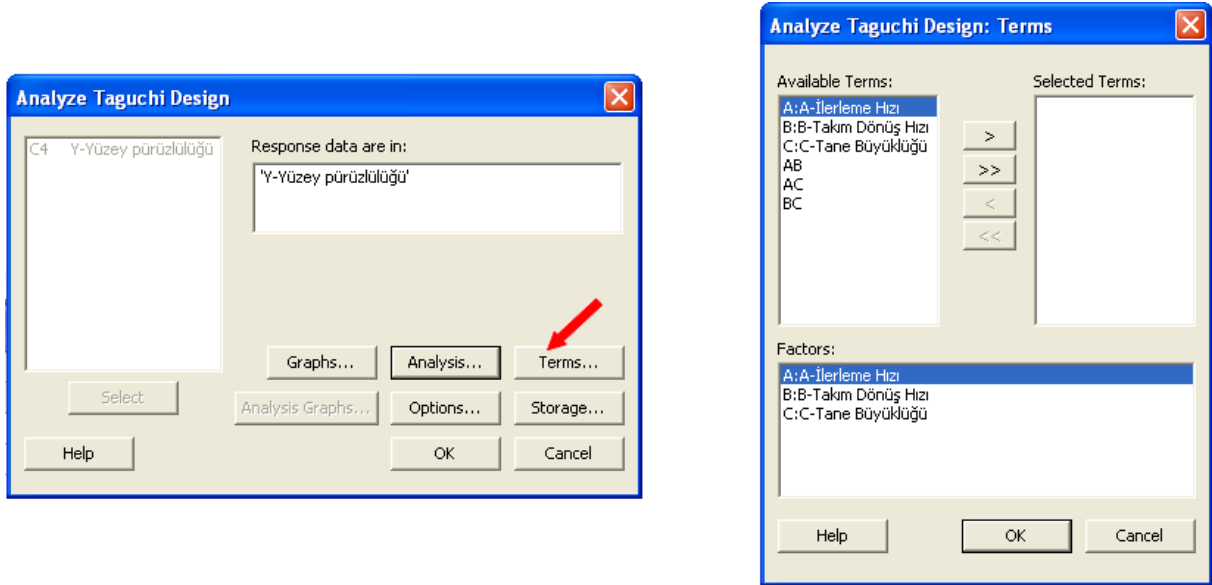


“Analysis” sekmesi tıklanır. Açılan pencerede aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi çerçeve içine alınmış seçimler yapılır. “OK” sekmesi tıklanır.

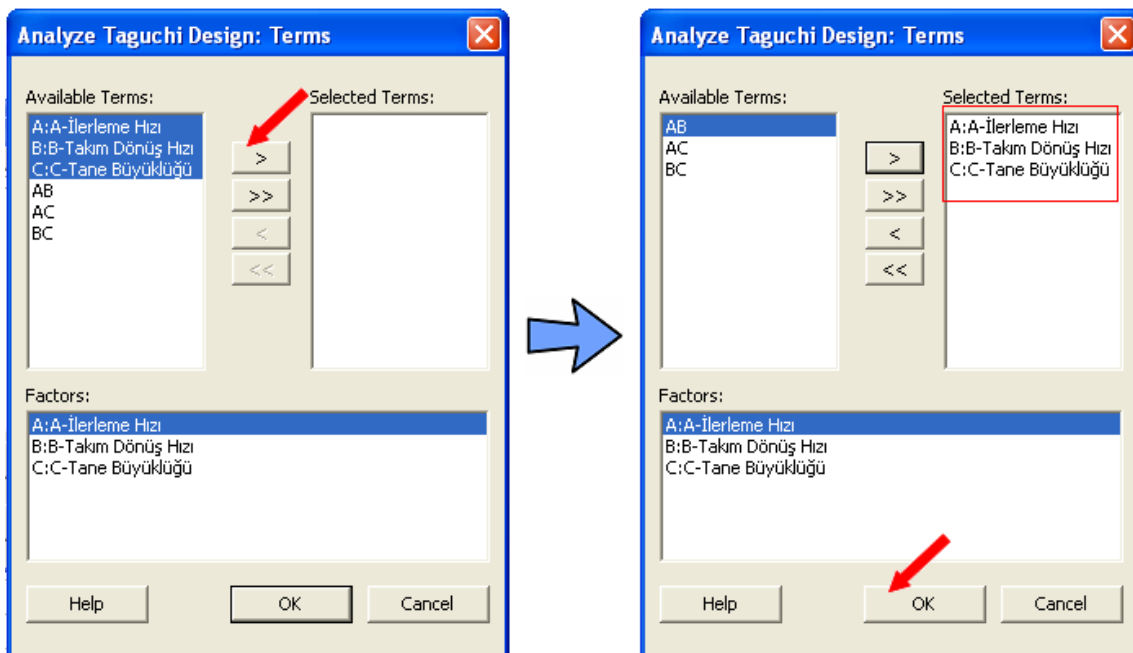


## EK-16. (devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları

“Terms” sekmesi tıklanır. Aşağıdaki şekilde görülen pencere açılır. Bu pencere, faktörleri seçmek içindir. Bu tezde uygulanacak olan deney tasarımında kullanılacak faktörler; ilerleme hızı, takım dönüş hızı ve tane büyüklüğüdür.

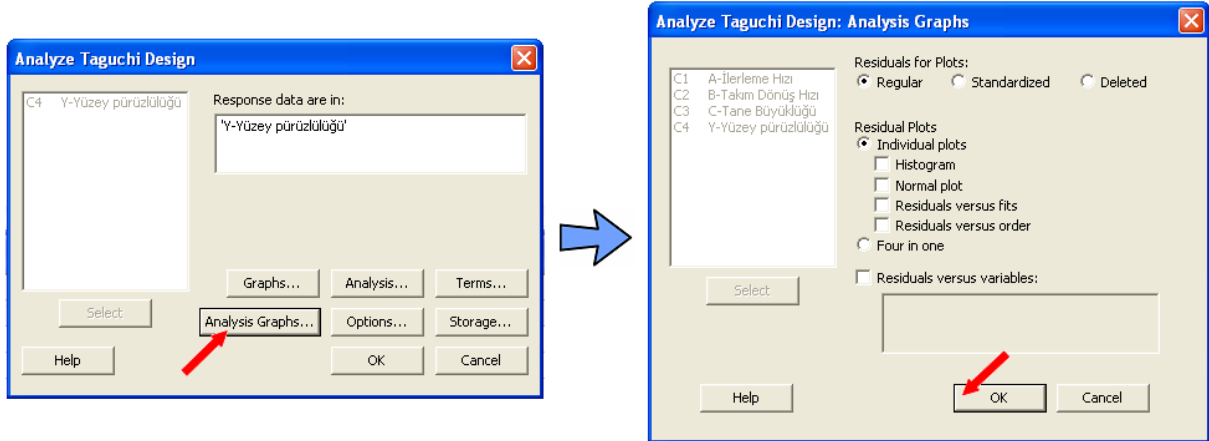


Tezde kullanılacak olan faktörler “Ctrl” tuşuna basılı tutularak tek tek seçilir. Daha sonra aşağıda şekilde görülen “<” işaretine tıklanır. Seçilen tüm faktörler “Selected Terms” bölümüne geçirilmiş olur. “OK” sekmesi tıklanır.

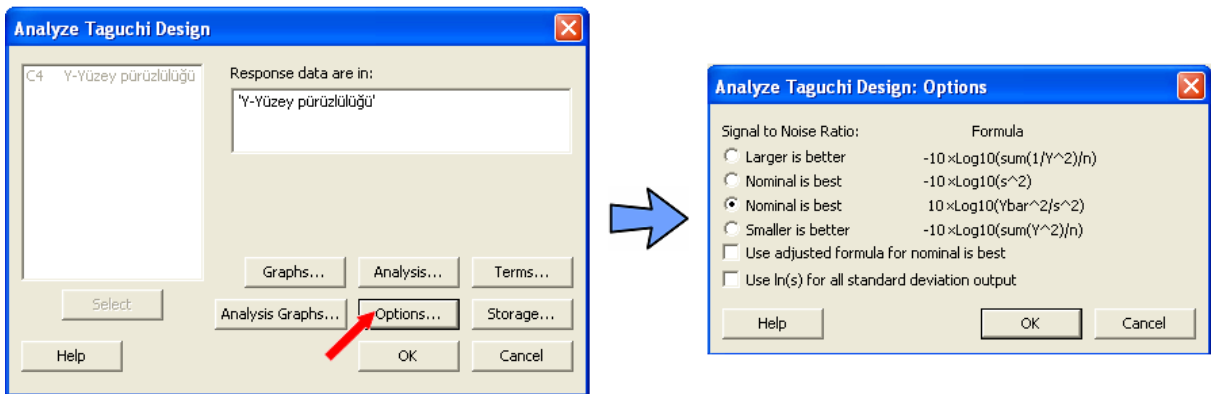


## EK-16. (devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları

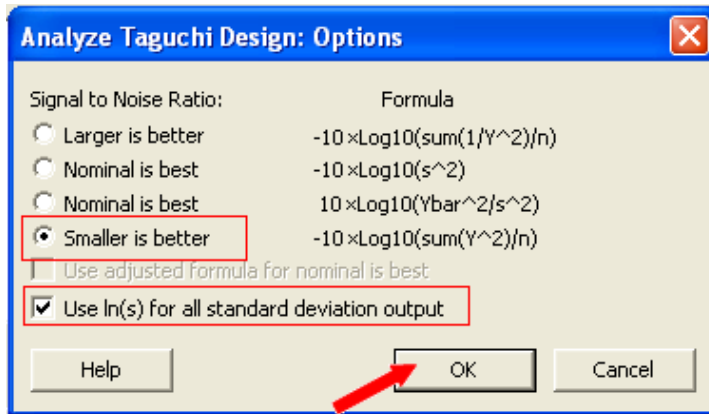
“Analysis Graphs” sekmesi tıklanır. Açılan sayfada istekleri karşılayan seçenekler işaretlenir. “OK” sekmesi tıklanır. Bu tezde programda default olarak tanımlanan seçenekler yeterlidir. Dolayısıyla “OK” sekmesi tıklanır ve sonraki işleme geçilir.



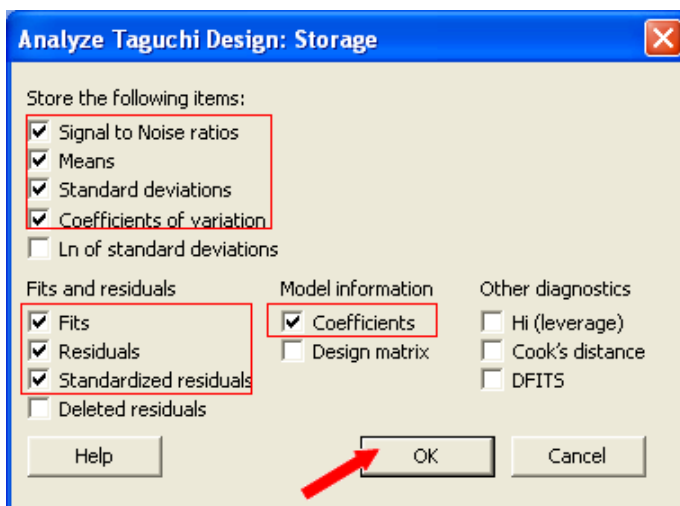
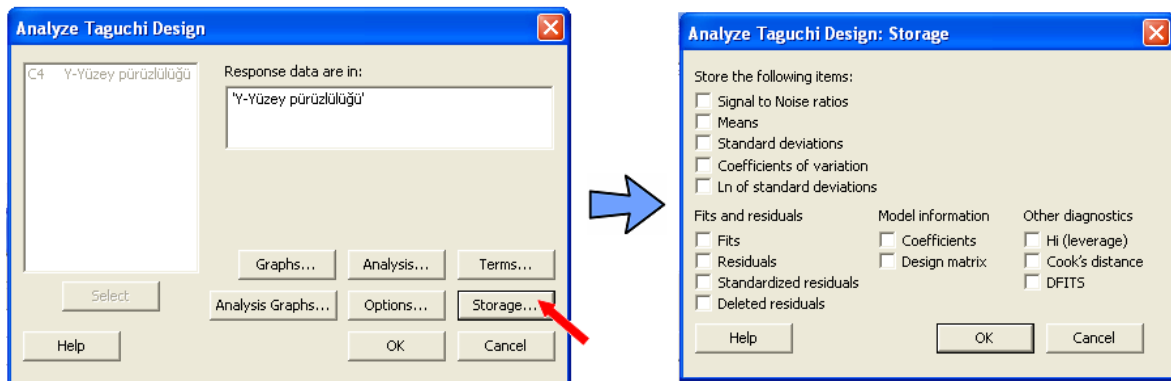
“Options” sekmesi tıklanır. Bu sekme açılan pencere çok önemlidir. Çünkü burada programın analizi hangi duruma göre yapacağı seçilir. Bu tezde “Smaller is beter” durumu uygundur. Çünkü bu tezde yüzey pürüzlülük değeri optimize edilecektir. Yüzey pürüzlülük değeri için en iyi durum en düşük pürüzlülük değerinin olduğu durumdur. Gerekli seçim yapıldıktan sonra “OK” sekmesi tıklanır.



## EK-16.(devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları

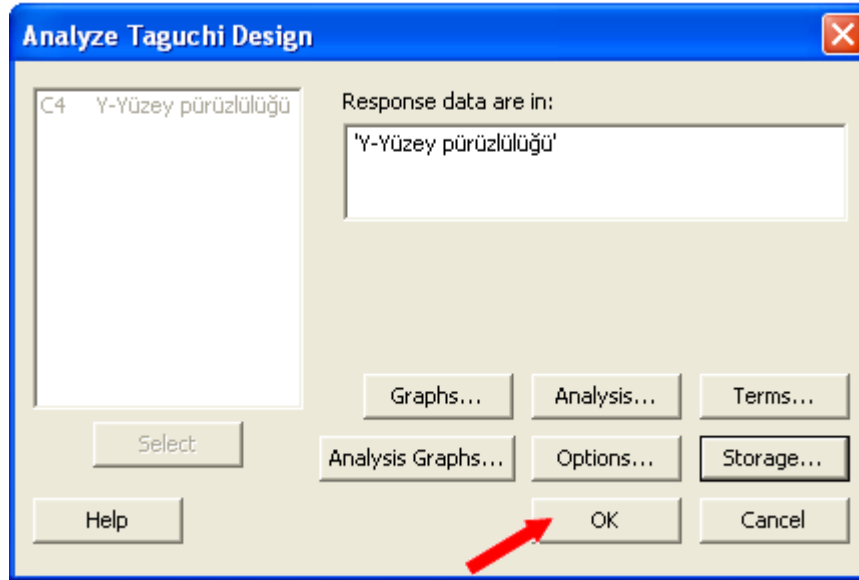


“Storage” sekmesi tıklanır. Burada programdan hangi analizleri yapmasını istediğimizi belirleriz. Bu tezde kullanılacak olan seçimler aşağıdaki pencerede çerçeve içine açılan seçeneklerdir. Gerekli seçimler yapıldıktan sonra “OK” sekmesi tıklanır.

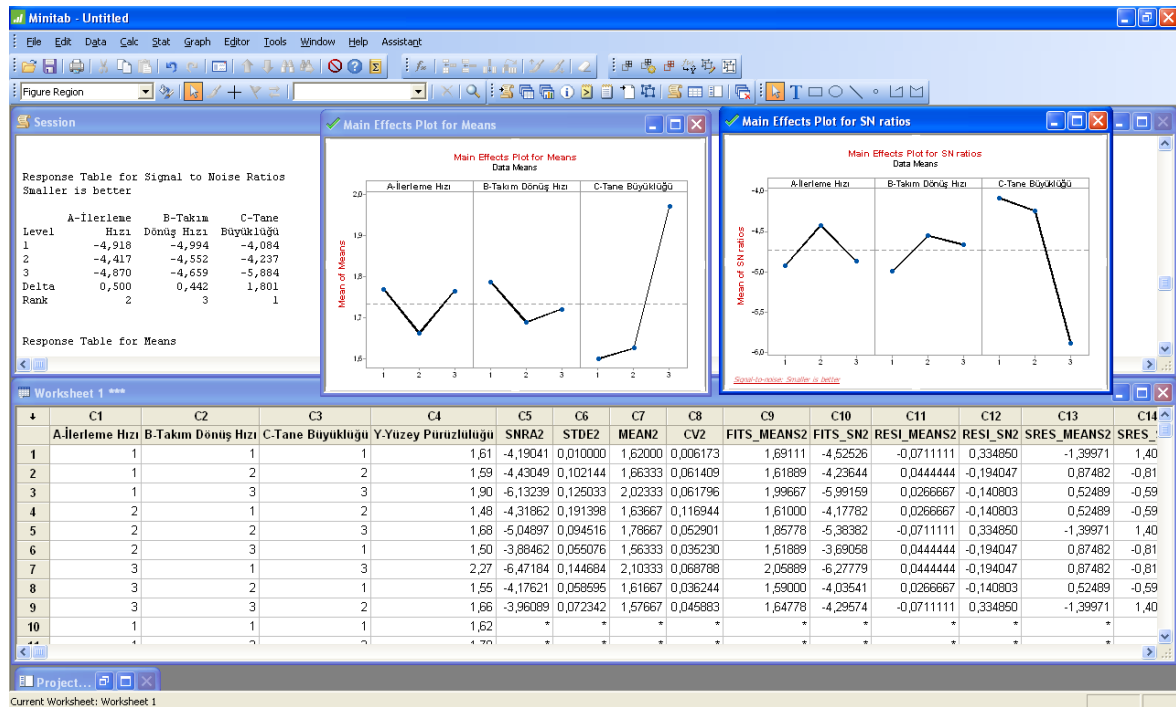


## EK-16. (devam) MINITAB paket programı ile istatistiksel analiz aşamaları

Tüm seçimler ve onaylar yapıldıktan sonra “OK” sekmesi tıklanır.



“OK” sekmesi tıklandıktan sonra aşağıdaki gibi benzer sonuç sayfası gelir. Grafikler, S/N oranları ve istenilen diğer istatistik veriler burada bulunmaktadır.





## EK-17. MINITAB paket programı analiz çıktıları

### Taguchi Analysis: Y-Yüzey Pürüzlül versus A-İlerleme Hızı; B-Takım Dönüş Hızı; C-Tane Büyüklüğü

### Linear Model Analysis: SN ratios versus A-İlerleme Hızı; B-Takım Dönüş Hızı; C-Tane Büyüklüğü

Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-4,7349	0,1681	-28,163	0,001
A-İlerle 1	-0,1828	0,2378	-0,769	0,522
A-İlerle 2	0,3175	0,2378	1,335	0,313
B-Takım 1	-0,2587	0,2378	-1,088	0,390
B-Takım 2	0,1830	0,2378	0,770	0,522
C-Tane B 1	0,6512	0,2378	2,739	0,111
C-Tane B 2	0,4983	0,2378	2,096	0,171

S = 0,5044 R-Sq = 93,0% R-Sq(adj) = 72,0%

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A-İlerleme Hızı	2	0,4572	0,4572	0,2286	0,90	0,527
B-Takım Dönüş Hızı	2	0,3184	0,3184	0,1592	0,63	0,615
C-Tane Büyüklüğü	2	5,9807	5,9807	2,9904	11,75	0,078
Residual Error	2	0,5088	0,5088	0,2544		
Total	8	7,2652				

### Linear Model Analysis: Means versus A-İlerleme Hızı; B-Takım Dönüş Hızı; C-Tane Büyüklüğü

Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,73222	0,03592	48,219	0,000
A-İlerle 1	0,03667	0,05080	0,722	0,545
A-İlerle 2	-0,07000	0,05080	-1,378	0,302
B-Takım 1	0,05444	0,05080	1,072	0,396
B-Takım 2	-0,04333	0,05080	-0,853	0,484
C-Tane B 1	-0,13222	0,05080	-2,603	0,121
C-Tane B 2	-0,10667	0,05080	-2,100	0,171

S = 0,1078 R-Sq = 92,7% R-Sq(adj) = 70,8%

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A-İlerleme Hızı	2	0,02207	0,02207	0,011033	0,95	0,513
B-Takım Dönüş Hızı	2	0,01490	0,01490	0,007448	0,64	0,609
C-Tane Büyüklüğü	2	0,25779	0,25779	0,128893	11,10	0,083
Residual Error	2	0,02323	0,02323	0,011615		
Total	8	0,31798				

## EK-17. (devam) MINITAB paket programı analiz çıktıları

Response Table for Signal to Noise Ratios  
Smaller is better

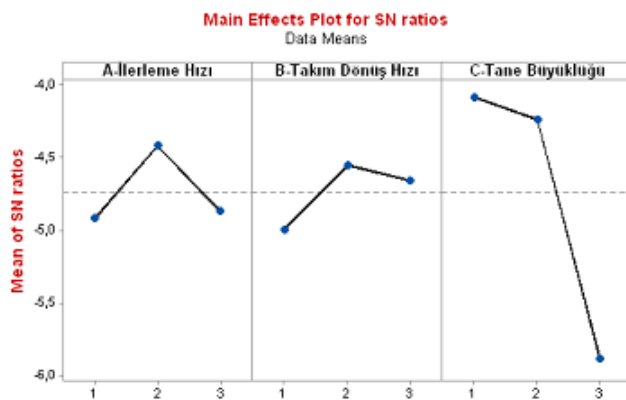
	A-İlerleme	B-Takım	C-Tane
Level	Hızı	Dönüş Hızı	Büyüklüğü
1	-4,918	-4,994	-4,084
2	-4,417	-4,552	-4,237
3	-4,870	-4,659	-5,884
Delta	0,500	0,442	1,801
Rank	2	3	1

Response Table for Means

	A-İlerleme	B-Takım	C-Tane
Level	Hızı	Dönüş Hızı	Büyüklüğü
1	1,769	1,787	1,600
2	1,662	1,689	1,626
3	1,766	1,721	1,971
Delta	0,107	0,098	0,371
Rank	2	3	1

### Main Effects Plot for Means

### Main Effects Plot for SN ratios



Signal-to-noise: Smaller is better



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜNEŞ, Serkan  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 05.03.1979 Zonguldak  
Medeni hali : Bekâr  
Telefon : 0 (542) 785 54 53  
e-mail : srkngnes@hotmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makina Müh.	Devam Ediyor
Lisans	Selçuk Üniversitesi/ Makina Müh.	2002
Lise	Kdz. Ereğli Süper Lisesi	1998

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-Devam	ANSA Hidrolik	Ar-Ge Sorumlusu

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

-



**GAZİ GELECEKTİR...**