

TAGUCHİ METODU YARDIMIYLA, GS 24Mn5 N
MALZEMENİN FREZLEME OPERASYONUNDA,
İŞLEME PARAMETRELERİNİN YÜZEY
KALİTESİNE ETKİSİNİN OPTİMİZASYONU

VEYSEL KARA

MERSİN ÜNİVERSİTESİ FEN
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Doç. Dr. İbrahim SEVİM

MERSİN
OCAK – 2012

Veysel KARA tarafından Doç. Dr. İbrahim SEVİM danışmanlığında hazırlanan “Taguchi Metodu Yardımıyla, GS 24Mn5 N Malzemenin Frezeleme Operasyonunda, İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Optimizasyonu ” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Ahmet BALDAN

Doç. Dr. İbrahim SEVİM

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin MUTLU



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 06./06./2012 tarih ve 2012.07./253 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. A. Mural GİZİR
Enstitü Müdürü



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince değerli yardım ve katkılarıyla bana rehberlik eden yüksek lisans tez danışmanım Doç Dr. İbrahim SEVİM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım için teknik desteğini esirgemeyen Çimsataş Ailesine ve özellikle sevgili arkadaşım Mak. Yük. Müh. Evren KABAKLI'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmalarım süresince manevi desteklerini esirgemeyen ve sabır gösteren çok değerli ailem; Eşim Yasemin KARA'ya, oğlum İrfan Eren KARA'ya ve kızım Elif Yaren KARA'ya teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. FREZELEME.....	3
2.1.1. Frezede Kullanılan kesici Takımlar.....	6
2.1.2. Frezelemede Kesme Parametreleri.....	7
2.1.2.1. Kesme hızı.....	7
2.1.2.2. İlerleme hızı.....	8
2.1.2.3. Talaş derinliği.....	9
2.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	9
2.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü.....	9
2.2.1.1. Pürüzlülük veya kabalık.....	10
2.2.1.2. Dalgalık.....	10
2.2.1.3. Hatalar.....	11
2.2.1.4. Bitirme Yüzeyi.....	11
2.2.2. Yüzey Kalitesinin Sayısal Olarak Değerlendirilmesi.....	11
2.2.2.1. Ortalama çizgi (M) sistemi.....	11
2.2.2.2. Zarf (E) sistemi.....	12
2.2.3. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri.....	13
2.2.3.1. Örnekleme uzunluğu (ln) ve örnekleme sayısı (n).....	13
2.2.3.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra).....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. MALZEME.....	15
3.1.1. İş Parçası (Deney Numunesi).....	15

3.2. TAGUCHİ METODU.....	16
3.2.1. Sistem tasarımı.....	16
3.2.2. Parametre tasarımı.....	17
3.2.3. Tolerans tasarımı.....	17
3.2.4. Kayıp Fonksiyonu.....	17
3.2.5. Taguchi'nin Üretim/Kalite Sistemi ve Deney Tasarımı.....	18
3.2.6. Taguchi'nin Sinyal Gürültü Oranları.....	19
3.2.7. Robust Tasarım.....	20
3.2.8. Değerlendirilecek Faktör Etkileşimlerinin Seçimi.....	20
3.2.9. Faktör Düzeylerinin Seçilmesi.....	21
3.2.10. Uygun Ortogonal Dizin Seçilmesi.....	21
3.2.11. Deney Faktörleri ve Seviyeleri.....	22
3.3. KESİCİ TAKIMLAR.....	24
3.4. TEZGAH.....	24
3.5. ÖLÇÜM CİHAZI.....	25
3.6. VARYANS (ANOVA) ANALİZİ.....	28
3.7. DOĞRULAMA DENEYLERİNİN YAPILMASI.....	31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	32
4.1. ÖRNEK S/N HESAPLAMA.....	35
4.2. DOĞRULAMA DENEYİNİN YAPILMASI.....	37
4.3. EN İYİ SEÇİMİN TAHMİN HESAPLARI.....	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	41
5.1. SONUÇ.....	41
5.2. ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR.....	43
EKLER.....	46
Ek-1 : F Dağılımı Tablosu ($\alpha=0,05$).....	46
ÖZGEÇMİŞ	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1.	GS 24Mn5 N Malzemenin Kimyasal Bileşimi.....	15
Çizelge 3.2.	GS 24Mn5 N Malzemenin Mekanik Özellikleri.....	15
Çizelge 3.3.	L ₉ (3 ⁴) Ortogonal Dizin.....	22
Çizelge 3.4.	Deney Faktörleri ve Seviyeleri.....	23
Çizelge 3.5.	Deney Faktörleri ve Seviyelerinin L ₉ Ortogonal Dizine Yerleştirilmesi.....	23
Çizelge 3.6.	Deney Faktörleri ve L ₉ Ortogonal Dizin.....	23
Çizelge 3.7.	Taguchiyönteminin uygulanmasında izlenecek sistematik yaklaşımın akış şeması.....	27
Çizelge 4.1.	Deney Faktörleri ve L ₉ Ortogonal Dizin.....	32
Çizelge 4.2.	Ortalama Ra ve S/N Sonuçları Tablosu.....	32
Çizelge 4.3.	Her deney için S/N oranları ve ortalama Ra Tablosu.....	35
Çizelge 4.4.	Yüze Pürüzlülüğü S/N Oranı.....	35
Çizelge 4.5.	ANOVA Varyans Analizi Sonuçları.....	36
Çizelge 4.6.	Yüze Pürüzlülüğü Ra Değerlerine Göre Seçilen Faktörlerin Optimum Seviyeleri.....	37
Çizelge 4.7.	Doğrulama Deney Sonuçları.....	38
Çizelge 4.8.	Doğrulama Deneyi Sonucunda Elde Edilen Ra Değeri.....	38
Çizelge 4.9.	Tahmin Hesabı Sonucunda Elde Edilen Tahmini Ra Değeri.....	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Frezeleme Metotları ve Freze Çakıları.....	5
Şekil 2.2. a) Aynı yönlü kesme b) Zıt yönlü kesme	6
Şekil 2.3. Kesici takım tipleri.....	7
Şekil 2.4. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterimi ve yüzey profili.....	10
Şekil 2.5. Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi.....	12
Şekil 2.6. Zarf eğrisinin elde edilişi.....	12
Şekil 2.7. Ortalama zarf eğrisi.....	13
Şekil 2.8. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu.....	14
Şekil 2.9. Ortalama yüzey pürüzlülüğü.....	14
Şekil 3.1. Deney Parçası.....	15
Şekil 3.2. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu.....	18
Şekil 3.3. Freze takımı ve uçlar	24
Şekil 3.4. OKUMA MA-500HB Space Center; Yatay CNC İşleme Merkezi.....	24
Şekil 3.5. Frezeleme Operasyonu.....	25
Şekil 3.6. Mitutoyo SJ-201 Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı.....	25
Şekil 3.7. Mitutoyo SJ-201 Ölçme cihazı ilerleme şekli.....	26
Şekil 3.8. Yüzey Pürüzlülüğü Cihazı ile Ölçüm Yapılması.....	26
Şekil 4.1. Kesme hızı, İlerleme, Talaş Derinliği ve Takım Diş Sayısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkileri ve S/N Oranları	37

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

V_c	:	Kesme hızı
n	:	Devir sayısı
D	:	Freze takımının çapı
V_f	:	İlerleme hızı
f_z	:	Diş başına ilerleme
z	:	Kesici uç sayısı
f	:	Devir başına ilerleme
S	:	Sinyal
N	:	Gürültü
S/N	:	Sinyal/Gürültü oranı
R_a	:	Ortalama yüzey pürüzlülüğü

1. GİRİŞ

Farklı talaşlı imal usulleri kullanılarak yapılan yüzey işlemleri doğrudan veya dolaylı olarak işleme parametrelerinden etkilenmektedir. İyi seçilmeyen işleme parametreleri kesici takımların kırılması, hızlı aşınması gibi ekonomik kayıpların yanı sıra iş parçasının bozulması veya yüzey kalitesinin düşüklüğü gibi ekonomik kayıplara da neden olmaktadır. Her işleme tekniğinin doğrudan veya dolaylı olarak etkilendiği işleme parametreleri vardır. Bu parametrelerin işleme sırasında her birinin ayrı ayrı etkilerinin yanı sıra, birbiriyle de etkileşimi söz konusudur. Eğer bu parametrelerin ilişkileri iyi bilinmez ve büyüklükleri doğru seçilmezse, yapılacak işlemin sonucu önceden tahmin edilemeyecektir. El yordamına ve göz kararına bırakılacak parametre seçimi, bir önceki ve bir sonraki işleme göre aynı değerde olmayacağından, genellikle farklı sonuçlar elde edilecektir. Bu durum ise; çözülmesi gereken bir problem olarak ortaya çıkmaktadır [1]. Tornalama işleminde olduğu gibi verimli bir frezeleme işlemine etki eden en önemli faktörler; kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğidir. Kesici çok düşük hızda çalıştırılırsa çok zaman kaybolurken yüksek hızda çabuk aşınmadan dolayı çakının yeniden bilenmesi ve takılması da zaman kaybına yol açar. Bu şartlarda kesilen malzemeler için uygun kesme hızının seçimi gereklidir. Buna ilaveten, ilerleme miktarı da önemli olup, iş parçası çok yavaş ilerlerse frezeleme işlemi çok geç bitecek, kesici atlaması oluşacak ve çakının ömrü azalabilecektir. İş parçası çok hızlı ilerlerse çakı kırılabilir veya yeterli talaş derinliği verilmezse işlemi tamamlamak için birkaç paso gerekecek, bu da daha çok zaman kaybettirecektir. Kesici diş sayısı arttıkça uçlar arası seviye farkından oluşabilecek yük dağılımları dengeli kesmeyi mümkün kılmayacaktır. Bu nedenle kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesici takım diş sayısı her frezeleme işleminde dikkate alınması gereken en önemli dört faktördür [2].

Frezeleme, birçok uygulamalar için yaygın olarak kullanılan önemli talaş kaldırma işlemidir. Talaş kaldırmada asıl amaç; en düşük maliyetle en yüksek üretim miktarını maksimum takım ömrü ile elde etmektir. Bunu yaparken yüzey kalitesini muhafaza etmek için talaş kaldırmaya etki eden kesme şartlarının, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini analiz etmek gerekir. Optimum kesme şartlarının seçimi ekonomik fayda sağlamada önemli bir faktördür [3]. İşleme problemlerinde optimizasyon analizinin esas gayesi optimum kesme parametrelerini

seçmektir. Sonuçta seçilen parametre kombinasyonu, en düşük maliyet, en yüksek üretim miktarı veya kar oranı için optimum olacaktır. Talaş kaldırmada ortak problemler ince kesitli parçaların işlenmesi, kesici takımların rijit olmayışı ve bağlama olarak sıralanabilir. Bu problemlerin aşılması kabul edilebilir işleme şartları gerektirir. Ancak bu işleme şartları da aşırı kesme kuvvetlerine ve artan yüzey hatalarına yol açabilir. Bu durumda, üretim miktarında azalmaya sebep olsa da, daha konservatif işleme şartları gerekir [4].

Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği seçilirken aşağıdaki kriterlere göre maksimum önceliğe göre tercih edilmelidir.

- 1-) Üretim süresinin minimuma indirilmesi,
- 2-) Kesici ömrünün maksimum yapılması,
- 3-) En küçük ölçüsel hassasiyetin sağlanması,
- 4-) En mükemmel yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi,
- 5-) Bir defada kaldırılacak talaş miktarının maksimum olması,
- 6-) Kesici kırılmalarının en aza indirilmesi,
- 7-) Kesintisiz en güzel işlemin oluşturulması,
- 8-) Tezgâhta meydana gelebilecek aşınma ve titreşimlerin en aza indirilmesi,
- 9-) Birim maliyetinin minimuma indirilmesi.

Bu çalışmanın amacı, frezeleme operasyonunda kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin incelenmesi, performans kriteri olarak seçilen yüzey pürüzlülüğündeki değişimlerin analiz edilerek optimum kesme parametrelerinin seçilmesidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1 FREZELEME

Frezeleme, kesme hareketi takımın kendi eksenini etrafında dönmesi ve parçanın ilerleme hareketi yapması ile gerçekleşen bir işlemdir. Freze ile düz, eğik, kademeli yüzeyler, kanallar, profilli kanallar, kamalı miller ve dişli çarklar açılabilir. Frezelemede kullanılan kesici takımın birçok kesici kenarı vardır ve her kenar belirli bir miktar talaş kaldırma kapasitesine sahiptir. Frezelemenin avantajları yüksek işleme verimliliği, iyi yüzey kalitesi, hassasiyet ve şeklin oluşturulmasındaki esnekliktir. Frezeleme genellikle düzlem yüzeylerin, dik köşelerin ve kanalların işlenmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir [5]. Frezeleme takım tezgâhları arasında karmaşık olan en universal işleme yöntemlerinden biridir. Frezeleme işlemi, kullanılan tezgâh çeşitliliği, iş parçası hareketleri ve takım tipleri olarak diğer temel işleme yöntemlerinden daha fazla seçeneklere sahiptir. İş parçası ve kesici takım, bağımsız ya da birleşik olarak bir diğerine göre bağıl hareketler yapabildiği için, frezelemede çok değişik hareketler yapılabilir. Frezelemede, çevresel frezeleme ve alın frezeleme olmak üzere iki ana yöntem olup bunlara ek olarak iş parçasının ya da kesici takımın tipine göre benzer birçok yöntemler de vardır [6].

Korkut I., Dönertaş M.A. (2007), yaptıkları çalışmada alın frezelemede ilerleme ve kesme hızının, kesme kuvvetine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırmış ve kesme kuvvetine ait üç farklı model geliştirmişlerdir. AISI 1020 ve AISI 1040 olmak üzere iki farklı deney malzemesi kullanmışlar, talaş derinliğini sabit tutarak beş farklı kesme hızında ve üç farklı ilerleme hızında X, Y ve Z yönündeki kesme kuvvetlerini ve işlenen yüzeye ait yüzey pürüzlülük değerlerini ölçerek değerlendirmişlerdir [7].

Özçelik Babür ve Bayramoğlu Mahmut (2006), yaptıkları çalışmada, yüksek hızlı alın frezelemede yüzey pürüzlülüğüne ait istatistiksel model kurmuşlardır. Deneysel çalışmalarında soğutucu akışkan kullanarak, iş mili devri, talaş derinliği, ilerleme ve yanal talaş derinliğini işleme değişkenleri olarak almışlardır. İşlenen yüzeydeki işleme yönüne dik doğrultularda yüzey pürüzlülük ölçümleri olarak yüzey pürüzlülüğüne ait matematiksel model kurmuşlardır. İki farklı model elde etmişler; İlk modelde takım ucu aşınması dikkate alınmamış, ikinci modelde ise takım ucu

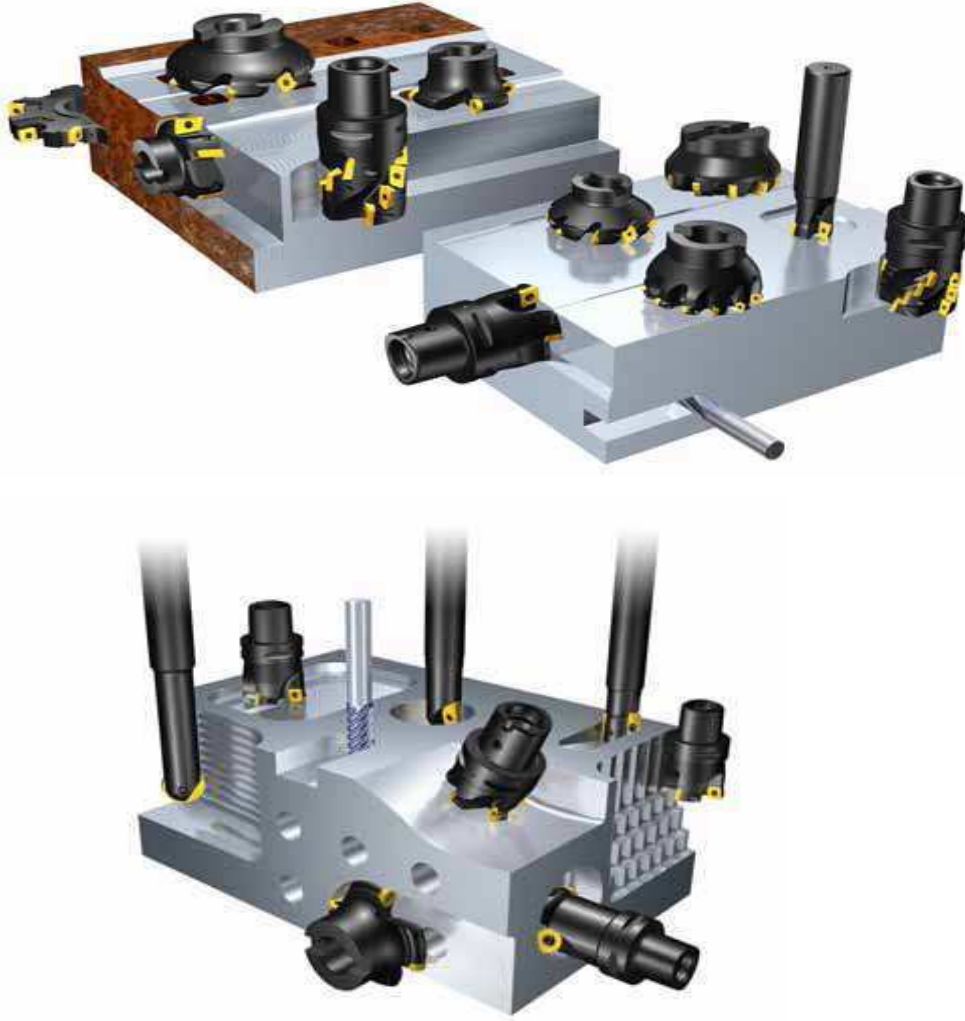
aşınması modele dahil edilmiştir. Bunun sonucunda ikinci model en iyi sonucu vermiştir [8].

Zhang Julie Z., Chen Joseph C., Kirby E.Daniel (2007), yaptıkları çalışmada alın frezelemede Taguchi metodu kullanarak yüzey pürüzlülüğüne ait optimizasyon çalışması yapmışlardır. İşleme değişkeni olarak iş mili devrini, ilerlemeyi ve talaş derinliğini almışlardır. Takım aşınmasını ve ortam sıcaklığını dış etken olarak değerlendirmişlerdir. Toplam otuz altı adet deney yapmışlar ve bu deneyler sonucunda işlenen yüzeylere ait yüzey pürüzlülük değerlerini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak işleme değişkenlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkisini incelemişlerdir [9].

Gelişen teknoloji ile birlikte Bilgisayar Sayısal Denetimli tezgahlar 2. dünya savaşı sonrasında endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayarların imalata dahil edilmesiyle sadece basit parçalar yapan freze tezgahları oldukça kompleks parçaları çok basit bir şekilde yapar hale gelmiştir. Frezeleme işlemi sadece gerçekleştirilen işlem tipleri açısından değil aynı zamanda kullanılan tezgâh, takım ve işlenen iş parçası açısından da büyük farklılıklar göstermektedir.

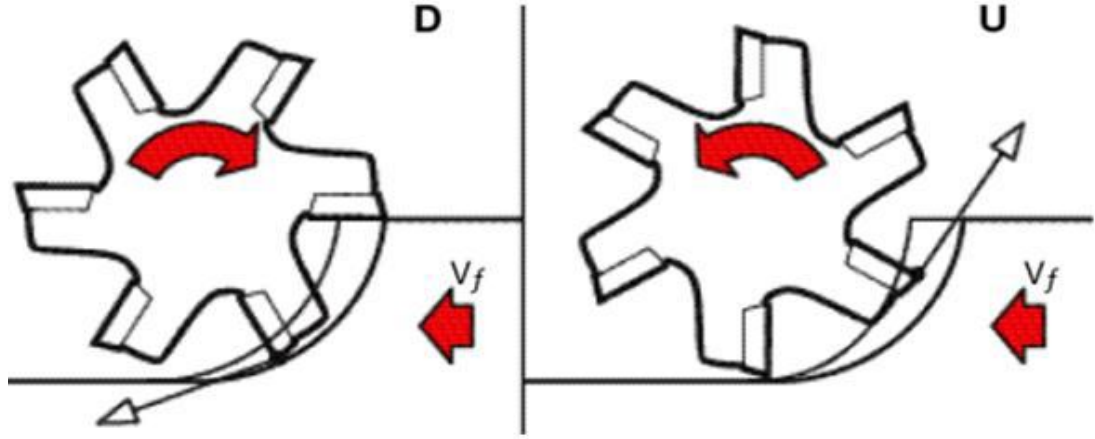
Frezeleme, halen düzgün yüzeyler üretmek için en sık olarak kullanılan işleme yöntemidir. İş parçasına olan etkisi veya takımın izlediği yol açısından bakıldığında Şekil 2.1.'de frezeleme işlemlerinin temel biçimlerinden bazıları aşağıda gösterilmiştir:

- 1) Yüzey Frezeleme
- 2) Alın Frezeleme
- 3) Kanal Frezeleme
- 4) Profil Frezeleme
- 5) T-Kanal Frezeleme
- 6) Form Frezeleme (Konkav, Konveks)
- 7) Slot Frezeleme
- 8) 90° kenar Frezeleme



Şekil 2.1. Frezeleme metotları ve freze çakıları

Frezeleme işlemlerinde en önemli iş takımının uygun olarak seçilmesi ve iş parçasının en uygun biçimde bağlanmasıdır. Talaş kaldırma işleminde gerek talaş yüklenmesini, gerekse sarsıntıyı karşılayacak şekilde bağlama yapmak şarttır. Frezeleme işleminde bazı parçalar tek takımla bazıları ise birden fazla takımla yapılır. Bu nedenle işlem yaparken kaba, orta kaba ve son paso olmak üzere talaş kaldırma işlemi sınıflandırılır ve talaş kaldırma işlemleri bu sınıflandırmaya uygun olarak yapılır [10]. Frezelemede talaş kaldırma işlemi aynı yönlü ve zıt yönlü olmak üzere 2 gruba ayrılır (Şekil 2.2).

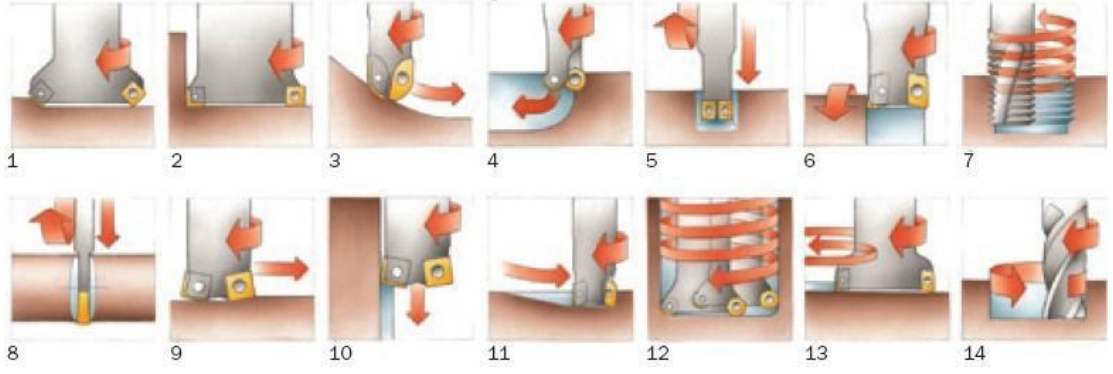


Şekil 2.2. a) Aynı yönlü kesme b) Zıt yönlü kesme.

Aynı yönlü frezelemede freze çakısının kesme yönü ve iş parçasının ilerleme yönü aynı yöndedir. Aynı yönlü frezeleme, zıt yönlü frezeleme işlemine göre daha avantajlı ve takım ömrü, işleme zamanı göz önünde bulundurulursa daha ekonomiktir. Fakat aynı yönlü frezeleme yapabilmek için, freze tezgâhlarının, takımların ve sıkma aparatlarının rijitliği önemlidir. Zıt yönlü frezelemede, freze çakısının kesme yönü iş parçasının ilerleme yönüne karşı yönlendirilmiştir. Talaş meydana gelmeden önce, kayar ve kesici ağız iş parçasının yüzeyinde kazıma yapar. Bundan dolayı freze çakısının kesici ağızlarının serbest yüzey aşınması tipik bir aşınma şeklidir. Kesici ağızların malzemeyi kavrama yolu üzerinde talaşın kalınlığı ve kesme kuvveti büyür. Eğer, kum kalıntıları veya kaynak dikişleri gibi aşındırıcı tesirli yüzey bölgesi bulunan iş parçalarının işlenmesi gerekiyorsa, zıt yönlü frezeleme işlemi tatbik edilmelidir.

2.1.1. Frezelemede Kullanılan Kesici Takımlar

Kesici takımlar, frezeleme işlemi yapılacak malzemeye göre seçilmektedir. Bu kesici takım tiplerinden bazıları aşağıda sıralanmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Kesici takım tipleri.

- 1-) Yüzey freze
- 2-) 90° kenar freze
- 3-) Profil freze
- 4-) Küresel ağızlı freze
- 5-) Kanal freze
- 6-) Torna - freze
- 7-) Diş frezesi
- 8-) Kesme frezesi
- 9-) Yüksek ilerlemeli freze
- 10-) Dalma freze
- 11-) Açılı (rampa) freze
- 12-) Helisel ilerlemeli freze
- 13-) Dairesel ilerlemeli freze
- 14-) Trokoidal freze [40].

2.1.2. Frezelemede Kesme Parametreleri

2.1.2.1. Kesme hızı

Bir freze takımının, çevresindeki kesen bir dişin (noktanın) bir dakikada metre cinsinden keserek aldığı yol kesme hızıdır. Kesme hızı aşağıda verilen formül ve birimlerle ifade edilir.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

(1)

V_c = Kesme hızı, m/dak

n = Devir sayısı, dev/dak

D = Freze takımının çapı, mm

Kesme hızı değerleri, genellikle kesici takım firmalarının kataloglarından seçilmektedir. Uygun kesme hızının seçilmesi takım ömrü ve işleme zamanı açısından önemlidir. Kesici takım düşük kesme hızlarında kullanıldığında işleme süresi artacağından dolayı zaman kaybı olmakta, aşırı hızda ise sürtünme ve ısıdan dolayı takım çabuk aşınmakta ve değiştirilmesi de zaman kaybına yol açmaktadır. Bu şartlarda işlenen malzemeler için uygun kesme hızının seçimi gerekir. Farklı metallerin sertliği, yapısı ve işlenebilirliği değiştiğinden, değişik kesici takım ve iş malzemesi için farklı kesme hızları tercih edilmelidir [11].

Belli bir malzemeyi işlemek için uygun kesme hızının belirlenmesinde;

- İş parçası ve kesici takım malzemesi,
- Takım çapı,
- Gerekli bitirme yüzeyi,
- Talaş derinliği,
- Tezgâh ve bağlama elemanlarının rijitliği,

gibi faktörler dikkate alınmalıdır [2].

2.1.2.2 İlerleme hızı

Frezeleme işleminde, dakikadaki ilerleme (mm/dak), devir başına ilerleme (mm/dev) ve kesici uç başına ilerleme (mm/z) olmak üzere üç türlü ilerleme vardır. Dakikadaki ilerleme veya ilerleme hızı (V_f -mm/dak) takımın iş parçasına doğru birim zamandaki ilerlemesidir. Bu aynı zamanda tabla ilerlemesi ve tezgâh ilerlemesi olarak da adlandırılır ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$V_f = f_z \cdot n \cdot z \quad (2)$$

V_f = İlerleme hızı, mm/dak

f_z = Diş başına ilerleme, mm/

z = Kesici uç sayısı, adet

n = Devir sayısı, dev/dak

Devir başına ilerleme (f -mm/dev) özellikle ilerleme değerinin hesabında ve bir alın frezenin son işlem kapasitesinin belirlenmesi aşamasında kullanılır. Bu değer takımın bir devirdeki hareket miktarına eşit olan yardımcı bir değerdir ve aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$f = V_f / n \quad (3)$$

Kesici uç başına ilerleme ise (f_z -mm/z) frezeleme işleminde önemli bir büyüklüktür. Freze çok uçlu bir takımdır ve her ucun yeterli talaşı kaldırabilmesi için uygun bir ilerleme değerine gereksinimi vardır. Kesici uç başına ilerleme; bir kesici kenarın parçaya girişi ile bir sonraki kesici kenarın parçaya girişi arasında geçen sürede, tablanın ilerlediği mesafe olarak tanımlanır. Bu nedenle bu büyüklük, takımdaki kesici uç sayısı, ilerleme hızı ve devir sayısına bağlı olarak ifade edilir ve aşağıdaki bağıntı ile bulunur [2].

$$f_z = V_f / n.z \quad (4)$$

2.1.2.3. Talaş derinliği

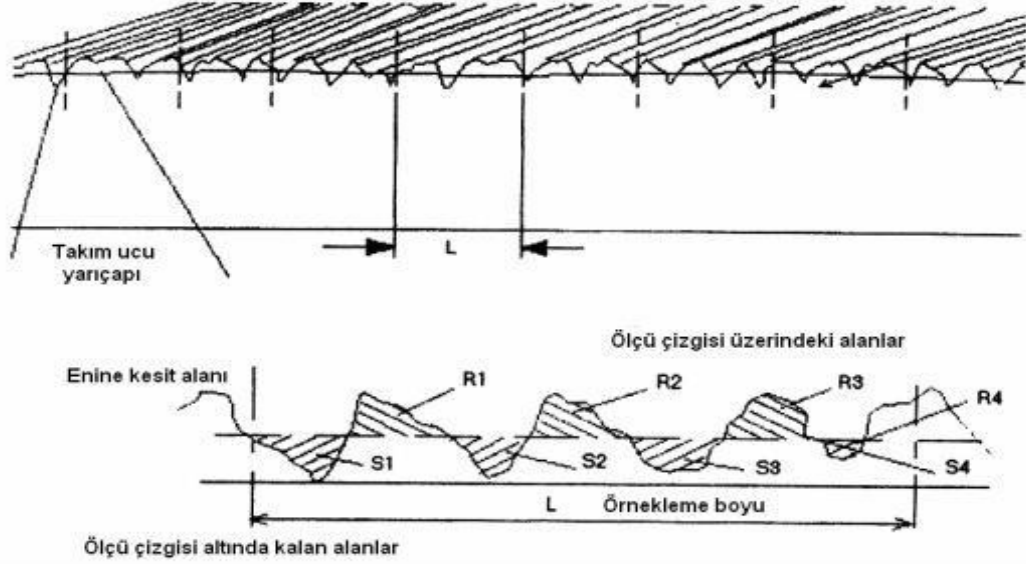
Talaş derinliği, takımın iş parçası içine dikey olarak aldığı yoldur. Genellikle, a_p ile gösterilir. Talaş derinliğinin uygun seçilmemesi işleme zamanını ve maliyeti etkilemektedir. Yeterli talaş derinliğinin verilmemesi durumunda, işlemi tamamlamak için birden fazla paso gerekecek ve dolayısıyla bu da daha fazla zaman kaybına neden olacaktır [11].

2.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

2.2.1 Yüzey Pürüzlülüğü

İşlenmiş yüzeylerde, işleme metodu ne olursa olsun (örnek: lepleme, taşlama, tornalama vb.) yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır. İşleme metodu, kesicinin cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak, işleme sırasında fiziksel, kimyasal ve ısı faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerin de

etkisiyle işlenmiş yüzeylerde, genellikle istenmediği halde bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir [12].



Şekil 2.4. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterimi ve yüzey profili [13].

Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterimi ve yüzey profili Şekil 2.4'de görülmektedir. Gerek ANSI gerekse ISO standardına göre yüzey kalitesi, kabalık, dalgalık, izler ve hatalar olmak üzere 4 elemandan oluşmaktadır. Yüzey yapısı ile ilgili olan bu dört bileşenin tanımları şöyle özetlenebilir:

2.2.1.1. Pürüzlülük veya kabalık

İmalat işlemlerinden kaynaklanan genellikle daha ince düzensizliklerden oluşur, ilerleme izleri dahil diğer belirsizlikler örnekleme uzunluğunu sınırlar.

2.2.1.2. Dalgalık

Pürüzlülük örnekleme uzunluğundan daha büyük olan geniş aralıklı düzensizlikleri kapsar ve dalgalık, tezgâh, iş parçası defleksiyonu, ortalama, titreşim, ısıl davranış veya kesici takım aşınmasından ileri gelebilir.

2.2.1.3. Hatalar

Bir yerde olan veya yüzey üzerinde geniş aralıklı olarak oluşan amaçsız düzensizliklerdir. Yüzey üzerinde bulunan bu kusurlar; çatlaklar, delikler, artıklar, menteşeler ve çizgiler şeklinde olup bütün bunları kapsar.

2.2.1.4. Bitirme yüzeyi

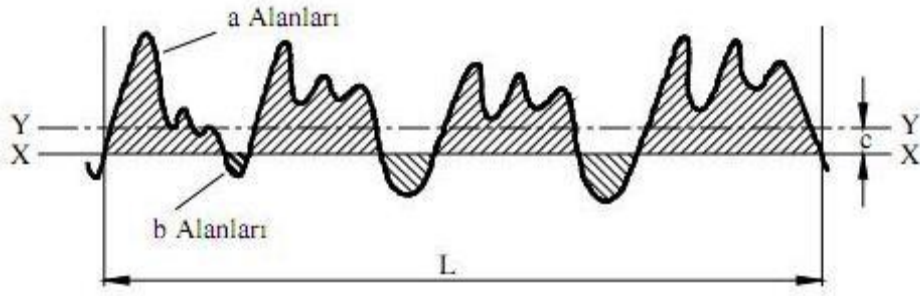
Bir yüzeyin genel kalitesini göstermek için kullanılan geniş bir terimdir. Ancak “İyi bir bitirme yüzeyi” düşük pürüzlülük değerlerini ve tersi de her zaman “yüksek pürüzlülük” değerlerini gösterir.

2.2.2. Yüzey Kalitesinin Sayısal Olarak Değerlendirilmesi

Yüzey kalitesi ölçme problemini çözmek için, üç boyuttan iki boyuta indirgemek ve grafik ortalamalarıyla sonucu göstermek mümkün olmasına rağmen, tasarımcının bu şekilde gerekli olan yüzey kalitesini açıkça belirleyebilmesi pratik bir metot değildir. Grafik metodunu, ne üretim mühendisi, ne de kalite kontrol elemanı kolayca yorumlayamaz. Bu yüzden ihtiyaç duyulan şey, yüzeyin fonksiyonel özelliklerine ait bazı ilişkilerin yer alması ve sayısal olarak yorumlanabilmesidir. Otoritelerce yüzey kalitesinin sayısal değerlerinin belirlenebileceği iki metot kabul edilmiştir. Bunlar, genellikle ortalama çizgi (M) ve zarf sistemi (E) olarak bilinir [14].

2.2.2.1. Ortalama çizgi (M) sistemi

Ortalama çizgi elde edilen geometrik profili tasdik eden bir çizgi olarak tanımlanabilir. Bu ortalama çizgi öyle bir yere yerleştirilmiştir ki, bu çizgi ile profil arasındaki ordinatların karelerinin toplamı minimum olmalıdır. Dolayısıyla ortalama veya merkez çizgisi pratikte profilin genel yönüne paralel bir çizgi olarak belirlenebilir ve bu çizginin altında ve üstündeki profili oluşturan alanlar (a ve b) birbirlerine eşittir.



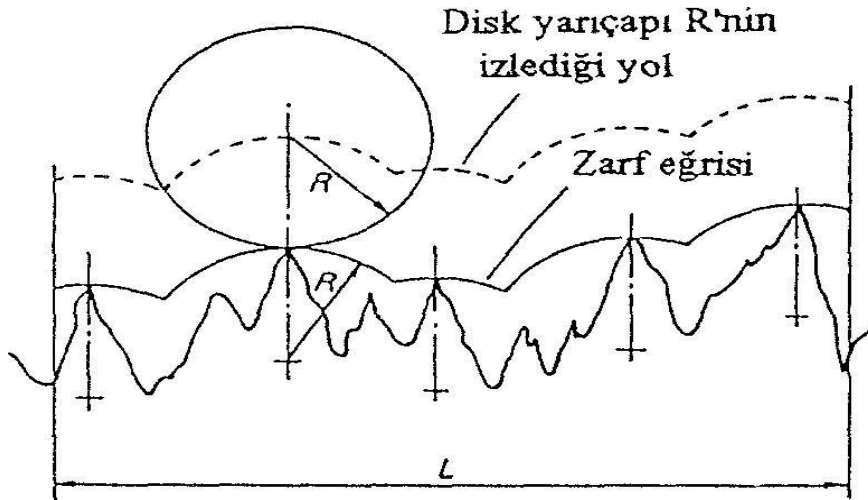
Şekil 2.5. Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi [14].

Verilmiş olan bir profil için ortalama çizginin konumu, aşağıda açıklanan yöntemle belirlenebilir. Şekil 2.5’de gösterildiği gibi bir XX doğrusu çizilir. Bu çizgi uygun örnekleme uzunluğu (L)’nin üzerindeki profilin genel yönüne paraleldir. Bir planimetre veya ordinat metodu kullanılarak a ve b alanları ölçülür. Sonra XX ve istenen ortalama çizgi YY arasındaki c mesafesi şu şekilde verilir.

$$c = [\Sigma \text{Alan}(a) - \Sigma \text{Alan}(b)] / L \quad (5)$$

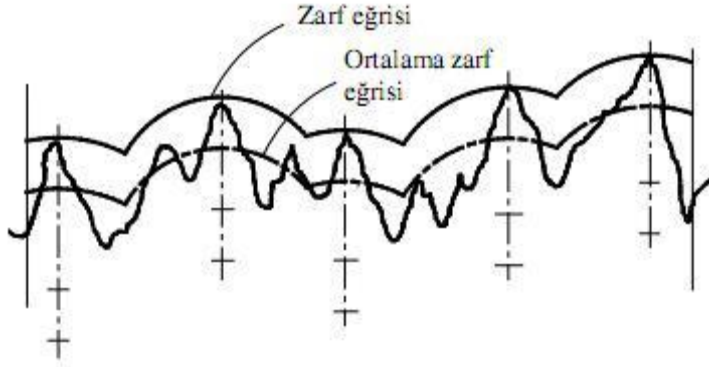
2.2.2.2. Zarf (E) sistemi

Zarf sistemi, izlere karşı yuvarlanan bir dairenin yarıçapı tarafından üretilen bir çizgi esasına dayanır. Daire merkezinin hareketinden oluşturulan bu eğri R mesafesi tarafından düşey olarak yerleştirilmiştir. Bu çizgi yüzeyin üzerinde yer alır. Şekil 2.6’ da gösterildiği gibi zarf eğrisi, ideal geometrik profile dik açılarda en yüksek profile doğru çizilen ordinatlar tarafından oluşturulur.



Şekil 2.6. Zarf eğrisinin elde edilişi [14].

Yarıçap R 'nin dairesel yayları ordinatlar üzerindeki merkezleriyle birlikte tepelere doğru çizilerek zarf eğrisini oluşturur. Bu eğrinin oluşumu yüzey kalitesinin grafik çıktısının dikey ve yatay eksenlerde aynı oranda büyütüldüğünü kabul eder. Dikey büyümelerin yataydaki büyümelerden dikkati çekecek kadar fazla olması ve dairesel yayların bozularak eliptik şekil alması olağandır. Eğer V dikey büyüme ve H de grafiğin yatay büyümesi ise zarf profili, dairesel yayların yarıçapının düzeltilmesiyle yeniden elde edilir. Daha sonra üretilmiş haldeki temas eden zarf çizgisinin altında ve üstünde eşit olan yüzey profili tarafından kapatılmış yayların pozisyonu ile değiştirilebilir. Bu durum Şekil 2.7' de görülmektedir. Bunun manası, zarf eğrisi M sistemindeki ortalama çizgiyi karşılar [14].

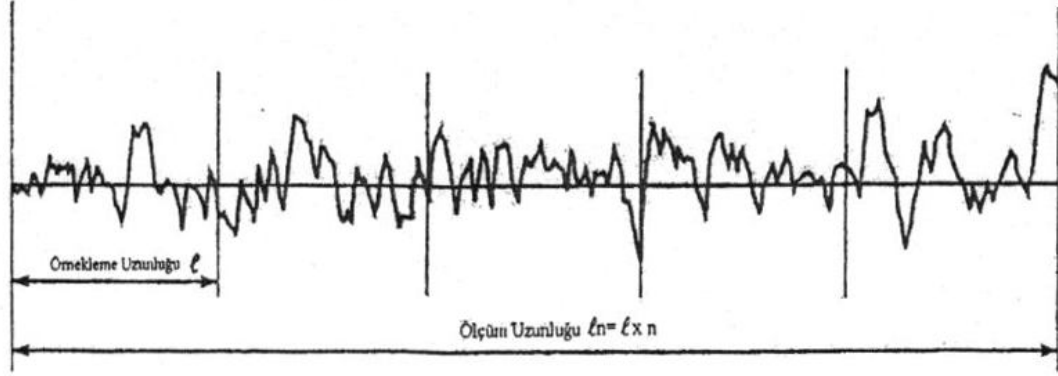


Şekil 2.7. Ortalama zarf eğrisi [14].

2.2.3. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

2.2.3.1. Örnekleme uzunluğu (ln) ve örnekleme sayısı (n)

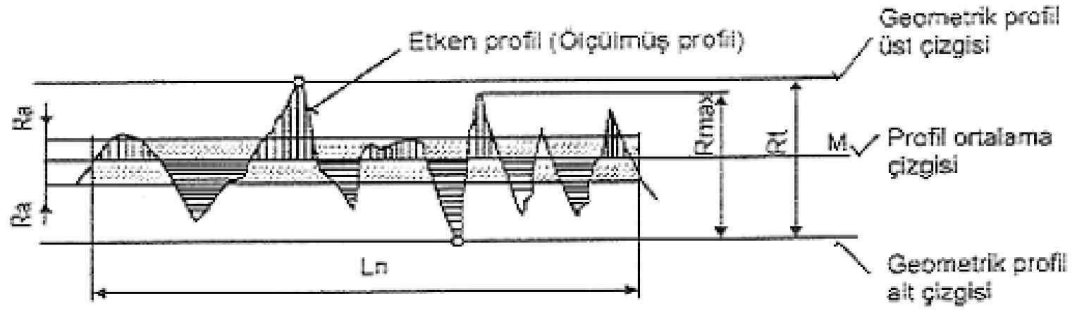
Örnekleme uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir (Şekil 2.8). Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile ln ile ifade edilen değerlendirme uzunluğu oluşur. ln uzunluğu $n \geq 5$ olmak üzere, örnekleme uzunluğu (l) ile (n) çarpılarak elde edilir [15].



Şekil 2.8. Örneklemeye uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu [15].

2.2.3.2. Ortalama yüzy pürüzlülüğü (R_a)

Belirli bir ölçüm uzunluğundaki (l_n) ortalama yüzy pürüzlülüğü (R_a), merkez çizgisinden ölçüm uzunluğuna kadar olan mesafede ölçülen yükseklik değişimlerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Şekil 2.9). Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzy pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlanması ve ölçülmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bilgi vermez.



Şekil 2.9. Ortalama yüzy pürüzlülüğü [16].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MALZEME

3.1.1. İş Parçası (Deney Numunesi)

Bu çalışmada, kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1’ de verilen GS 24Mn5 N çelik döküm malzeme, siparişte bulunan firma tarafından birçok farklı parçada da kullanıldığından tercih edilmiştir. Bu malzeme döküm yöntemi ile imal edilmiş ve 985 °C’ de 3,5 saat fırında bekletilmiş ve daha sonrada açık havada soğutulmaya bırakılarak normalleştirme ısıl işlemi uygulanmıştır. Şekil 3.1’ de gösterilen parça çok sayıda imal edildiği ve yüzey kalitesi problemlerinden dolayı alınan tedbirlerle üretim maliyetlerinin artmasından dolayı deney parçası olarak seçilmiştir.

GS 24Mn5 N malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

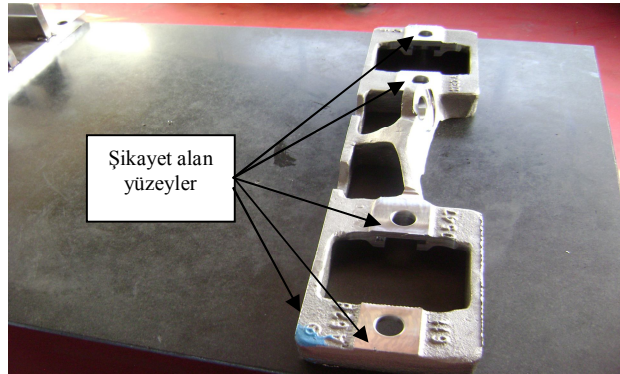
Çizelge 3.1. GS 24Mn5 N Malzemenin Kimyasal Birleşimi

C %	Mn %	S %	P %	Si %	Ni %	Cr %	Mo %	V %	Cu %	Al %	Pb %	Sn %
0,21-0,27	1,10-1,40	max. 0,05	max. 0,55	0,30-0,50	max. 0,30	max. 0,20	max. 0,15	max. 0,02	max. 0,35	max. 0,08	max. 0,02	max. 0,03

Çizelge 3.2. GS 24Mn5 N Malzemenin Mekanik Özellikleri

Sertlik HB	Akma Mukavemeti N/mm ²	Çekme Mukavemeti N/mm ²	Uzama %	Çentik Darbe Mukavemeti J
165-195	min. 350	min. 560	min. 22	min. 34

Şekil 3.1’de GS 24Mn5 N malzemenin dökülen ve deney numunesi olarak kullanılan parça görülmektedir.



Şekil 3.1. Deney parçası

3.2. TAGUCHİ METODU

Endüstride süreç gelişimi araştırmalarında yapılan deneyleri tasarlamak için, en çok bilgiyi en kısa sürede, en az maliyet ve işgücüyle elde eden çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Deney tasarımı için klasik sayılabilecek bazı yöntemlerin zorlukları, bu konuda yeni çalışmaların yapılmasına neden olmuştur. 1980 ve sonrası özellikle ürün geliştirmede kullanılan Taguchi yöntemi bu çalışmalardan biridir. Taguchi kaliteyi, “Ürünün, müşteriye ulaştıktan sonra toplumda meydana getirdiği kayıptır” şeklinde tanımlamıştır. Dr. Genichi Taguchi kaliteyi geliştirmek için temeli deney tasarımına dayanan, Taguchi yöntemi olarak bilinen deney tasarım metodunu geliştirmiştir. Bu yöntem, kısmi faktöriyel deney tasarımı yöntemine, robust (saglam) tasarım ve ortogonal dizinler gibi kavramların dahil edilmesiyle oluşturulmuştur. Yapı olarak klasik kesirli yöntem ve Taguchi yöntemi birbirinden farklıdır. Bu farklılık 3^k sisteminde daha önem kazanmaktadır. Klasik kesirli çok etkenli tasarımda etkileşimlerin tümü ihmal edilmedikçe ana etkilerin tahminleri hakkında bilgi elde edilmesinin çok zor olduğu söylenmektedir [17]. Fakat Taguchi tasarımında dikey dizinin görselliği, sapmanın hangi etkileşim bileşenlerinden kaynaklandığını gösterdiğinden bazı tasarımlar için daha iyi tahminler elde edilebilmektedir. Taguchi yönteminin asıl amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliği azaltmaktır. Bunu sağlamak için, bu değişkenliğe sebep olan kontrol edilebilir faktörler tanımlanmalı ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinin en az olacağı ürün ve proses geliştirme süreci tasarlanmalıdır [18]. Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda, Taguchi Yöntemi kullanılarak, çok daha az sayıda deneysel çalışma ile sonuca ulaşmak mümkün olmaktadır. Taguchi deneysel tasarım metodunda geliştirilen metodoloji üç temel kavramdan oluşur bunlar; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır.

3.2.1 Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı bu metodun ilk adımındır. Bu adımda eldeki bütün materyaller değerlendirilir, aynı zamanda mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistemde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi yapılır. Bu adımda amaç en az maliyetle en iyi ürün tasarımı ve maksimum müşteri memnuniyetidir.

3.2.2 Parametre tasarımı

Süreç yenilemesi ve iyileştirmesinin en önemli adımı parametre tasarımıdır. Bu adımda üretilecek olan ürünün yada geliştirilecek olan ürünün özelliklerinin en iyi seviyeye getirilebilmesi için üretimde kullanılan parametrelerin iyileştirilmesi sağlanır. Parametrelere en iyi seviyeler seçilir. Üretim esnasında ürünün kalitesini olumsuz etkileyecek kontrol edilemeyen etkiler belirlenir. Bunlara kontrol edilemeyen parametre adı verilir bu parametrelerin etkileri minimize edilir.

Bu adımda parametreler bloklanırken Taguchi nin geliştirmiş olduğu ortogonal diziler kullanılır. Aynı zamanda sinyal gürültü oranı (S/N - Signal/Noise) analizi ile hesaplama yapılabilir. Parametreler belirlendikten sonra Taguchi ortogonal dizisinden bir dizi seçmek gerekmektedir.

3.2.3 Tolerans tasarımı

Tolerans tasarımında parametre belirleme çalışmaları sonucu istenilen hedefe ulaşamadığı durumda yapılan ilave çalışmalardan ibarettir. Bu aşamada gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur ve bu sapmalar azaltılır.

3.2.4. Kayıp Fonksiyonu

Taguchi kaliteyi, ürünün yeterli bir kalite düzeyine ulaşmaması durumunda uğradığı kayıp olarak tanımlamaktadır. Bu kayıp müşterinin memnuniyetsizliği, yenileme veya tamir maliyetleri, pazardaki imaj kaybı ve pazar payı kaybı olarak ifade edilebilir. Taguchi oldukça istatistiksel olan yaklaşımına bağlı kalarak, bir ürünün yalnızca spesifikasyonlara uymaması durumunda değil, aynı zamanda bir hedef değerden sapması durumunda da bu kaybın ortaya çıkacağını ifade etmektedir. Kalite kaybı, bir ürün teslim edildikten sonra topluma yüklenen bir kayıptır. Bu toplumsal kayıp bir ürünün istenilebilirliğini belirler. Burada kaybın az olması ürünün istenilebilirliğini artırır. Taguchi için toplumsal kayıp kalite maliyetine ilişkin kararları etkiler. Diğer bir deyişle, kalite geliştirme için yapılan yatırımlar, yalnızca işletmede değil, toplumda yaratacağı tasarruflarla karşılaştırılmalıdır. Sonuçta, toplum işletmeyi toplumda sağlayacağı tasarruflara bakarak ödüllendirecek veya cezalandıracaktır [18].

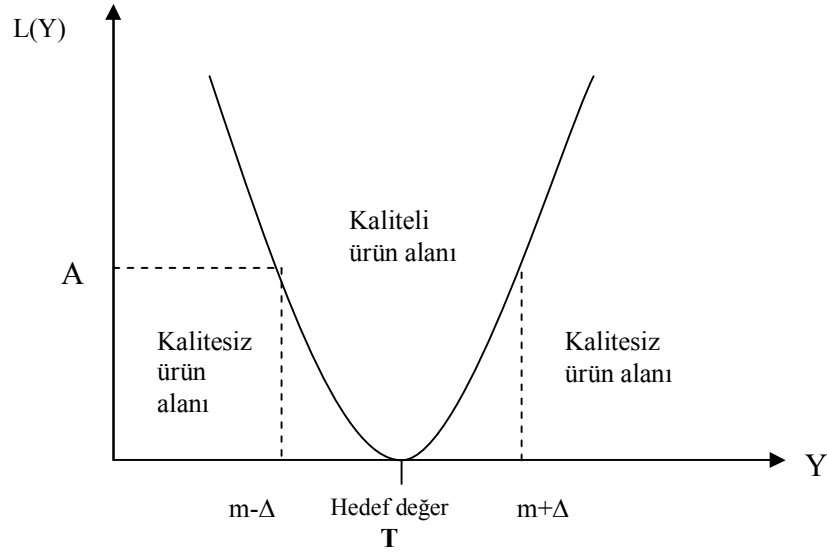
Kayıp fonksiyonu çeşitli şekillerde yorumlanabilir. Örneğin kaybın azaltılması için varyansının azaltılması gerekmektedir. Ayrıca, kaybın azaltılması için ürün ve sürecin sürekli olarak iyileştirilerek hedeften sapmaların azaltılması gerekir. Yalnızca spesifikasyonları karşılamak kalitenin zayıf bir göstergesidir. Kalite ölçütü öngörülen hedeften uzaklaştıkça performans da buna bağlı olarak aşınmaktadır. Önemli olan spesifikasyonlar karşılandığı halde varyansın azaltılmasıdır [19].

Kayıp fonksiyonunun denklemini aşağıda verilmektedir.

$$\text{Kayıp} = k (Y-T)^2 \quad (6)$$

Denkleminde, T = Hedef değer, Y = değişkenin ölçülen değeri ve k ise sapmayı para birimine çeviren bir katsayıdır [20].

Taguchi'nin kayıp fonksiyonu Şekil 3.2' deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu [20].

3.2.5. Taguchi'nin Üretim/Kalite Sistemi ve Deney Tasarımı

Taguchi metodu ürün ve/veya proses parametrelerinin ve toleransların tasarımı, kalite kayıp fonksiyonu, çevrim içi kalite kontrol, çevrim dışı kalite kontrol olgularını ve ortogonal kolonları kullanılarak oluşturulan deneylerin tasarımını ve ölçüm sistemlerini değerlendirmek için uygulanan metodolojileri kapsar. Taguchi'nin kalite felsefesi yedi temele dayanır [20].

1. Üretilmiş ürünün kalitesi topluma verdiği kayıpla ölçülür.
2. Rekabetçi kalite ortamında iş hayatında tutunabilmek için devamlı kalite gelişimi ve düşük maliyet şarttır.
3. Devamlı kalite geliştirme programı ürün performans karakteristiklerinin hedef değerler etrafında azaltılması sağlanır.
4. Ürün performans değişiminin sebep olduğu kayıplar, performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının karesi ile orantılıdır. (Kayıp Fonksiyonu).
5. Üretilmiş ürün kalitesi ve maliyeti ürünün mühendislik tasarımı ve imalat prosesi tarafından kontrol edilir. (Çevrim içi ve Çevrim dışı Kalite Kontrol).
6. Performans karakteristikleri üzerinde ürün parametrelerinin lineer olmayan etkisi ortadan kaldırılarak ürün performans değişimlerini azaltmak gereklidir.
7. Performans değişimini azaltan ürün veya proses parametreleri gruplarının kombinasyonlarını belirlemek için istatistiki deneyler yapılır [20].

3.2.6. Taguchi'nin Sinyal/Gürültü Oranları

Taguchi, deney tasarımında analiz değişkeni ya da performans kriteri olarak kullanılması amacıyla, bir dizi, adına “sinyal/gürültü (signal/noise) oranı” denilen, kriter tanımlamıştır [18]. Taguchi, varyasyonu azaltmak amacıyla, deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü (S/N) oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirmiştir. Taguchi, uygulamadaki problemleri, hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü oranı tanımlamıştır [20].

“En küçük en iyi” durumunda, y'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanmaktadır:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (7)$$

“En büyük en iyi” durumda y'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/ gürültü oranı aşağıdaki tanımlanmaktadır:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (8)$$

“Hedef değer en iyi” durumunda, y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda,

$$S/N = 10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2}\right) \quad (9)$$

Yukarıda S/N oranları için belirtilen eşitliklerde “y” performans karakteristiği değerini, “s²” ise varyansı ifade etmektedir [18].

3.2.7. Robust Tasarım

Robust tasarımın ürün performansını geliştirmeye olan etkisi ile Taguchi'nin amaçladığı birçok istatistiksel metodun çok önemli olduğu kabul edilir. Bu metodlar sinyal/gürültü oranı, ortogonal diziler, doğrusal grafikler ve toplama analizidir. Mühendisler arasında Robust tasarımın kullanılması, daha iyi, etkin ve kullanımı kolay teknik ve araçlara sahip olması bakımından popüler olmuştur [21].

Taguchi, üründe ve proseste, değişkenlik (hedef değerden farklılık) yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün veya prosesteki değişkenliği en aza indirmek gerektiğini söylemektedir. Sağlam tasarım ifadesindeki sağlam kelimesi, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin; nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır [22].

Robust; kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerini, kontrol edilemeyen faktörlerin ürün üzerine olan etkilerini en azlayacak şekilde belirleyen tasarımdır. Robust tasarım, Taguchi metodunun Parametre tasarımı ve Tolerans tasarımı adımlarını kapsamaktadır.

3.2.8. Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Seçilmesi

Var olan problemin çözümüne ilişkin amaç ortaya konduktan sonra, klasik tasarımda olduğu gibi, beyin fırtınası, süreç akış şeması ve sebep-sonuç diyagramı gibi yöntem ve teknikler kullanılarak, değerlendirmeye alınacak faktör veya etkileşimler seçilmektedir. Taguchi, faktörleri kontrol edilebilen ve gürültü faktörü olarak da ifade edilen kontrol edilemeyen faktörler olarak ikiye ayırmaktadır. Faktör

düzeyleri belirlenmeden önce faktörler belirlenmekte ve kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler olarak ayrılmaktadır. Kontrol edilebilen faktör sayısına göre tasarım belirlenmekte ve denemeler yapılmaktadır.

3.2.9. Faktör Düzeylerinin Seçilmesi

Performans karakteristiğini etkileyen faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin düzey sayısı belirlenmektedir. Faktörlerin seviyeleri iki, üç veya daha çok olabilmektedir. Faktör seviyeleri serbestlik dereceleriyle ilişkili bir fonksiyondur. Serbestlik derecesi, faktör seviyelerinden hareketle hesaplanmaktadır. Serbestlik derecesi, deneyin büyüklüğünü tespit etmek açısından önemlidir. Bir faktörün serbestlik seviyesi, o faktörün seviyesinin bir eksiğidir. Ayrıca, faktörlerin bireysel etkilerinin yanı sıra faktörler arası oluşan etkileşimler de belirlenir. Bu etkileşim etkilerine interaction effects denmektedir. Böyle bir durum söz konusu olduğunda etkileşim için serbestlik derecesi; etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımıdır. Ayrı ayrı her faktörün serbestlik derecesi toplamı toplam serbestlik derecesini vermektedir.

İki faktörün etkileşimli olması, bir faktörün (örneğin A), kalite değişkenine olan etkisi, diğer faktörün (örneğin B) hangi değerde bulunduğuna bağlıdır. Bu durum AXB olarak gösterilir. Etkileşimli faktörlerin bulunduğu durumlarda, etkileşimlerde faktör gibi kabul edilerek diziye atanmaktadır [23].

3.2.10. Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Ortogonal dizinin en önemli özelliği, birçok faktörün en az sayıda test edilmesi ve faktör seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirme yapmaya olanak sağlamasıdır. Ortogonal diziler problemin özelliğine göre, 2 kademeli, 3 kademeli, 2 ve 3 kademeli olarak belirlenmektedir. Ortogonal dizilere tasarım matrisi de denilmektedir. Genel gösterimi;

d: Toplam deney sayısı,

a: Faktörlerin düzey sayısı

k: Faktör sayısı

L: Ortogonal dizi

olmak üzere,

$L_d (a)^k$ Şeklinde ifade edilmektedir. Genel olarak kullanılan diziler 2 seviyeliler için L_4 , L_8 , L_{16} ve L_{32} ve 3 seviyeliler için L_9 , L_{18} ve L_{27} dizileri olmaktadır. Dizilerin seçimi düzey sayısı ve toplam serbestlik derecesine göre yapılmaktadır. Ortogonal dizin, ürün ortalaması ve varyansında etkili olan birçok faktörle aynı anda ve daha kısa sürede çalışmayı sağlamaktadır. $L_9 (3^4)$ tasarım matrisi örnek olarak Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3. $L_9 (3^4)$ Ortogonal Dizin

Deney Sayısı	Parametre 1	Parametre 2	Parametre 3	Parametre 4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Ortogonal Dizinler tam faktöriyel tasarım gereği (2^k veya 3^k) çok sayıda yapılması gereken denemeleri büyük oranda azaltmaktadır. Tam faktöriyel tasarıma göre $3^4=81$ adet deneme yapılması gerekirken, ortogonal dizinler sayesinde deneme sayısı 9'a düşmektedir [24].

3.2.11. Deney Faktörleri ve Seviyeleri

Bu çalışmada kontrol edilebilen faktörler olarak seçilen; Kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği ve takım diş sayısı için deneylerde kullanılacak değerler Çizelge 3.4' te belirtilmiştir.

Çizelge 3.4. Deney Faktörleri ve Seviyeleri

Faktörler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A-Kesme Hızı (Vc)	m/min.	120	160	200
B-İlerleme Hızı(Vf)	mm/min.	200	250	300
C-Talaş Derinliği(a_p)	mm	0,3	0,5	0,8
D-Takım Dış sayısı(z)	adet	4	5	6

Çizelge 3.5. Deney Faktörleri ve Seviyelerinin L_9 Ortogonal Dizine Yerleştirilmesi

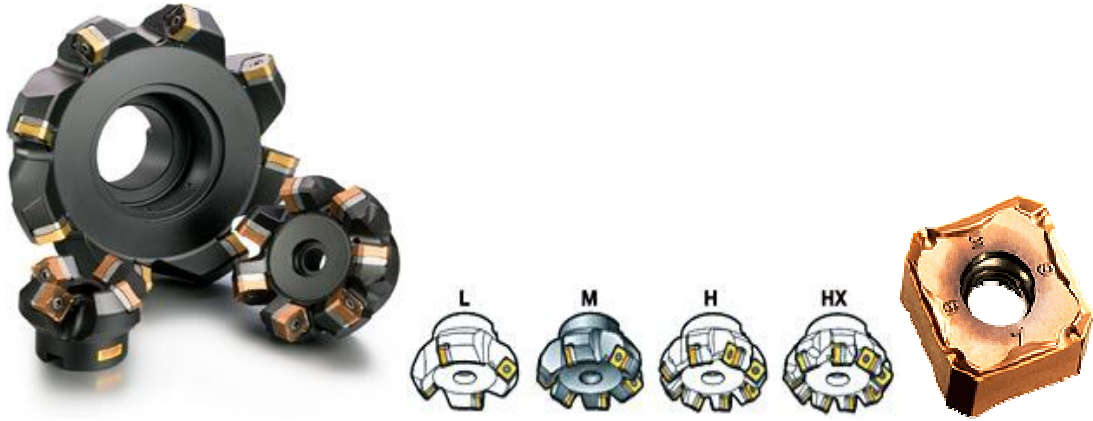
Deney No	Değişkenler	Kesme Hızı	İlerleme Hızı	Talaş Derinliği	Takım Dış Sayısı
1	A1B1C1D1	1	1	1	1
2	A1B2C2D2	1	2	2	2
3	A1B3C3D3	1	3	3	3
4	A2B1C2D3	2	1	2	3
5	A2B2C3D1	2	2	3	1
6	A2B3C1D2	2	3	1	2
7	A3B1C3D2	3	1	3	2
8	A3B2C1D3	3	2	1	3
9	A3B3C2D1	3	3	2	1

Çizelge 3.6. Deney Faktörleri ve L_9 Ortogonal Dizin

Deney Sayısı	Değişkenler	Kesme Hızı	İlerleme Hızı	Talaş Derinliği	Takım Dış Sayısı
1	A1B1C1D1	120	200	0,3	4
2	A1B2C2D2	120	250	0,5	5
3	A1B3C3D3	120	300	0,8	6
4	A2B1C2D3	160	200	0,5	6
5	A2B2C3D1	160	250	0,8	4
6	A2B3C1D2	160	300	0,3	5
7	A3B1C3D2	200	200	0,8	5
8	A3B2C1D3	200	250	0,3	6
9	A3B3C2D1	200	300	0,5	4

3.3. KESİCİ TAKIMLAR

Bu çalışma için kesici takım olarak Sandvik firmasına ait 345-063Q22-13M Ø63 4, 5 ve 6 ağızlı freze çakıları kullanılmıştır. 345R-1305M-KH Sert maden uçlar her 3 takım içinde ortaktır. Deneyle sırasında oluşabilecek uç aşınmalarının sonuçları etkilememesi açısından her deney için freze takımına yeni uçlar takılmıştır.



Şekil 3.3. Freze takımı ve uçlar

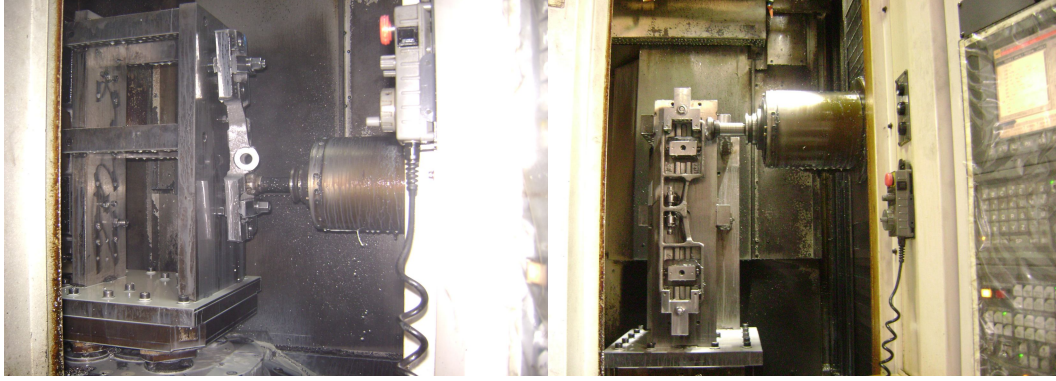
3.4. TEZGAH

Deneyleler, OKUMA MA-500HB SPACE CENTER yatay işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Tezgah mili maximum çıkış gücü 30 KW, mil hızı aralığı 50-6000 rpm, makinanın maximum torku 606 Nm, palet ölçüleri 500x500 , işleyebileceği iş parçası boyutları, 800 mm çap ve 1000 mm yüksekliktir.



Şekil 3.4 OKUMA MA500-HB Space Center ; Yatay CNC İşleme Merkezi

Şekil 3.5'te Bağlama aparatı ve deney parçası, tezgah içerisinde frezleme operasyonu yapılırken görülmektedir.



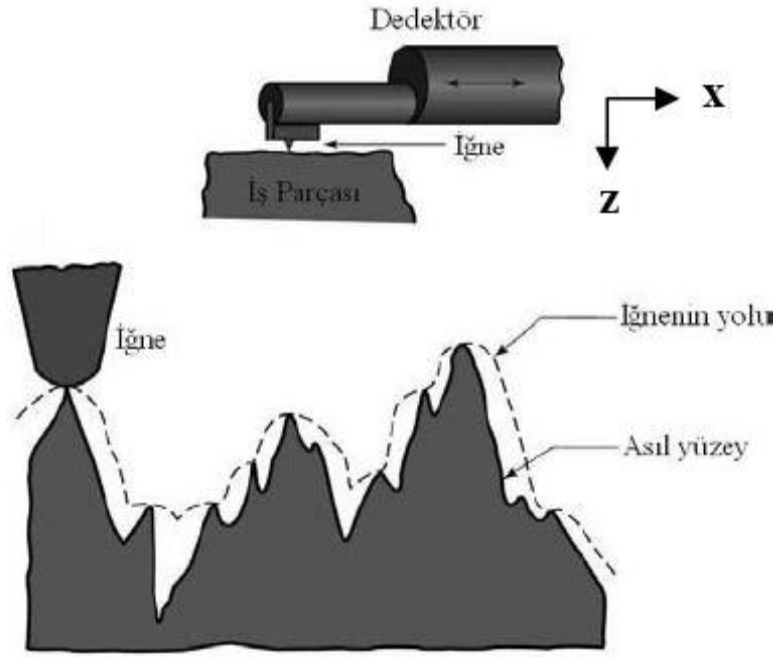
Şekil 3.5. Frezeleme operasyonu

3.5. ÖLÇÜM CİHAZI

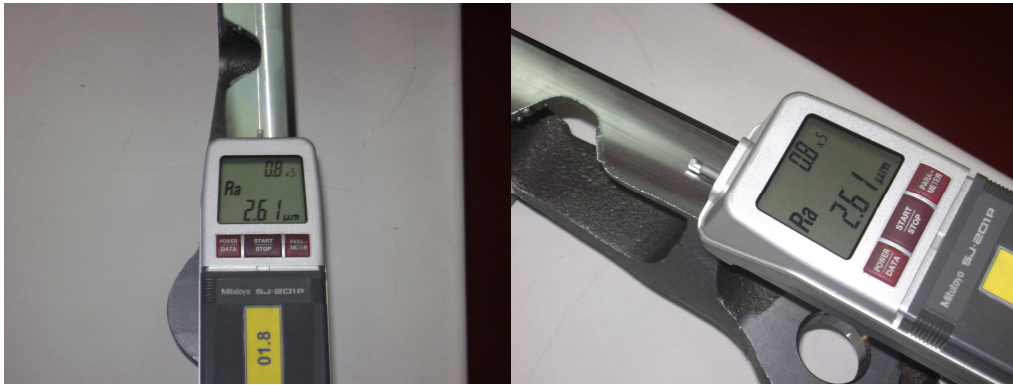
Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, Mitutoyo SJ-201 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 3.6. Mitutoyo SJ 201 Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı

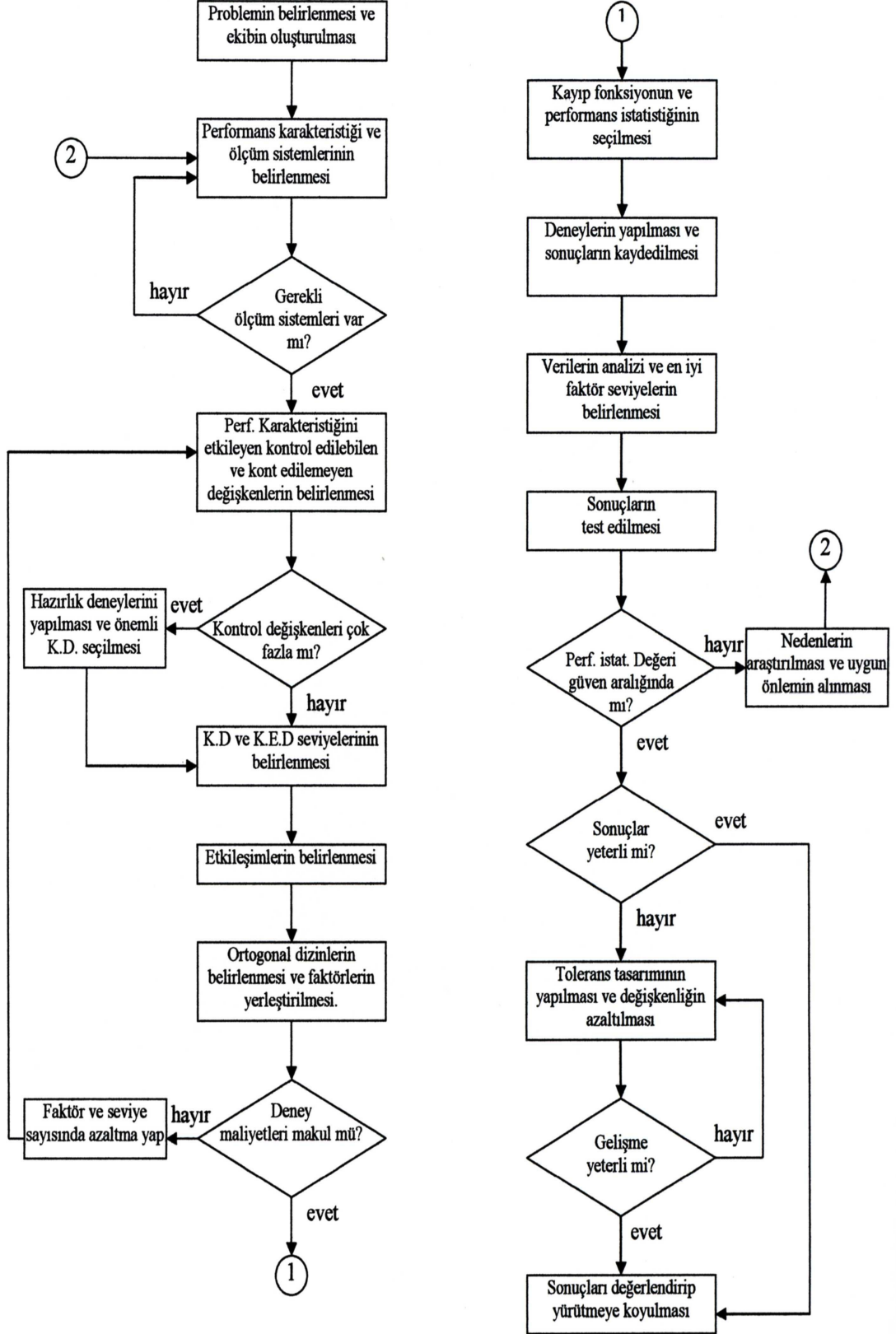


Şekil 3.7. Mitutoyo SJ 201 Ölçme Cihazı İlerleme Şekli



Şekil 3.8. Yüze Pürüzlülüğü Cihazı ile Ölçüm Yapılması

Çizelge 3.7. Taguchi yönteminin uygulanmasında izlenilecek sistematik yaklaşımın akış şeması



3.6 VARYANS (ANOVA) ANALİZİ

Varyans analizi (ANOVA), test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan istatistik temelli bir metottür. Deneysel tasarım temelde varyans analizine dayanmaktadır. Bu metot 1930'lu yıllarda Fisher tarafından geliştirildiği için isminin baş harfinden dolayı F testide denmektedir. Test yapmanın amacı ürün veya proses değişimini kontrol etmek ve performansı etkileyen faktörleri bulup problemin çözümüne ilişkin karar vermektir. Varyans analizi (Analysis of Variance: ANOVA) test edilen parça gruplarının performansları arasındaki farklılığı göstermektedir.

Varyans analizine ait formüller;

$$GKT = KTA + KTB + KT_{AB} + KTe \quad : \text{Genel Kareler Toplamı} \quad (10)$$

$$GKT = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad : \text{Tüm verilerin kareleri toplamını} \quad (11)$$

$$KTA = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad : \text{A faktörünün kareleri toplamını} \quad (12)$$

$$KT_{AXB} = \left[\sum_{i=1}^c \frac{(AXB)_i^2}{n_{AXB_i}} \right] - \frac{T^2}{N} - KTA - KTB \quad : \text{A ve B etkileşiminin kareler toplamı} \quad (13)$$

$$KTe = KTT - KTA - KTB - KT_{AXB} \quad (14)$$

Burada;

GKT = Genel Kareler Toplamı

KTA = A faktörüne ait kareler toplamı

KT_{AXB} = A ve B faktörlerinin etkileşim faktörüne ait kareler toplamı

KTe = Hata kareler toplamı

N = Toplam gözlem sayısı

Y_i = i. Gözlem değeri

T = Tüm gözlemlerin toplamı

k_A = A faktörünün kademe sayısı

A_i = A_i seviyesindeki gözlemlerin toplamı

n_{A_i} = A_i seviyesi altındaki gözlem sayısı

c = Etkileşim faktörlerinin kombinasyon sayısı

(AXB)_i = A ve B faktörlerinin i. Koşulu altındaki verilerin toplamı.

Varyans analizini yapabilmek için serbestlik derecesine ihtiyaç duyulmaktadır.

$$SdT = SdA + SdB + SdAxB + Sde \quad (15)$$

Burada;

SdT= Toplam serbestlik derecesi

SdA= A faktörünün serbestlik derecesi

SdAxB= AxB faktörünün serbestlik derecesi

Sde= Hata serbestlik derecesi

Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksiğidir.

$$SdT = N - 1 \quad (16)$$

Bir faktör yada sütunun serbestlik derecesi de seviye sayısının bir eksiğidir.

$$SdA = kA - 1 \quad (17)$$

Etkileşimin serbestlik derecesi ise etkileşim faktörlerinin serbestlik dereceleri çarpımıdır.

$$SdAxB = (SdA).(SdB) \quad (18)$$

Hata serbestlik derecesi, toplam serbestlik derecesinden tüm faktör ve etkileşimlerinin serbestlik derecelerinden çıkarılması ilke bulunmaktadır.

$$Sde = SdT - SdA - SdB - SdAxB \quad (19)$$

Varyans değerinin hesaplanması, varyans analizi tablolarıyla yapılmaktadır.

Faktörlerin varyanslar; faktörlerin kareler toplamının serbestlik derecesine bölümüdür.

$$V_A = \frac{KT_A}{Sd_A} \quad : \text{A faktörü için örnek varyans formülizasyonu} \quad (20)$$

Hata varyansı da hata kareler toplamının serbestlik derecesine bölümüdür. Hatayı kontrol edilemeyen faktörler ve ölçüm yanlışlıkları oluşturmaktadır.

$$V_e = \frac{KT_e}{Sd_e} \quad (21)$$

Varyans analizi tablosu oluşturulduktan sonra, F testi hangi faktörlerin önemli olduğunu gösterir. F testi uygulanırken hesaplanan F değerleriyle, istenen güven düzeyindeki F_{tablo} değerleri karşılaştırılır. F değeri tablodaki değerden büyükse $1-\alpha$ güvenle kabul edilir.

Varyans analizi (ANOVA) tablosundan elde edilen F değeri, faktör ya da etkileşim varyansının hata varyansına oranıdır.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad \text{A faktörüne ait F değeri}$$
$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad \text{A faktörüne ait F değeri} \quad (22)$$

$F_{\text{tablo}} = f_{\alpha, v_1, v_2}$

α = anlamlılık düzeyi

v_1 = Faktörün serbestlik derecesi

v_2 = Hata serbestlik derecesi

ANOVA tamamlandıktan sonra önemli faktörler ve etkileşimler belirlenir, sonuçlar yorumlanır. Ortalamanın tahmin edilmesi, tahmin edilen ortalamanın etrafında güven aralığının belirlenmesi kullanılan metotlardır.

Ortalamanın Tahmin edilmesi, kombinasyondaki faktör- seviyelerinin ortalama değerleri,

$$\mu_{A_1 B_2} = A_1 + B_2 - (n-1)\bar{T} \quad (23)$$

n = Belirlenen faktör-seviye kombinasyondaki faktör sayısı

\bar{T} = Seçilen faktör-seviye kombinasyonundaki faktörlerin tüm seviyelerinin ortalamasıdır.

Tahmin edilen ortalama etrafında güven aralığı,

$$G.A. = \sqrt{F_{\alpha, sd_T, sd_e} \cdot V_e \left[\left(\frac{1}{n_{\text{eff}}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad (24)$$

$$n_{\text{eff}} = \frac{N}{1+c} \quad (25)$$

burada;

c = μ bulunurken kullanılan tüm faktörlerin toplam serbestlik derecesi

r = Yapılan doğrulama deneyi sayısı

sd_T = Ortalama ait serbestlik derecesi olup daima 1 dir.

Sde = Hata serbestlik derecesi

V_e = Hata varyansı

N = Deney sayısı

$G.A.$ = Güven aralığı

$$\mu - G.A. \leq \text{performans karakteristiği değeri} \leq \mu + G.A. \quad (26)$$

3.7 DOĞRULAMA DENEYLERİNİN YAPILMASI

Deney analiz sonucunda seçilen en iyi şartlar altında tekrarlanmaktadır. En iyi şartları belirleyerek yapılan deney doğrulama deneyidir. Deney sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu en iyi performans karakteristiği değerine ulaştırırsa istenen durum gerçekleşmiş ve deney amacına ulaşmış olur [18].

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma için tasarlanan deney faktörleri ve yapılan deneyler sonucu bulunana ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 4.1’ de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Deney Faktörleri ve L₉ Ortogonal Dizin

Deney No	Değişkenler	Kesme Hızı	İlerleme Hızı	Talaş Derinliği	Takım Diş Sayısı	Ort. Ra
1	A1B1C1D1	120	200	0,3	4	2,598
2	A1B2C2D2	120	250	0,5	5	2,327
3	A1B3C3D3	120	300	0,8	6	2,688
4	A2B1C2D3	160	200	0,5	6	2,358
5	A2B2C3D1	160	250	0,8	4	2,913
6	A2B3C1D2	160	300	0,3	5	2,877
7	A3B1C3D2	200	200	0,8	5	1,817
8	A3B2C1D3	200	250	0,3	6	1,633
9	A3B3C2D1	200	300	0,5	4	2,193

Bu çalışma için 9 deney tasarlanmış ve her deney 3’er kez tekrar edilerek toplam 27 deney yapılmış; Deneyler sonucunda her bir deney parçasının yüzey pürüzlülükleri, 3 adet çakı giriş bölgesinden, 3 adet çakı çıkış bölgesinden ölçülerek ortalama Ra değerleri bulunmuş ve S/N oranları hesaplanmıştır. Ölçüm ve hesaplama sonuçları Çizelge 4.2’ de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Ortalama Ra ve S/N Sonuçları Tablosu

Deney 1			
	Giriş Ra	Çıkış Ra	Ort. Ra
1	1,99	3,02	2,505
2	2,83	2,94	2,885
3	2,62	2,19	2,405
ORT.			2,598
ST. SAPMA			0,25325
S/N			-8,32
“En küçük en iyi” $S/N = -10 \log(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2)$			

Deney 2			
	Giriş Ra	Çıkış Ra	Ort. Ra
1	2,72	1,95	2,335
2	2,83	2,06	2,445
3	2,38	2,02	2,200
ORT.			2,327
ST. SAPMA			0,12271
S/N			-7,34
“En küçük en iyi” $S/N = -10 \log(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2)$			

Deney 3

	Giriş Ra	Çıkış Ra	Ort. Ra
1	3,87	2,73	3,300
2	2,63	1,13	1,880
3	3,45	2,32	2,885
ORT.			2,688
ST. SAPMA			0,73014
S/N			-8,80
“En küçük en iyi” $S/N = -10 \log(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2)$			

Deney 4

	Giriş Ra	Çıkış Ra	Ort. Ra
1	3,08	2,78	2,930
2	2,51	2,74	2,625
3	2,12	0,92	1,520
ORT.			2,358
ST. SAPMA			0,74186
S/N			-7,73
“En küçük en iyi” $S/N = -10 \log(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2)$			

Deney 5

	Giriş Ra	Çıkış Ra	Ort. Ra
1	3,14	3,28	3,210
2	2,84	2,82	2,830
3	2,80	2,60	2,700
ORT.			2,913
ST. SAPMA			0,26502
S/N			-9,31
“En küçük en iyi” $S/N = -10 \log(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2)$			

Deney 6

	Giriş Ra	Çıkış Ra	Ort. Ra
1	2,76	2,39	2,575
2	3,43	3,33	3,380
3	2,46	2,89	2,675
ORT.			2,877
ST. SAPMA			0,43876
S/N			-9,24
“En küçük en iyi” $S/N = -10 \log(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2)$			

Deney 7

	Giriş Ra	Çıkış Ra	Ort. Ra
1	2,67	2,35	2,510
2	1,36	1,31	1,335
3	1,97	1,24	1,605
ORT.			1,817
ST. SAPMA			0,61543
S/N			-5,51
“En küçük en iyi” $S/N = -10 \log(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2)$			

Deney 8

	Giriş Ra	Çıkış Ra	Ort. Ra
1	2,48	1,48	1,980
2	2,10	1,17	1,635
3	1,94	0,63	1,285
ORT.			1,633
ST. SAPMA			0,3475
S/N			-4,39
“En küçük en iyi” $S/N = -10 \log(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2)$			

Deney 9

	Giriş Ra	Çıkış Ra	Ort. Ra
1	3,46	2,04	2,750
2	2,63	1,47	2,050
3	2,20	1,36	1,780
	ORT.		2,193
	ST. SAPMA		0,50063
	S/N		-6,97
“En küçük en iyi” $S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$			

Deney sonuçlarında performans göstergesi olarak seçilen yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş ve değişik sinyal gürültü oranları hesaplanmıştır.

4.1. ÖRNEK S/N HESAPLAMA

Çizelge 4.2’ de verilen Deney 1 sonuçlarına göre S/N hesabı örnek olarak aşağıda gösterilmiştir. Diğer sonuçlar doğrudan tabloya yazılmıştır.

“En küçük en iyi”

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

$$S/N = -10 \cdot \log. [1/3 \cdot [(2,505)^2 + (2,885)^2 + (2,405)^2]$$

$$S/N = -8,32 \text{ dB}$$

Çizelge 4.3. Her deney için S/N oranları ve ortalama Ra Tablosu

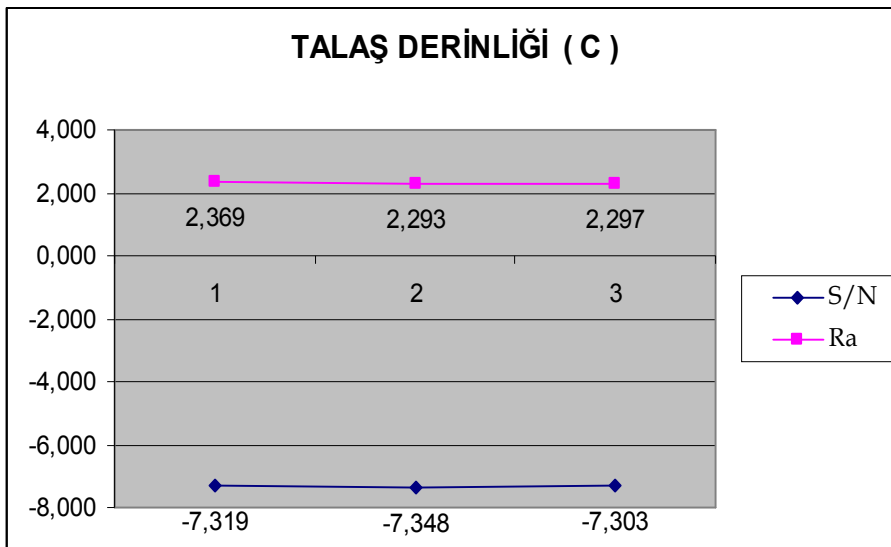
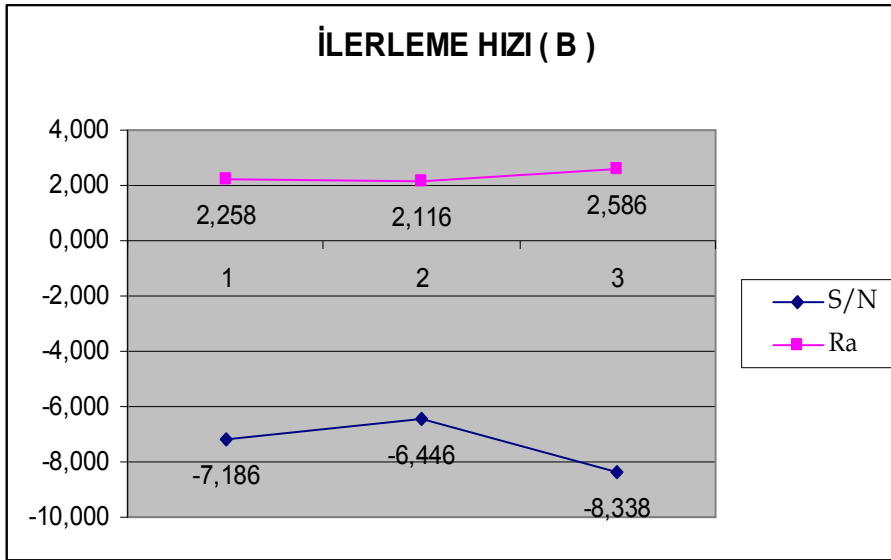
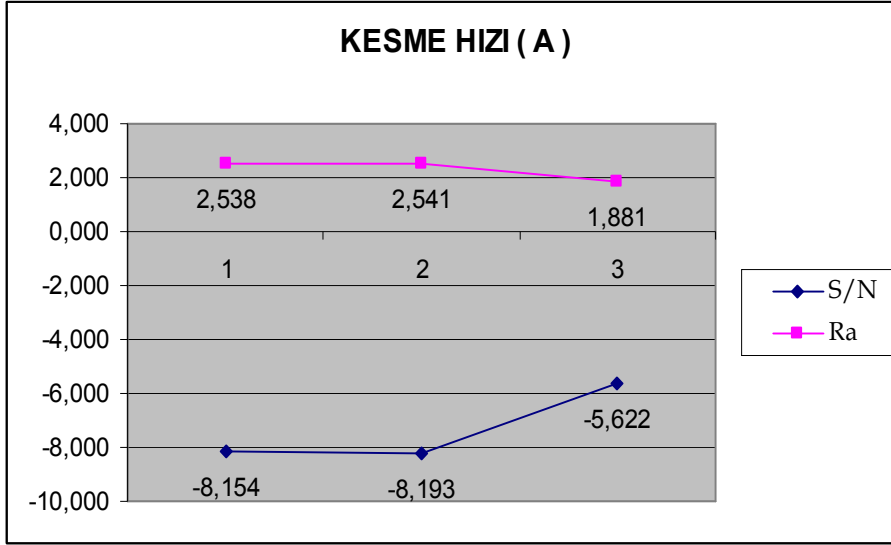
Deney No	Kesme Hızı m/dk	İlerleme Hızı mm/dk	Talaş Derinliği mm	Takım Dış Sayısı Adet	Ort. Ra µm	S/N
1	120	200	0,3	4	2,598	-8,321
2	120	250	0,5	5	2,327	-7,343
3	120	300	0,8	6	2,688	-8,798
4	160	200	0,5	6	2,358	-7,730
5	160	250	0,8	4	2,913	-9,312
6	160	300	0,3	5	2,877	-9,245
7	200	200	0,8	5	1,817	-5,506
8	200	250	0,3	6	1,633	-4,391
9	200	300	0,5	4	2,193	-6,970
					S/N top.	-67,615
					S/N ort.	-7,513

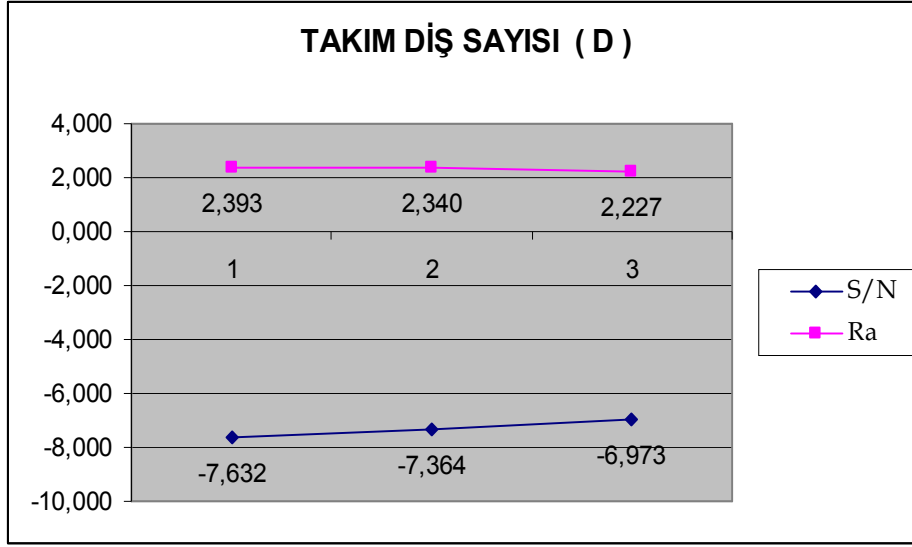
Çizelge 4.4. Yüze Pürüzlülüğü S/N Oranı

Sembol	Deney Faktörleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Max - Min
A	Kesme Hızı	-8,154	-8,19	-5,622	2,571
B	İlerleme Hızı	-7,186	-6,446	-8,338	1,892
C	Talaş Derinliği	-7,319	-7,348	-7,303	0,045
D	Takım Dış Sayısı	-7,632	-7,364	-6,973	0,659

Çizelge 4.5. ANOVA Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F oranı (F)	Katkı P(%)
A Kesme Hızı	2	13,0205	6,51025	564,57	67,34
B İlerleme Hızı	2	5,45285	2,72642	247,68	28,20
C Talaş Derinliği	2	0,00308	0,00154	0,28	0,02
D Takım Dış Sayısı	2	0,65983	0,32992	59,98	3,44
Hata	18	0,1990	0,0110	18,09	1,00
Toplam	26	19,3352	9,5681		100





Şekil 4.1. Kesme hızı, İlerleme, Talaş Derinliği ve Takım Diş Sayısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkileri ve S/N Oranları

4.2. DOĞRULAMA DENEYİNİN YAPILMASI

Deney sonuçları Varyans analizi metodu ile analiz edilmiş ve seçilen faktörlerin optimum değerleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Bu değerlerle doğrulama deneyi yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ra Değerlerine Göre Seçilen Faktörlerin Optimum Seviyeleri

A3	B2	C3	D3
200	250	0,8	6

Bu çalışmada, doğrulama deneyi parametreleri; Optimizasyon deney neticesinde bulunan parametreleri sonuçlarından (ABCD) seviyelerinin optimum sonuçları dikkate alınarak oluşturulmuş ve doğrulama deneyleri yapılarak sonuçları Çizelge 4.7' de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Doğrulama Deney Sonuçları

Deney 10		
Giriş Ra	Çıkış Ra	Ort. Ra
1	1,63	1,23
2	1,75	1,70
3	1,65	1,55
	ORT.	1,585
	ST. SAPMA	0,14807
	S/N	-4,03
“En küçük en iyi” $S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$		

Çizelge 4.8. Doğrulama Deneyi Sonucunda Elde Edilen Ra Değeri

Deney No	Optimum Parametreler	Ortalama Ra
Deney 10	A3B2C3D3	1,585

Deneyler sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu (A2B3C3D1) ile yapılan doğrulama deneylerinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri en iyi performans karakteristiği değerine ulaştığı için istenen durum gerçekleşmiştir.

4.3. EN İYİ SEÇİMİN TAHMİN HESAPLARIYLA DOĞRULANMASI

Tahmin hesabı yaparak test deneyinin sonuçları, önceden matematiksel olarak hesaplanabilmektedir.

$$F_t = A3 + B2 + C3 + D3 - 4x(\text{Ort.S/N}) \quad (27)$$

Burada;

F_t = Seçilen en iyi seviyelerin S/N değerlerinin $Nm(\text{ortalama})$ 'den farklarının toplamı,

Nm = Hesaplaması yapılan takım yolu için S/N değerlerinin aritmetik ortalaması,

$$N_{hd} = F_t + N_m \quad (28)$$

$$N_{hd} = \text{Deney için hesaplanan S/N oranı,} \quad (29)$$

$$R_{at} = 10^{\frac{-N_{hd}}{20}} \mu\text{m} \quad (30)$$

R_{at} = Tahmini yüzey pürüzlülük değeridir.

Eşitlik 27 'ye göre;

$$\begin{aligned} F_{\bar{t}} &= A3+B2+C3+D3-4x(\text{Ort.S/N}) \\ &= -5,622-6,446-7,303-6,973- 4 * (-7,323) \\ &= -26,948+29,292 \\ &= 2,344 \end{aligned}$$

$$N_{hd} = F_{\bar{t}} + N_m$$

$$N_{hd} = 2,344+(-7,323)$$

$$N_{hd} = -4,979$$

$$R_{at} = 10^{\frac{-N_{hd}}{20}} (\mu\text{m})$$

$$R_{at} = 10^{-(4,979)/20}$$

$$R_{at} = 1,774 \mu\text{m.}$$

Çizelge 4.9. Tahmin Hesabı Sonucunda Elde Edilen Tahmini Ra Değeri

Deney No	Optimum Parametreler	Tahmini Ra
Deney 10	A3B2C3D3	1,774

Deney sonucunda elde ettiğimiz Ortalama Ra değeri 1,585 μm ve hesap yoluyla elde ettiğimiz Tahmini Ra değeri 1,774 μm olmuştur.

Güven aralığı %95, gruplar arası serbestlik derecesi 2 ve grup içi serbestlik derecesi 27 için standart F değeri Ek-1'e göre ; $F_{0,05;2;18} = 3,55$ dir [25]. Deney sonucunda elde ettiğimiz Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri 1,585 μm ve hesap yoluyla elde ettiğimiz Tahmini Ra değeri 1,774 μm olmuştur. Deneyler sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu (A3B2C3D3) ile yapılan doğrulama deneylerinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri en iyi performans karakteristiği değerine ulaştığı için istenen durum gerçekleşmiştir.

Kesme hızındaki artışa bağlı olarak, yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme, beklenen bir özellik olup yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için kesme hızının artırılması, literatürde önerilen en yaygın yöntemdir. Kesme hızının artması ile

yüzey pürüzlülüğü iyileşmesinin, yüksek hızlarda artan sıcaklıktan kaynaklandığı ileri sürülmüştür [26].

Dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü ile ilerleme arasında doğru orantılı bir ilişki gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için, ilerleme değerlerinin düşürülmesi diğer yaygın bir uygulamadır [27].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇ

Tahmini Ra değeri ile deneyler sonucu elde edilen Ra değeri arasındaki 0,189 μm 'lik fark; Deneyler arasında işleme şartlarının değişkenliğine bağlanmıştır. Bununla birlikte her iki değerinde %95 güven aralığı değeri olan 3,55 μm değerinden küçük çıkması, Taguchi Metodu kullanılarak daha az deney sayısı, daha kısa zamanda dolayısı ile daha düşük maliyetle uygun sonucu aldığımızı göstermektedir.

Bu tez çalışmasında Frezeleme operasyonunda önemli bir performans kriteri olan yüzey pürüzlülük değerini etkileyen işleme parametrelerinin etki oranlarının belirlenerek optimum değerlerinin bulunabilmesi amaçlanmış ve Taguchi metodu kullanılarak yapılan 27 adet deneyin sonunda optimum değerlere ulaşılmıştır. Yapılan çalışmanın elde edilen sonuçları Çimsataş firmasında uygulamaya alınmış, yüzey pürüzlülüğü şikayetleri bertaraf edildiği gibi müşteri memnuniyetini sağlamak adına alınan önlemlerden dolayı artan maliyetler ortadan kaldırılmıştır. Bu çalışma sonucu elde edilen önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- 1) Yapılan deneylerde Kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü arasında ters bir orantı olduğu görülmüştür. Araştırmacılar artan kesme hızıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerinin azalmasını, hız artışıyla birlikte takım talaş temas uzunluğunun kısalmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına, bu yüzden de deformasyonların küçülmesine bağlamışlardır. Deneylerimizde yüzey pürüzlülüğüne etkileyen en önemli faktör kesme hızı olmuştur (%68,04).
- 2) Çalışma sonunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük sonuçları değerlendirildiğinde talaş derinliği ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğru orantılı bir ilişkinin olduğu görülmektedir. İlerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü oranı da artmakta yani yüzey kalitesi bozulmaktadır. Deneylerimizde yüzey pürüzlülüğünü ikinci etkileyen faktör olmuştur (%28,49).
- 3) Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerine çok önemli bir etkisi olmamıştır. Bu sonuç bize kullanılan parametrelerin içerisinde talaş derinliğinin, yüzey pürüzlülüğüne en az etkiyi yapan parametre olduğunu göstermektedir. Deneylerimizin sonucuna göre yüzey pürüzlülüğünü hemen hemen hiç etkilememiştir. Bunun sebebi deneylerimizi finiş yüzey operasyonlarında yaptığımızdan talaş derinliği değerlerini çok düşük değerlerde almış olmamızdır.

4) Takım diş sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi olmakla beraber deney sonuçlarımızda yüzey pürüzlülüğünü üçüncü derecede etkileyen faktör olmuştur (%3,45).

Taguchi, geliştirdiği ortogonal dizinler sayesinde yapılacak olan deneyleri önemli ölçüde azaltmış, bu da zaman ve maliyet kaybının artmasını engellemiştir. Tasarladığımız deney sonucunda istediğimiz amaca ulaşmak Taguchi Metodu ile daha hızlı olmaktadır. Taguchi Metodu'nun en büyük avantajı sonucu önceden tahmin edebilmesidir.

5.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada özgün değer olarak müşteri şikayetlerini ve artan işleme maliyetlerini azaltmak seçildiğinden deney faktörleri buna uygun olarak seçilmiştir. Çok daha az deney sayısı ile kısa zamanda çabuk ve sonuç veren Taguchi Metodu ile bu çalışmada kullanılan kesme parametreleri daha farklı değerlerde belirlenerek aynı zamanda işleme süreleri üzerinde optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilebilir. İşleme süreleri talaşlı üretimde maliyetin en önemli unsurlarından biridir.

Kalite geliştirme sürecine giren her işletme Taguchi'nin deney tasarımı yönteminden yararlanabilir. Ancak Taguchi'nin bu yaklaşımının Toplam Kalite Yönetiminin bir parçası olduğu unutulmamalıdır. Bu yüzden, tasarım çalışmalarına girecek işletmelerin bu yöntemi tek başına kullanmayarak TKY'yi de hayata geçirmeye çalışması gerekli olmaktadır. Kalite geliştirmenin çok önem kazandığı günümüzde, Taguchi ürün ve süreç tasarımı aşamasında daha yüksek kalitenin daha düşük maliyetlerle elde edilebileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Güllü, A., 1995. Silindirik Taşlamada İstenen Yüze Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 152s, Ankara.
- [2] Şahin, Y., 2000. Talaş Kaldırma Prensipleri 1. Nobel Yayın Dağıtım, 196, 562s. Ankara.
- [3] Sukvittayawong, S. ve Inasaki, I., “Optimization of Turning Process by Cutting Force Measurement”, JSME Int. J., Series III, Vol. 34, No. 4, (1991).
- [4] Akkurt, M., Talaş Kaldırma Yöntemleri Ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1992).
- [5] Çakır, M.C., 2000. Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri. Vipaş A.Ş., 158, 535s. Bursa.
- [6] Kırıcı, M., 1998. CNC Frezeleme İşlemleri için Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu. Süleyman Demirel Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57s, Isparta.
- [7] Korkut, I., Donertas, M.A., 2007. The Influence of Feed Rate and Speed on The Cutting Forces, Surface Roughness and Tool-Chip Contact Length During Face Milling. Materials and Design, 28, 308-312.
- [8] Özçelik, B., Bayramoğlu, M., 2006. The Statistical Modeling of Surface Roughness in High-Speed Flat end Milling. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46, 1395-1402.
- [9] Zhang Julie Z., Chen Joseph C., Kirby E. Daniel “Surface Roughness Optimization İn An End-Milling Operation Using The Taguchi Design Method”, Journal of Materials Processing Technology 184(2007) 223-239
- [10] İpekçioğlu, N., “Frezecilik”, Devlet Kitapları Basımevi, Ankara, 169-174 (1984).
- [11] Gezgin, A.,2007. Prizmatik Parçaların Frezelenmesi Esnasında, Kesici Uç Sayısının Takım Ömrü ve Yüze Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi. Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 112s, Ankara.
- [12] Güllü, A., 1995. “Silindirik Taşlamada İstenen Yüze Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla

- Optimizasyonu” Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 152s, Ankara.
- [13] Şahin, Y., 2001. Talaş Kaldırma Prensipleri 2. Nobel Yayın Dağıtım, 240, 490s. Ankara.
- [14] Neşel, S., 2006. “Tornalamada Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri”. Selçuk Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 148s, Konya.
- [15] Gadelmawla, E.S., Koura, M.M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M., Soliman, H.H., 2002. Roughness Parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 123, 133-135.
- [16] Bayrak, M., 2002. “Ç 1020, Ç 1040 ve 9SMNPB28 Çeliklerinin Talaşlı İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Uzman Sistemle Hesaplanan Deneysel Değerlerle Karşılaştırılması”. Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 155s, Ankara.
- [17] Montgomery, D. C. 2001. *Design and analysis of experiments*. 5th Edition, John Wiley, Wiley & Sons, New York.
- [18] Taylan, D., “Taguchi Deneysel Tasarım Uygulaması”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62s., 2009
- [19] Barker, T, B. 1986. *Quality engineering by design: Taguchi’s Philosophy*. *Quality Progress*, Vol. 19, No.12, pp. 32-33
- [20] Şirvancı, M., 1997. *Kalite için deneysel tasarımı*, Literatür yayınları.İstanbul, 110s.
- [21] Tang, J., Tang K., 1989. Design product specifications for multi-characteristic inspection, *Management Science*, Vol.35, No.6, p.743-755.
- [22] Connor, A.M., 1999. Parameter sizing for fluid power circuits using Taguchi Methods, *Journal of Engineering Design*, Vol.10, No.4.
- [23] Ross, P.J., 1996. *Taguchi techniques for quality engineering*, McGraw – Hill International book company, ISBN 0-07-114663-6, 1-73.
- [24] Hamzaçebi, C., Kutay, F., 2003. Taguchi metodu bir uygulama, *Gazi Teknoloji Üniversitesi, Dergisi*, Sayı:3-4, 7-17.
- [25] Dizdar, E.N., *Uygulamalı Olasılık ve İstatistik*, Academic Book Production, 208–209, Karabük, 2005.

- [26] Boothroyd, G. 1981. Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools International Student ed. 5th Printing, McGraw-Hill, ISBN 0-07-085057- 7, New York.
- [27] Sandvik Coromant Co. Inc., Modern Metal Cutting-A Practical Handbook Sweden, (1997).

EKLER

Ek-1 F Dağılımı Tablosu ($\alpha=0,05$)

sd*	sd PAY								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12

ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: Veysel KARA

Doğum Tarihi: 25/09/1971

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Lise	Dumlupınar Lisesi	1987-1988
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Üniversitesi	1992-1993
Yüksek Lisans	Fen Bilimleri Enstitüsü	Mersin Üniversitesi	2009-

(Varsa) Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Üretim Mühendisi	Çukurova İnş. Makinaları Ticaret ve San. A. Ş. MERSİN	1996-

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

- 1.
- 2.
- 3.