

**AISI 1040 ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İSTATİSTİKSEL İNCELENMESİ**

Mehmet YAKA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKNOLOJİ VE İNOVASYON YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

Danışman

Doç. Dr. Mehmet Burak BİLGİN

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Mehmet YAKA tarafından hazırlanan “AISI 1040 ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İSTATİSTİKSEL İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Amasya Üniversitesi Teknoloji ve İnovasyon Yönetimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Burak BİLGİN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

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



Başkan: Prof. Dr. Halil DEMİR

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi

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



Üye: Doç. Dr. Arif GÖK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

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



Tez Savunma Tarihi: 14/06/2019

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

.....
Doç. Dr. Meryem EVECEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Amasya 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.



Mehmet YAKA

14/06/2019

AISI 1040 ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İSTATİSTİKSEL İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet YAKA

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

İmalatta gider kalemleri fazla olduğundan dolayı maliyetler de büyük olmaktadır. Ayrıca imalat sektöründe çok düşük toleranslar talep edildiği için üretim esnasında planlamalar karmaşık bir hal almaktadır. İsteddiğimiz geometrileri üretebilmek, maliyetleri düşürmek ve iyi bir yüzey elde etmek için doğru kesme parametreleri belirlenmelidir. Yüzey bütünlüğünü ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin doğru seçilmesi, işleme sonunda kusurların minimum seviyeye indirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Bu tezde, tornalama işlemi ile silindirik parçaların imalatında en düşük yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için belirlediğimiz kesme parametrelerinin en uygun seviyelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğine göre Taguchi L9 ortogonal dizininde deney listesi oluşturulmuştur. Çalışmamızda deney numunesi olarak, günümüz imalat sanayisinde sıklıkla tercih edilen AISI 1040 imalat çeliği kullanılmıştır. Isıl işlem ile 41 HRc sertliğine sahip silindirik malzeme CNC torna tezgâhında işlenerek en düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği kesme şartları belirlenmiştir. İş paçaları, CVD yöntemi ile kaplanmış karpit kesici uç kullanılarak işlenmiştir. Deneyler soğutma sıvısı kullanılmadan kuru ortam şartlarında yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonunda iş parçalarının ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ölçülmüştür. Taguchi tasarımı ile sinyal/gürültü (S/N) oranları bulunmuştur. Deneylerin sonuçlarına göre üç parametre arasında ortalama yüzey pürüzlülüğü için en önemli etkiyi ilerleme parametresinin yaptığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda ANOVA analizi de ilerleme hızının Ra değerinde 95% güven düzeyinde olduğunu göstermiştir.

Sayfa Adedi : 41
Anahtar Kelimeler : AISI 1040, Taguchi Metodu, Tornalama, Yüzey Pürüzlülüğü
Danışman : Doç. Dr. Mehmet Burak BİLGİN

STATISTICAL ANALYSIS OF SURFACE ROUGHNESS FOR TURNING AISI 1040
STEEL

(Master Thesis)

Mehmet YAKA

AMASYA UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

The fact that the expense items of manufacturing expenditures are large and therefore the costs are also large. Also very low tolerances are demanded in the manufacturing sector, so planning becomes complicated during production. Correct cutting parameters must be determined to produce the desired geometries, reduce costs and obtain a good surface. Accurate selection of parameters affecting surface integrity and surface roughness plays an important role in minimizing defects.

In this thesis, in order to obtain the lowest surface roughness in the machining of cylindrical parts by turning operation, it is aimed to determine the most suitable levels of cutting parameters. For this reason, according to the cutting speed, feed and chip depth as cutting parameters, a test list was created in Taguchi L9 orthogonal array. In our study as a test sample, AISI 1040 manufacturing steel was used which is frequently preferred manufacturing industry today. Cylindrical materials obtained by heat treatment with 41 HRC hardness were machined in the CNC lathe machine to determine the cutting conditions that obtained the minimum surface roughness. Work pieces were machined with using CVD coated carbide insert. The experiments were carried out under dry conditions without the use of coolant. At the end of the experiments, the average surface roughness values (Ra) of the work pieces were measured. The signal/noise (S/N) ratios were found with Taguchi design. According to the results of the experiments, the most important effect for the average surface roughness among the three parameters was determined by the feed rate parameter. Furthermore, ANOVA analysis showed that the feed rate was 95% confidence level.

PageNumber : 41
KeyWords : AISI 1040, Taguchi Method, Turning, Surface Roughness
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Burak BİLGİN

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez konusunu bana veren, çalışmalarım boyunca destekleyen, yönlendiren ve yazımı sırasında bana zaman ayırarak yardımını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Mehmet Burak BİLGİN'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez dönemi boyunca benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok sevdiğim eşime ve aileme, çalışmalarım da laboratuvar imkânını bana sunduğu için Amasya Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölüm Başkanlığına teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. TEMEL KAVRAMLAR	7
3.1. Kesme Parametreleri.....	7
3.1.1. Kesme hızı.....	8
3.1.2. İlerleme oranı	9
3.1.3. Talaş derinliği.....	10
3.2. Takım Geometrisi	10
3.3. Yüzey Pürüzlülüğü.....	11
4. MATERYAL VE METOT	14
4.1. Deney Numunesi.....	14
4.2. Kesici Takım ve Takım Tutucu	15
4.3. Ölçü Aletleri.....	16
4.4. Deney Tasarımı	17
4.4.1. Taguchi deney tasarımı	18

	Sayfa
4.4.2. Varyans analizi.....	24
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	26
5.1. Taguchi Deney Tasarımı.....	26
5.2. Varyans Analizi Sonuçları	28
5.3. Taguchi Tahmini için Kontrol Deneyleri.....	29
5.4. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri	29
5.5. Yüzey pürüzlülüğü ve Sinyal/Gürültü (S/N) oranları	32
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER.....	34
KAYNAKLAR.....	36
EKLER	39
ÖZGEÇMİŞ.....	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. AISI 1040 imalat çeliğinin kimyasal içeriği	15
Çizelge 4.2. Mitutoyo SJ-210 teknik özellikleri	16
Çizelge 4.3. Kesme parametreleri ve seviyeleri.....	17
Çizelge 4.4. ACE LT-20C marka CNC torna tezgâhının teknik özellikleri	18
Çizelge 5.1. L ₉ dizininde deney listesi.....	26
Çizelge 5.2. L ₉ dizinine göre ortalama yüzey pürüzlüğü (Ra) ve S/N oranları	27
Çizelge 5.3. Kesme faktörlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğünün S/N değeri cevap çizelgesi	27
Çizelge 5.4. Faktörler ile S/N oranlarının ilişkisi	28
Çizelge 5.5. Taguchi tahmini ve deney sonuçları arasındaki fark	29
Çizelge Ek.1. Taguchi ortogonal dizini çeşitleri.....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Tek noktadan kesme yapan sağ yan kalemi.....	10
Şekil 3.2. Yüzey pürüzlülüğü profili.....	13
Şekil 4.1. Tornalama operasyonu şeması.....	14
Şekil 4.2. SANDVIK CVD Ti (C, N) + Al ₂ O ₃ + TiN kaplamalı karpit kesici uç	15
Şekil 4.3. SANDVIK DDJNR 2525M 15 takım tutucu.....	16
Şekil 4.4. Deneyleerde kullanılan CNC torna tezgâhının resmi.....	18
Şekil 5.1. Faktör seviyelerinin S/N oranının en küçük - en iyiye göre Ra grafiği.....	28
Şekil 5.2. Kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	30
Şekil 5.3. İlerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	31
Şekil 5.4. Kesme hızı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	31
Şekil 5.5. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ve S/N oranı grafiği	32
Şekil 5.6. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü ve S/N oranı grafiği	33
Şekil 5.7. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü ve S/N oranı grafiği	33

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

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

Simgeler

Açıklama

S/N	Sinyal gürültü oranı
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
VB	Yan yüzey aşınması
V	Kesme hızı
f	İlerleme miktarı
a	Talaş derinliği
n	Devir sayısı
D	İş parçası büyük çapı
d	İş parçası küçük çapı

Kısaltmalar

Açıklama

DIN	Alman Endüstri Normu
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
ANSI	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
VDA	Avrupa ve Alman Otomotiv Endüstrisi Tedarikçisi
3D	Üç boyutlu
CNC	Bilgisayarlı sayısal kontrol
CBN	Kübik bor nitrür
CLA	Merkez çizgi ortalaması

1. GİRİŞ

Günümüzde yüksek kalitede ürünler elde etmek için çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca çalışmalarda da düşük insan gücü ile daha az bir zamanda daha fazla üretim yapmak amaçlanmaktadır. CNC tezgâhlarının kullanımı ile seri üretim yapmak daha kolay hale gelmiş ve imalat sektörü de buna paralel olarak büyümüştür. Üretim esnasında talaş kaldırarak yapılan çeşitli talaşlı imalat yöntemleri vardır. Tornalama işlemi bunlardan bir tanesidir. Diğer talaş kaldırma yöntemlerine göre tornalama işlemi, daha hızlı yapılabilmekte ve işlenen parçalarda yüzey kalitesi daha iyi olmaktadır. Bu nedenle önemli bir talaş kaldırma yöntemidir [1].

Teknolojinin gelişmeye başladığı ilk dönemlerde talaş kaldırmayı etkileyen parametreler, takım aşınması, takım ömrü ve yüzey kalitesini etkileyen faktörler fazla önemsenmiyordu. Ancak talaşlı imalatta, seri imalatın önemli olduğu günümüzde, bu faktörler büyük önem kazanmaktadır [2].

Talaş kaldırarak yapılan üretim, imalat sanayisinde en önemli üretim şekliendir. Globalleşen bir dünyada üreticinin, ayakta kalarak rekabet edebilmesi için; en az maliyetle ve en az süre içerisinde, ürettiği parçayı istenen kalitede ve boyutlarda imal etmesi gerekmektedir. Ayrıca imalattaki amaç, hammaddeyle nihai ürünün arasında dönüşüm sağlamaktır. Bu dönüşümü sağlayabilmek için birçok farklı teknolojik metotlar kullanılmaktadır. İmalat usulleri diye adlandırılan bu teknolojik metotlar, talaşsız imalat metodu ve talaşlı imalat metodu diye iki ana grupta ele alınabilir. Bu iki ana grubun arasındaki farklar; talaşlı imalat metotlarında hammadde ile ürün dönüşümü esnasında hammaddenin üzerinden bir miktarı talaşın kaldırılmasıyla, talaşsız imalat metotlarında da hammaddenin üzerinden hiç talaş kaldırmaksızın dönüşümü sağlayarak ürünün elde edilmesidir [3].

Talaşlı imalat metotlarının kullanılması ile üretilen makine parçalarında yüzeyin kalitesi birden çok değişkenden etkilenecek değişmektedir. İşlenen malzemenin kaliteli olup olmadığını etkileyen en mühim faktörlerden birisi işlenmiş bir yüzeyin yapısıdır. Parçalarda elde edilen yüzey kalitesini de kesme parametrelerini doğru seçerek elde edebiliriz.

Makineleri oluşturan parçaların yüzeyleri ayrı ayrı incelendiğinde, birbirine benzeyen yüzeylerin az olduğu görülmektedir. Bu benzerlik, özellikle yüzey pürüzlülüğü açısından

çok önemlidir. İşleme sürelerinin fazla olması maliyetin yükselmesine neden olur. Bu sebeple, işleme süresi minimum sürede ve yüzey kalitesi de en iyi düzeyde olması gerekmektedir.

Bu çalışma ile tornalama operasyonlarında üretime başlamadan, iş parçası üzerindeki ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin tahmin edilebilmesi ve istenen değerlerin kontrol altında tutulması için deneysel model geliştirilmesi hedeflenmiştir. CNC tornalama işleminde giriş parametreleri için kesme hızını, ilerlemeyi ve talaş derinliğini kullanarak proses sonucunda Ra değerleri ölçülmüştür. Çalışmamızda, imalat sanayinde çok sık kullanılan 41 HRC sertliğindeki AISI 1040 imalat çeliği CNC torna tezgâhında herhangi bir soğutucu sıvı veya gaz kullanmadan kuru kesme ile tornalanmıştır. En düşük ortalama yüzey pürüzlülüğüne ulaşabilmek adına kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinden oluşan parametrelere göre Taguchi L₉ deney tasarımında deney listesi yapılmıştır. Bu deneylerin neticesinde yüzey kalitesi olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerine bakılmıştır. Ölçtüğümüz Ra değerleri Minitab18 programı yardımı ile deney tasarımı oluşturulmuştur. Deney tasarımı ve yüzey pürüzlülüğü optimizasyonları için Taguchi metodundan yararlanılmıştır. Yapılan analizler neticesinde en etkin parametreler ve optimum seviyeler belirlenmiştir. Ayrıca parametrelerin etki düzeyi ANOVA testi ile tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları talaşlı imalatın izlenmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu için de kullanılabilir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Günümüzde metallerin işlenmesi sırasında malzemeleri aynı kalitede üretilebilmek için çok farklı deneyler yapılmaktadır. Metallerin işlenmesinde büyük öneme sahip olan işleme parametreleri, malzeme yüzeyinin pürüzlülüğünde ve işleme sırasında oluşan kesme kuvvetlerinde ciddi önem arz etmektedir. İşlenen malzemenin yüzey yapısı, ürün kalitesi bakımından önemli bir kriterdir [4]. Malzemenin kullanıldığı alanlara göre yüzey pürüzlülüğünün düşük olması sürtünmeyi de azaltacağı için çalışan sistemin verimini artırır ve aynı zamanda kullanılan malzemenin uzun ömürlü olmasını sağlar [5]. İşlenen malzemelerin yüzey pürüzlülüğü üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Rizvi ve Ali (2016) yaptıkları çalışmada EN8 çeliğini CNC tornada işlemişler ve yüzey pürüzlülüğünün en düşük çıktığı kesme parametrelerini belirlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerini 3D Yüzey grafik metoduyla incelemişler ve elde ettikleri sonuçları Taguchi metoduyla analiz ederek optimum kesme parametrelerini bulmuşlardır [6].

Mer ve Diniz (1994) yapmış oldukları çalışmalarında, farklı kesme parametreleri altında finiş tornalama işlemi esnasında meydana gelen titreşim yoluyla iş parçasındaki yüzey pürüzlülüğü değişimini ve takım aşınmasının izlemeye çalışmışlardır. Sonuçlar takım titreşimlerinin finiş tornalamada yüzey pürüzlülüğünün tahmininde on-line izlemenin iyi bir yol olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu verileri kullanılarak tornalama işleminde takım ömrü ilişkisini de kurmuşlardır [7].

Thomas ve ark. (1996) yapmış oldukları çalışmalarında tornalama işleminde orta karbonlu çeliğin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve titreşimleri ölçerek bunların analizini yapmışlardır. Giriş parametresi olarak: kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği, takım uç radüsü, takım bağlama uzunluğu ve iş parçası uzunluğunu almışlardır. Çıkış olarak da yüzey pürüzlülük değerini ve titreşim değerini almışlardır. Titreşim analizinde dinamik kuvvetleri göstermişlerdir [8].

Jang ve ark. (1996) kontrol algoritmalarıyla makine parçalarının işlenmesinde gerçek zamanlı üretim sistemini geliştirmişlerdir. Yaptıkları algoritma ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, titreşim, kesici takım ve iş parçası arasındaki etkileşimini ayrıntılı olarak rapor etmişlerdir [9].

Yang ve Tarn (1998) çalışmalarında deney tasarımında Taguchi yöntemini optimum kesme

parametrelerinin bulunmasında kullanmışlardır. Deneylerinde S45C çeliğini karbür kesici takım ile işlemişlerdir. Kesme hızını, ilerlemeyi ve talaş derinliğini kesme parametreleri olarak seçmişlerdir. İşlemeler sonunda takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçları sinyal gürültü oranları ile ve varyans analizi ile değerlendirmişlerdir. Çalışmalar sonucunda optimum değerleri elde etmişlerdir [10].

Kartal (2000) çalışmasında St33 ve St52 çelik malzemelerini işlemişlerdir. İşlemelerde sert maden uçlu takım kullanmışlardır. Kesme parametreleri için kesme hızını, ilerlemeyi ve talaş derinliğini seçmişlerdir. Deneyler sonunda buldukları değerleri varyans analizi (ANOVA) ve Taguchi ile optimizasyon yaparak kullanılan kesme parametreleri arasında uygun olan kesme parametre seviyelerini ve etkin parametreyi bulmuşlardır. Kesme parametrelerinde optimizasyon yardımı ile ciddi anlamda takım aşınmasını minimum seviyede tutmuşlar ve işlenen yüzeyin kalitesinde iyileştirme sağlamışlardır [11].

Thiele ve Melkote (2000) yapmış oldukları çalışmalarında AISI 52100 çeliğine finiş tornalama işlemi uygulamışlardır. Çalışmalarında kesici takım kenar geometrisi ve iş parçası sertliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Kesici takım olarak CBN (Cubic boron nitride) kesici uç kullanmışlardır. Kesme kenarının ve malzeme sertliğinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini istatistiksel olarak ortaya koymuşlardır. Büyük kenar bilemesinin aksenel, radyal ve teğetsel yönlerde küçük kenar bilemesine göre yüksek kuvvet istediği sonucuna ulaşmışlardır [12].

Huang ve Chen (2001) yaptıkları çalışmalarında yüzey pürüzlülük değerinde çoklu regresyon modelini oluşturmuşlardır. Bağımlı değişken olan Ra'ya, bağımsız değişkenlerin etkilerine bakmışlardır. Bağımsız değişken olarak kesme hızını, ilerlemeyi, talaş derinliğini ve titreşimi seçmişlerdir. Bu denklem neticesinde ilerlemenin en etkin parametre olduğu ortaya çıkmıştır [13].

Chou ve ark.'na (2002) göre, sert çeliklerin CBN uç ile tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve yan yüzey aşınmasını çeşitli parametrelerin etkileriyle benzer yaklaşımlar kullanarak elde etmişlerdir. Faktör olarak kesme hızı, CBN'nin yüzde içeriği ve kesicinin uzunluğunu belirlemişlerdir. CBN takım ile finiş sert tornalama işlemi için sadece bu faktörlerin etkilerini araştırmışlardır [14].

Özlü ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmada sıcak dövme sonrası yüksek soğuma

hızlarında soğutulan AISI 5140 çeliğinin mekanik özelliklerinin ve kesme parametrelerinin işlenebilirliğe etkisini incelemişlerdir. Numuneleri sıcak şekillendirme sonrası yağda ve polimerize suda soğutmuşlar ve mikro yapıları ile sertliklerini kıyaslamışlardır. Numuneler kuru kesme şartlarında, seramik kaplamalı kesici uç ile tornalamışlardır. Tornalama işlemini beş farklı kesme hızında, dört farklı ilerleme oranında ve dört farklı talaş derinliğinde yapmışlardır. Ayrıca kesici uçların SEM görüntülerine bakmışlardır. Malzemenin sertliği ve mikro yapısı kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğüne önemli derecede etki ettiği sonucuna varmışlardır. En yüksek kesme kuvveti polimerize suda soğutulmuş ve sertliği en yüksek olan numunede çıkmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü de aynı numunede çıkmıştır [15].

Kopac ve ark. (2002) torna tezgâhında C15 E4 çeliğinin işlenmesinde değişken olarak kesme hızı, kesici takım malzemesi, iş parçası malzemesi, ilerleme ve talaş derinliği değerlerini almışlardır. Bu değişkenlere bağlı yüzey pürüzlülüğü değerlerini elde etmişlerdir. Deneysel tasarımda iki seviyeye ve 13 serbestlik derecesine sahip L_{16} Taguchi ortogonal dizini kullanmışlardır. Sinyal gürültü oranlarının hesaplanmasında “daha küçük, daha iyi” kalite belirleyicisini seçmişlerdir. Kesme hızı en büyük etkiye sahip kontrol parametresi olmuş ve daha yüksek kesme hızları ile daha iyi yüzey pürüzlülüğü değeri elde etmişlerdir [16].

Çaydaş ve Hasçalık (2005) çalışmalarında, ısıl işleme tabii tutulan AISI 4340 çeliğini, farklı işleme koşullarında tornalamışlar ve taşlamışlardır. Deneyler sonunda numunelerin yüzey pürüzlülüğünün gösterdiği değişimleri incelemişlerdir. İş mili dönme hızının arttığında yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düştüğü, ilerleme oranı ve talaş derinliği miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yükseldiğini görmüşlerdir [17].

Aslan E. ve ark. (2007) sertleştirilmiş AISI 4140 (63 HR_C) çeliğini Al₂O₃+TiCN kaplamalı seramik uçla torna tezgâhında işlemişlerdir. Aşınma direnci ve yüksek sertlik sırasında, Al₂O₃ esaslı seramiklerin sert çelik işlenmesinde kesici takım olarak çok uygun olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmalarında Taguchi yöntemiyle deneysel çalışmalarının optimizasyonunu sağlamışlardır. Kesme parametreleri için kesme hızı olarak 100, 175, 250 m/dk, ilerleme miktarı olarak 0,05, 0,10, 0,20 mm/dev. ve talaş derinliği olarak 0,25, 0,50, 1 mm değerlerini belirlemişlerdir. Deneylerinde yan yüzey aşınması (VB) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri için 27 deneyden oluşan tam faktöriyel deney yöntemini uygulamışlardır. Elde edilen sonuçları varyans analizi (ANOVA) ile analiz etmişlerdir. Sonuç olarak; VB değerinin kesme hızı arttıkça azaldığını, ilerleme arttıkça önce azalıp

sonra arttığı, talaş derinliği arttıkça arttığını; ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinin kesme hızı arttıkça azaldığı, ilerleme arttıkça arttığı, talaş derinliği arttıkça düşük ilerleme miktarında azaldığı yüksek ilerleme miktarında giderek arttığını gözlemlemişlerdir. En uygun değerleri VB için kesme hızının 250 m/dk., talaş derinliğinin 0,25 ya da 0,50 mm; Ra için kesme hızının 250 m/dk, ilerleme miktarının 0,10 mm/dev., talaş derinliğinin 0,25 mm değerlerini belirlemişlerdir [18].

Jayant ve Kumar (2008) çalışmalarında deney malzemesi olarak sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğini karbür kesici uç kullanarak işlemişlerdir. Elde ettikleri değerleri Taguchi Metodu ve varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirerek en ideal işleme parametrelerini bulmuşlardır [19].



3. TEMEL KAVRAMLAR

3.1. Kesme Parametreleri

Talaş kaldırma operasyonu her ne şekilde yapılıyor olursa olsun temel kesme parametreleri genel olarak değişmemektedir. Tornalama işleminde uygun kesme hızı ve ilerleme seçilmediği takdirde iş parçası yüzeyi bozuk çıkabilir. Aynı zamanda istenen sürede de imalat yapılamayabilir. Bu da üretim maliyetinde artışa neden olur. Tornalama işleminde ki kesme parametreleri; kesme hızı, kesici takımın ilerleme hızı, talaş derinliğidir (paso miktarı).

Talaşlı imalat işlemi en önemli imalat metotlarından biridir. Döküm yöntemi, dövme ve haddeme ile üretilen ürünlerin ve diğer talaşsız imalat metotları ile şekillendirilen mühendislik malzemelerinin kullanmaya hazır olabilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat işlemleri gereklidir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasının istenen geometride işlenebilmesi için üzerinde bulunan fazla malzeme uygun takım tezgâhlarında (torna, freze, matkap, vs.) ve uygun kesici takımlar kullanarak talaşlar halinde uzaklaştırılmasıyla, istenen boyutlarda ve yüzey kalitesinde ürünler elde edilir. Birçok alanda çoğu ürüne son şekli talaşlı imalat işlemi ile verilir. Kalıp sanayisi, otomotiv ve havacılık sektörü, uzay sanayisi gibi endüstriyel alanların çoğunda talaşlı imalat işlemleri yaygın kullanılmaktadır. Tornalama, frezeleme, vargelleme ve delme talaşlı imalat işlemlerine örnek olarak verilebilir.

Talaşlı imalat işleminde kesme oluşumunun temeli, kesici takımın önünde iş parçasında meydana gelen plastik deformasyon ve plastik deforme meydana gelen bu katmanın da talaş haline dönüşmesi ile gerçekleşir. Genellikle metal malzemelerin işlenmesinde bu yöntem kullanılmaktadır. Ancak başka malzemeler de istenirse bu yöntem ile şekillendirilebilmektedir.

Takım tezgâhlarında birbirinden farklı malzemelere talaş kaldırma işlemi uygulandığında giriş veri parametrelerinin uygun olarak belirlenmesi gerekmektedir. Tornalama işleminde giriş parametreleri; kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliğidir. Girilecek olan devir sayısı miktarı da belirlenen kesme hızına bağlıdır. Kesme hızının belirlenmesinde de ilerlemenin ve talaş derinliğinin yanı sıra diğer faktörlere bağlı olarak en uygun kombinasyonu belirleyebilmek için çok tecrübeye ve deneye bağlıdır. Daha önce yapılan deneyler ile uygun değerler için çizelgeler oluşturulmuştur. Ancak malzemelerin devamlı çeşitlenmesi, kesici

takımların iyileştirilmesi ile yeni kesme hızlarının belirlenmesi gereklilik haline gelmektedir. Oluşturulan çizelgelerde kullanılmış olan işleme parametreleri; işleyeceğimiz malzemeye, malzemenin sertliğine ve kesici takımın malzemesine göre düzenlenir. En uygun kesme koşullarını sağlayabilmek için kesme hızı ve ilerleme miktarı doğru ayarlamamız gereken en önemli iki parametredir.

Karmaşık şekillerdeki parçaları işlenirken kesme hızı kesme yapılan parçanın çapına göre değişebilir. Tornalama işleminde kesme hızı, kesici uç boyunca sabit olduğu düşünülür. Son yıllarda geliştirilen bilgisayar kontrollü tezgâhlarda (CNC) iş parçasının çapı değişse bile tezgâh durmadan fener mili hızı değişir ve istenen kesme hızı kapasitesi elde edilir. Tornalama işleminde ilerleme miktarı 0,0135 mm/dev.'e kadar düşebilir. Bazı kesme şartlarında da 3,5 mm/dev.'e kadar çıkarılabilmektedir. Talaş derinliği ise kullanılan takımın geometrisine göre 0 mm'den 13,5 mm'ye hatta daha da üzerine çıkabilmektedir.

3.1.1. Kesme hızı

Kesme hızı, iş parçasının dönerek yaptığı hareketi sabit bir kesici takıma göre iş parçasının üzerinde bulunan bir noktadan kesici takımın bir dakika içinde metre olarak almış olduğu yola denmektedir. Kesme hızının simgesi için genellikle V harfi kullanılır. Genellikle uygulamalarda birimi dakika cinsinden aldığı yola göre m/dk. diye ifade edilmektedir. Örnek verilecek olursa, işlenecek malzemenin kesme hızı 150 m/dk. ise bir dakika içerisinde kesici takımın bir noktasının iş parçasının etrafında 150 m mesafe kat etmesi demektir. Kesme hızının şematik olarak resmi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Üretim esnasında kesme işlemi mümkün olan en kısa zamanda yapılması istenmektedir. Bu sebeple de işleyeceğimiz malzemenin cinsine göre doğru ve uygun olan kesme hızını kullanmamız gerekmektedir.

İşleme sırasında kesme hızının çok yüksek seçilmesiyle; kesici takımın ucu daha hızlı aşınır ve kesici takım bozulur. Kesici takımın tekrar eski haline dönebilmesi için ya bileme yapılması ya da yerine yeni bir kesici takım ayarlanması gerekmektedir. Yapılan bu işlemler de imalat esnasında hem zaman kaybına yol açar hem de üretimin maliyetini arttırır.

Kesme hızının çok düşük seçilmesi durumunda da iş parçasını işleme süresi artar ve zaman kaybına neden olur. Aynı zaman da üreteceğimiz parça miktarında azalma olur. Fakat bazı durumlarda değişik faktörler nedeniyle kesme hızı değerinde küçük değişiklikler yapmak

gerekmektedir. Örneğin, kesme hızı belirlenirken tezgâhın durumu, iş parçasının cinsi, işlenecek malzemenin sert veya yumuşak olması gibi durumlar göz önünde bulundurulur. İşleme esnasında fener milinin dönme hızını hesaplayabilmemiz için uygulayacağımız kesme hızını ve iş parçasının dış çapını bilmemiz gerekmektedir. İş parçası dönme hızının veya tezgâh devir sayısının işlediğimiz parçanın dış çapına bağlı olduğundan kesme hızıyla devir sayısı arasındaki ilişkinin denklemi (3.1)'deki eşitlikte verilmiştir.

$$V=\pi.D.n/1000 \quad (3.1)$$

Yukarıdaki eşitliğe göre; iş parçası çapı D ile verilmiştir. Birimi ise mm'dir. Kesme hızının sembolü V ile verilmiş ve birimi m/dk.'dir. İş parçası devir sayısı da n ile gösterilmiştir. İş parçasının bir dakikada yapmış olduğu devirdir ve birimi dev./dk.'dir. Denklemde ki 1000 sayısı da mm'yi m'ye dönüştürmek içindir. Makine imalat sanayinde ölçüler mm cinsinden verilmektedir. Tornalama, frezeleme, delme gibi bütün talaş kaldırarak yapılan işlemlerde bu eşitlik geçerlidir. Öncelikle işlenecek olan malzemeye göre uygun kesme hızı belirlenir ve bu kesme hızına göre denklemden iş parçasının dönme hızı yani iş parçası devir sayısı hesaplanır.

3.1.2. İlerleme oranı

Tornalama operasyonunda ilerleme oranı (miktarı) iki şekilde bilinmektedir. Bunlardan birincisi, iş parçasının kendi etrafında bir tam tur dönüşünde kesici takımın iş eksenini boyunca almış olduğu yoldur. Birim olarak mm/dev. ile gösterilir. İkinci tanımı ise, kesici takımın birim zamanda iş eksenini boyunca almış olduğu mesafeye denir veya her bir pasoda kaldırılan malzeme miktarıdır. Burada da birimi mm/dk. olarak ifade edilir. İlerleme oranı f harfi ile gösterilmektedir. Tornalama işlemlerinde genellikle kesici takım iş parçasının dönme eksenine paralel olarak hareket eder. Ancak alın tornalama esnasında kesici takım iş parçası dönme eksenine dik olarak ilerler. İşleme türlerine bağlı olarak ilerleme miktarının birimi mm/dev (her devirde aldığı yol) olarak gösterildiği gibi, mm/diş şeklinde de olabilir (her çevrimdeki mm veya her dişteki ilerleme). İlerleme miktarının şematik resmi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

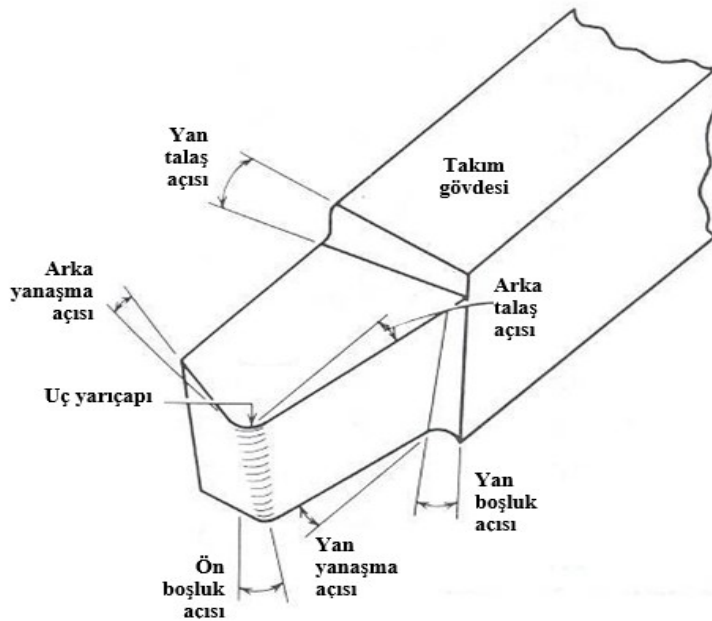
3.1.3. Talaş derinliği

Talaş derinliği (Paso miktarı), talaş kaldırma işleminde üçüncü boyutu göstermekte olup kesici takımın iş parçası dönme eksenine dik bir şekilde dalarak aldığı mesafedir. İş parçasının ilk çapı (D) ile kesici takımın dik olarak dalmış olduğu son çap (d) arasındaki farkın yarısına eşittir. Talaş derinliği sembol olarak genellikle a harfi ile gösterilmektedir, Talaş derinliğinin birimi mm'dir. Talaş derinliği diğer bir tarif ile de iş parçası üzerinden kaldırılan malzemenin kalınlığıdır. Talaş derinliğinin denklemi (3.2)'de verilen eşitlik ile ifade edilir. Talaş derinliğinin şematik resmi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

$$a=(D-d)/2 \quad (3.2)$$

3.2. Takım Geometrisi

Talaşlı imalat işleminde etkili bir kesme yapabilmek için kesici takım uygun geometride olmalıdır. Tek noktadan ve çok noktadan kesme yapan kesici takımlar vardır. Tek noktadan kesme yapan takımlar için geçerli olan kurallar çok noktadan kesme yapan takımlar için de geçerlidir. Tornalamada genellikle tek noktadan kesme yapan takımlar kullanılmaktadır. Şekil 3.1'de tek noktadan kesme yapan bir sağ yan kesici takımının şekli verilmiştir.



Şekil 3.1. Tek noktadan kesme yapan sağ yan kalemi

Kesici takımın geometrisi aslında takımın malzemesi ve iş parçasının malzemesine bağlıdır. Şekil 3.1'den de anlaşıldığı gibi kesici takımın üzerinde farklı açılar bulunmaktadır. Bu açıların en önemli olanları talaş açısı ve boşluk açısıdır. Talaş açısı kesme sırasında meydana gelen kaymayı ve talaşın oluşmasını etkiler. Talaş açıları pozitif veya negatif olabilir. Talaş açıları pozitif olduğu durumlarda kesme kuvvetlerini düşür ve iş parçası, kesici takım ve takım tezgâhlarında sapmanın daha az olmasını sağlar. İşlenen parça sert ise talaş açısının küçük olması gerekir. Sementit karbür, seramik ve elmas kesici takımlarda negatif bile olabilir. Yüksek hız çeliğinden yapılan kesici takımlarda talaş açısı kesici takımın tipine ve iş parçasının malzemesine göre normalde pozitif olarak belirlenir.

Kesici takımlarda talaş açısı doğru belirlenmesi kayma düzlemi açısında ve talaşı sıkıştırmada önemlidir. Talaş açısı küçük olursa talaş iyi bir şekilde sıkıştıramaz. Bu da sürtünmeyi ve takıma gelen kuvvetleri arttırır. Sonuç olarak da daha kalın, daha sıcak ve fazla deformasyona uğramış talaş meydana gelir. Talaş açısını arttırdığımızda sürtünme, kuvvetler ve talaş sıkıştırılması azalır. Sonuç olarak da daha ince, daha az sıcaklıkta ve daha az deformasyona uğramış talaş elde edilir. Talaş açıları çok büyük olduğunda da kesici takımın dayanımı azalacaktır. Bu da göz önünde bulundurulmalıdır.

Genel olarak, talaşlı imalat işlemlerinde güç tüketimi her bir derece talaş açısı için yaklaşık olarak % 1 azalır. Kama açısı, kesici takımın dayanımını ve ısı iletme kabiliyetini belirler. Boşluk açıları esas olarak takım ömrünü ve iş parçası yüzey kalitesini etkiler. Kesici takımdaki ve iş parçasındaki sapmaları (eğilmeleri) azaltmak ve iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için büyük boşluk açıları gereklidir. Yüksek hız çeliği için 5–10 derece arasındaki boşluk açıları normaldir. Küçük değerler sert malzemeler için tercih edilir. Sementit karbürler için ise dayanımı arttırmak için küçük boşluk açıları gereklidir.

3.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Çeşitli metotlarla imal edilen bir iş parçası bu işlemler esnasında çeşitli mekanik, fiziksel, ısıl ve kimyasal etkilere maruz kalır ve dolayısıyla bu parçanın yüzeyinin özellikleri genellikle bu parçanın iç tarafının özelliklerinden önemli derecede farklılıklar gösterir. Bir parçanın mekanik özelliklerini genellikle parçanın iç tarafı (gövdesi) belirlemesine rağmen, imal edilen bir parçanın yüzeyi önemli bazı özellikleri ve nitelikleri doğrudan etkiler. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

1. Daha sonraki işlemlerde takımlarla ve kalıplarla doğrudan temas ettiğinde veya kullanılacağı yerde sürtünme ve aşınma özelliklerini,
2. İmalat işlemi esnasında ve aynı zamanda kullanılacağı yerde yağlayıcının etkinliğini,
3. Parçanın görünümünü ve geometrik özelliklerini ve parçanın maruz kalacağı boyama, kaplama, kaynaklama, lehimleme ve birleştirme işlemlerini ve aynı zamanda korozyon direncini,
4. Yorulma veya diğer kırılma mekanizmaları vasıtasıyla parçanın zayıflamasına ve daha kısa sürede kırılmasına neden olan yüzey kusurlarından (pürüzlülük, çizikler oluklar), izler ve ısıdan etkilenmiş bölgeler gibi) dolayı kırılma başlangıcını,
5. Temas eden yüzeylerin ısı ve elektrik iletkenliğini etkiler. Örneğin, kaba yüzeyler ince yüzeylerden daha yüksek ısı ve elektrik direncine sahiptir.

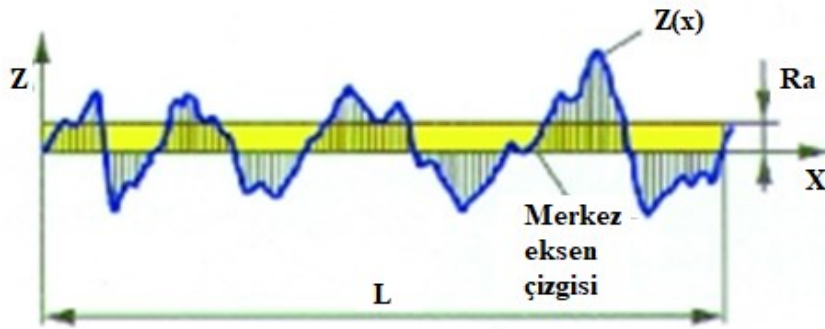
Sürtünme, aşınma ve yağlama yüzey özellikleri olup *triboloji* olarak isimlendirilir. Sürtünme, kuvvetleri, güç gereksinimini ve parçaların yüzey kalitesini etkiler.

Yüzey bütünlüğü yalnızca yüzeylerin geometrik özellikleri ile ilgili olmayıp aynı zamanda yüzeylerin mekanik ve metalurjik niteliklerini de tanımlar. İmalat işlemlerinde yüzey bütünlüğü dikkate alınması gereken önemli bir faktördür çünkü yüzey bütünlüğü imal edilen bir parçanın yorulma dayanımını, korozyon direncini ve çalışma ömrünü etkilemektedir.

Parçanın imal edilmesinden veya imal edilme esnasında meydana gelen çeşitli kusurlar, kusurlu yüzey bütünlüğünün nedenidir. Bu kusurlar çoğunlukla orijinal iş parçasındaki kusurlardan, yüzeyin imal edilmesi metodundan ve aşırı derecede gerilme ve sıcaklığa neden olan işlem parametrelerinden kaynaklanmaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü genel olarak iki metotla belirlenir: aritmetik ortalama değer (R_a) ve kareköklerin ortalaması (R_q). Daha önceleri merkez çizgi ortalaması (CLA) olarak da tanımlanan aritmetik ortalama Şekil 3.2’de şematik olarak gösterilen bir yüzeyin pürüzlülüğünün ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Aritmetik ortalama değer (R_a) aşağıdaki eşitlikle belirlenmektedir:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx \quad (3.3)$$



Şekil 3.2. Yüzey pürüzlülüğü profili

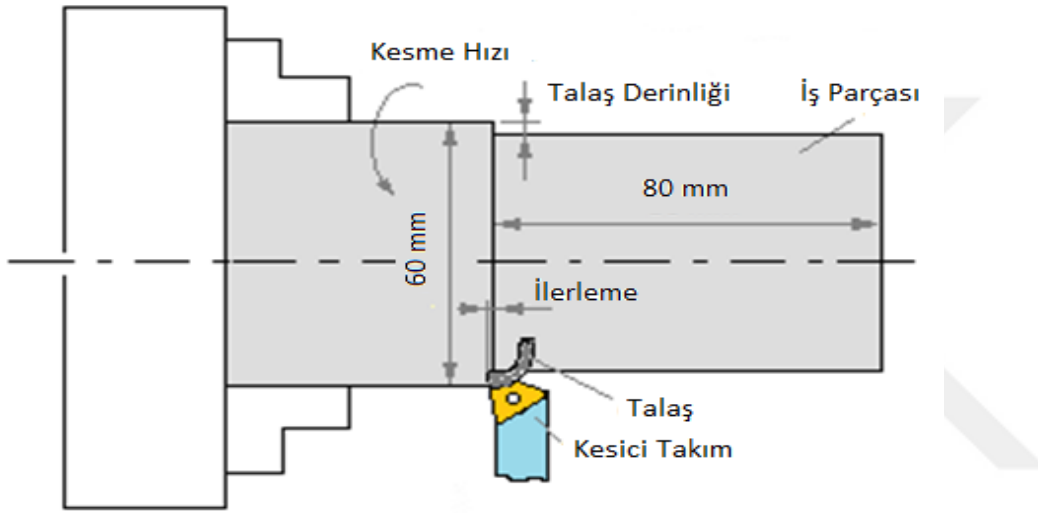
Ayrıca bazı durumlarda en yüksek yüzey pürüzlülük değeri de (R_t) bir pürüzlülük kriteri olarak kullanılabilir. Bu değer, bir yüzeyin en dip noktasından en yüksek noktasına olan mesafe olarak tanımlanır. Bu değer aynı zamanda parlatma veya diğer metotlarla düzgün bir yüzey elde etmek için kaldırılması gerekli malzeme miktarını da gösterir. Günümüzde yüzey pürüzlülüğü ölçümünde çoğunlukla R_a değeri kullanılmaktadır.

Genel olarak, bir yüzey yalnızca R_a ve R_q değerleriyle yeterince tanımlanamaz. Çünkü bu değerler ortalama değerlerdir. İki yüzey aynı yüzey pürüzlülük değerine sahip olabilir ancak gerçek topografyaları oldukça farklı olabilir. Örneğin, birkaç tane derin girintinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi önemsiz olabilir. Ancak, üretilmiş bir parçanın yüzey profilindeki farklılıklar yorulma, sürtünme ve aşınma özellikleri bakımından önemli olduğu bilinmektedir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Deney Numunesi

Deney numunesi olarak; 60 mm çapında ve 200 mm uzunluğunda ebatlarında AISI 1040 imalat çeliği kullanılmıştır. Çubuk üzerinde de 80 mm uzunluğunda tornalama yapılmıştır. Yapılan tornalama işlem şematik olarak Şekil 4.1’de görülmektedir. Malzeme yüzeyinde ki çarpılmalar, kabuklanmalar deneylere başlamadan önce tornalama işlemi ile giderilmiştir.



Şekil 4.1. Tornalama operasyonu şeması

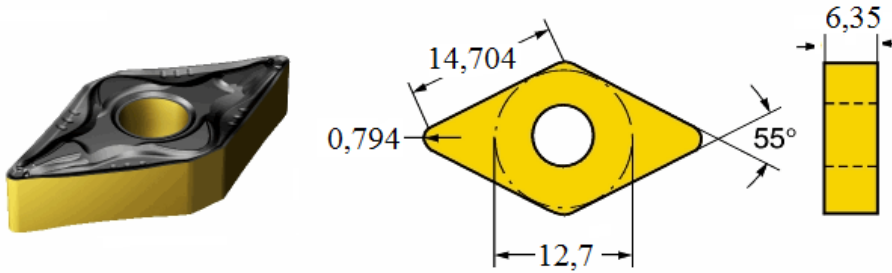
AISI 1040 çeliği ısıtılabilir ve dayanımı ısıtılabilir ile artırılabilir. Bu nedenle motorlarda, otomotiv alanında, dişli ve mil imalatında, kalıp unsurlarında, makinelerin ve aparatlarının yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çizelge 4.1’de, deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal içeriği verilmiştir. Deney malzemesi istenilen sertliğe ulaşması için ısıtılabilir tabii tutulmuştur. Isıtılabilir malzeme belirli bir süre yaklaşık 1000°C’ye kadar ısıtılıp hava ile soğutulmuştur. Bu şekilde normalizasyon tavlama yapılmıştır ve malzemenin gerginliği giderilmiştir. Malzeme sertleştirmek için 800°C’ye kadar ısıtılıp, bir saat su içinde soğutulmaya bırakılmıştır. Yapılan bu işlemlerin sonunda elde edilen ürünün sertliği ortalama 41 HRC ölçülmüştür.

Çizelge 4.1. AISI 1040 imalat çeliğinin kimyasal içeriği

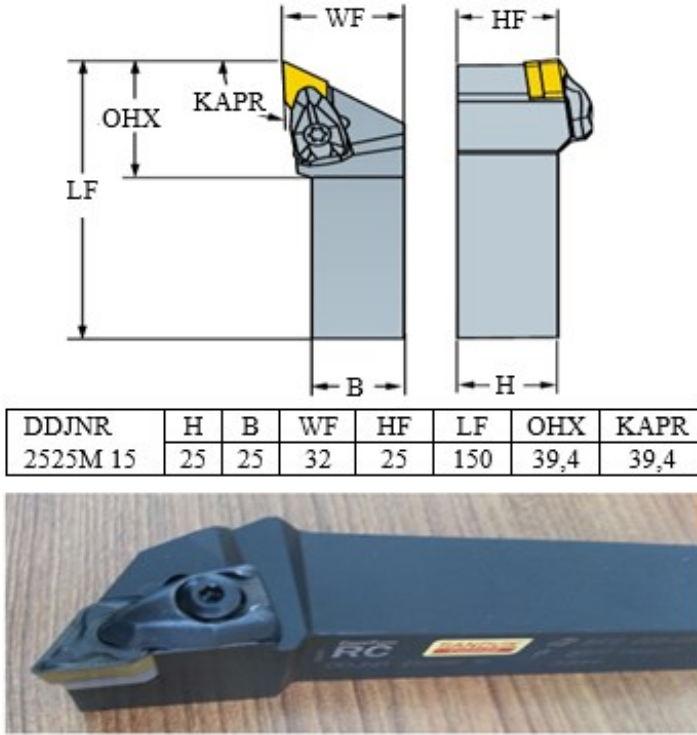
(Element)	(%)
C	0,40 - 0,50
Si	0,25 - 0,35
Mn	0,60 - 0,90
P	≤ 0,04
S	≤ 0,05

4.2. Kesici Takım ve Takım Tutucu

Kesici uç olarak SANDVIK marka CVD Ti (C, N) + Al₂O₃ + TiN kaplamalı karpit kesici uç kullanılmıştır. Seçilen kesici uç şekline göre dört ayrı köşesinden kesme işlemi yapabilmeye özelliği vardır. Kesme işlemlerinde kesici kenarlar tek sefer kullanılmıştır. Kullanılan kesici ucun geometrisi ve ölçüleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Şekil 4.2. SANDVIK CVD Ti (C, N) + Al₂O₃ + TiN kaplamalı karpit kesici uç

Deneysel olarak takım tutucu olarak yine SANDVIK DDJNR 2525M 15 marka takım tutucu kullanılmıştır. Takım tutucunun resmi ve ölçüleri Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. SANDVIK DDJNR 2525M 15 takım tutucu ve ölçüleri

4.3. Ölçü Aletleri

Yapılan bu çalışmada, yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için ISO, ANSI ve VDA (Verband der Automobilindustrie) standartlarında ölçüm yapabilen, manuel ve otomatik kalibrasyon özelliğine sahip, 1,75 / 5,6 / 17,5 mm tarama boyu seçimli, profil çözünürlüğü 0,012 μm Mitutoyo SJ-210 ölçü aleti kullanılmıştır. Ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Mitutoyo SJ-210 teknik özellikleri

Ölçme Prensibi	İzleyici uç Metodu
Veri Toplama	2 μm izleyici uç, 0,7 mN ölçme kuvveti
Parametreler	Ra, Rt, Rz
Ölçüm Aralığı	350 μm , 180 μm , 90 μm
Ölçüm Uzunluğu	1,75 mm, 5,6 mm, 17,5 mm

Ölçümler esnasında parçaların serbest formlu yapılarından dolayı açısı ve yüksekliği ayarlanabilir sehpa kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının güvenilirliği açısından

pürüzlülük ölçümleri silindirik parçanın üç farklı bölgesinden iş parçası dönme eksenine paralel yapılmıştır. Böylece izleyici ucun scollap yüksekliğinden kaynaklanan işleme kanallarına paralel gitmesi engellenmiştir. Ölçümler sonunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması alınmıştır. İş parçası üzerinde işleme sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ölçümleri için ölçüm uzunluğu 5,6 mm olarak alınmıştır.

4.4. Deney Tasarımı

Kesme parametreleri olarak üretici firma kataloğuna göre üç farklı kesme hızı (V), üç farklı ilerleme (f) ve üç farklı talaş derinliği (a) belirlenmiştir. Deney tasarımında L₉ ortogonal dizinim kullanılarak 9 farklı deney kombinasyonu tasarlanmıştır. Çizelge 4.3’de deneyde kullanılan parametreler ve seviyeleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Kesme parametreleri ve seviyeleri

Sembol	Kesme parametreleri	Seviye		
		1	2	3
A	Kesme Hızı (m/dk.)	275	345	415
B	İlerleme (mm/dev.)	0,15	0,30	0,45
C	Talaş Derinliği (mm)	1	3	5

Deneyler Amasya Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu bünyesinde makine laboratuvarında bulunan ACE LT-20C marka CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Deneylerde soğutma sıvısı ya da herhangi bir gaz kullanılmamış, kuru kesme şartlarında işleme yapılmıştır. Kullanılan torna tezgâhının şekli Şekil 4.4’de, teknik özellikleri ise Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Deney numunesinin yüzeyindeki tufal alma ve şekil bozukluklarını ortadan kaldırmak iş parçasının yüzeyinden 2 mm talaş kaldırılmıştır. Yazılan CNC programı sayesinde her deney için yeni bir uçla 80 mm boyunca tornalama yapılmıştır. Deneyler üç tekrar olarak yapılmıştır. İşlem sonunda yüzey pürüzlülüğü üç farklı noktadan ölçülmüştür. Ra için yapılan üç ölçümün ortalama değeri alınmıştır.



Şekil 4.4. Deneyleerde kullanılan CNC torna tezgâhının resmi

Çizelge 4.4. ACE LT-20C marka CNC torna tezgâhının teknik özellikleri

Maksimum tornalama çapı	370 mm
Maksimum tornalama uzunluğu	670 mm
X ekseninde işleme mesafesi	205 mm
Z ekseninde işleme mesafesi	670 mm
Maksimum basınç	3 MPa
İş mili gücü	15 kW
İş mili devir sayısı	4000 rpm
Taret takım sayısı	12 adet
İşleme hassasiyeti	0,001 mm

4.4.1. Taguchi deney tasarımı

Genichi Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği arttıracak bir çözüm getirmiştir [20].

Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları Sinyal/gürültü (S/N) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Sinyal/Gürültü oranı değeri küçük olan değer iyi, büyük olan değer iyi, nominal değer iyi olarak kalite değerlerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir. Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilebilmesini sağlaması ve bunun içinde tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart

altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur [20].

Taguchi Deneysel Tasarımı tekniğine göre yapılacak bir çalışmada izlenecek adımlar aşağıdaki şekildedir [21]:

1. Faktörleri seçmek ve aralarında bulunan etkileşimleri değerlendirmek (akış diyagramı, sebep sonuç diyagramı gibi yöntemler ile),
2. Faktör seviyelerinin uygun bir şekilde belirlenmesi,
3. Tasarımın doğru ve dengeli seçilmesi,
4. Faktörlerin ve/veya aralarındaki etkileşimlerin dengeli deney düzenindeki kolonlarla eşleştirilmesi,
5. Daha önceki basamaklarda planladığı gibi deneylerin gerçekleştirilmesi,
6. Elde edilen sonuç ve bulguların analizi,
7. Onay deneylerinin gerçekleştirilmesi.

Klasik deneysel tasarım b^a olarak tanımlanır. Burada " a " değişken sayısını, " b " ise değişken seviyesini temsil etmektedir. Taguchi'nin deney için tasarımı ise " L_{abc} " ile belirtilir. Burada " L_a " tasarım matrisi ya da değişkenlerin dikey düzenlemesi, " b " değişken seviyesi ve " c " değişken sayısı olup aşağıdaki maddeleri içermektedir:

1. Güçlü tasarım- en uygun davranışı başarmak için şartları araştırmak,
2. Kayıp fonksiyonu minimize etmek,
3. S/N oranını maksimize etmek,
4. Etkileşim etkileri için lineer grafik incelemelerinden deneysel tasarım seçimi.

Taguchi yönteminin birçok imalat alanında başarıyla uygulandığı ve iyi sonuçlar alındığı kanıtlanmıştır. Mühendislik analizi ve incelemesinde yaygın bir şekilde kullanılan Taguchi metodu süreç ya da ürün optimizasyonu için üç adımdan oluşan bir yaklaşımı önermektedir. Bunlar, sistemin tasarlanması, parametrenin tasarlanması ve toleransların tasarlanmasıdır [22].

Sistem tasarımı

Bu metotta ilk basamak sistem tasarımıdır. Bu süreçte elde bulunan tüm materyaller değerlendirmeye alınır, ayrıca teknolojideki mevcut yenilikler araştırılarak sistemde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi yapılır. Bu tasarımın içeriği kalite karakteristiklerini geliştirmek için süreç parametre değerlerinin ayarlarını optimize etmek ve en uygun süreç parametreleri altında ürün parametre değerlerini tanımlamaktır. Bu aşamada müşteriye maksimum seviyede memnun edebilecek, minimum maliyet göz önüne alınarak malzeme, parça, prototip ürün, parametre değerlerinin seçimi yapılmaktadır [23].

Parametre tasarımı

Sürecin yenilemesi ve iyileştirilmesinin en mühim olan kısmı parametre tasarım kısmıdır. Taguchi yönteminde, ürün kalitesinin iyileşmesi için en belirgin olarak çalışmalar yapıldığı kısım, ürün ve süreç tasarımı için, parametre tasarımının yapıldığı kısımdır. Parametre tasarımında amaç, ürünlerdeki performans değişikliklerini en aza indirerek, ürünün imalatındaki maliyeti ve hayat boyu maliyeti azaltmaktır. Taguchi, bu sebeple yapılmış olan ürünün ve sürecin tasarım kısmına sağlam tasarım adını vermiştir. Burada sağlam, kontrol edemediğimiz faktörlerin, yani çevre şartlarının (nem, tozun, ısının) durumlarına, müşterilerin uygulamaları arasındaki farklı kullanımları ve malzemelerdeki farklı durumlara karşı duyarsız olan, yani fazla etkilenmeyen, ürün ve süreç anlamına gelmektedir.

Ürün ve süreç parametre tasarım safhalarında, optimum değerlerin belirlenmesi ve optimum ayarlamaların yapılması gereken birçok sayıda faktör mevcuttur. Ayrıca bu faktörlerin çoğu kendi aralarında etkileşim halindedir. Kontrol edemediğimiz ve kontrol edemediğimiz bu faktörlerin, ürün ve ürün performansındaki etkilerinin birlikte belirlenebilmesi için en etkili yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Deney tasarım yöntemiyle, çok sayıda faktörlerin ürünlere etkisi ekonomik açıdan (az maliyetle) belirlenebilir ve varyasyon oluşturan faktörlere karşı da önlemleri tasarım aşamasında iken almak mümkün olmaktadır. Bu nedenle Taguchi'nin off-line kalite kontrol sistemi için en önemli kalite sağlama yöntemi deney tasarımıdır [24].

Parametre tasarımı içerisinde seviyelerin seçilmesi sırasında iki amaç vardır: Hedef değerin tutturulması ve değişkenliğin minimize edilmesidir. Taguchi tekniğinin parametre tasarımı kısmı aşağıda belirtilmiştir;

1. Kalite karakteristiklerinin (bağımlı parametrelerin, örneğin; kesici takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü) ve tasarım parametrelerinin (bağımsız parametreler, örneğin; kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı vb.) belirlemek,
2. Tasarımın parametre ve etkilendiği seviye düzeylerini belirlemek,
3. Uygun olan bir dikey dizini veya lineer bir grafiği belirlemek ve bu dizin için uygun olan parametre seviye değerlerini yerleştirmek,
4. Dikey dizine yerleştirilmiş olan seviye değerlerinde deneysel olarak çalışmalar gerçekleştirmek,
5. Deneysel sonuçları kullanarak S/N oranlarını hesaplamak ve sonuçları analiz edebilmek,
6. Optimum tasarım parametrelerini seçmektir.

Bu işlem sırası takip edilerek parametre tasarımı gerçekleştirilir. Sistem tasarımı yapılırken ilk önce problemin anlamına göre kullanacağımız bağımlı veya bağımsız parametrelerin nelerden seçileceğini belirlememiz gerekmektedir. Sistemi etkileyen parametre sayısı çok olduğu durumda en az etkiye sahip olan parametreler tasarım içine dahil edilmeyebilir. Ayrıca deneylerden kaynaklanan maliyetin miktarına göre parametre sayıları düşürülür veya arttırılabilir.

Daha sonraki kısımda da, belirlemiş olduğumuz tasarımdaki parametreler için, deneylerin sonuçlarını etkileyebilecek bağımsız olan parametreler için uygun seviye değerleri belirlenmelidir. Bu kısımda da bir faktör için yapılan dağılım, seviyelerde uygun bir şekilde yapılmalıdır. Seviye sayıları uygun miktarda tutulmalıdır. Seviyelerin sayısı fazla olursa deney sayısında da artış söz konusu olur. Yapılan bazı deneylerde belirlenen seviyeler deneyin maliyetini arttırdığı görülmektedir. Deneydeki seviyelerin arasında bulunan farklılıklar, bağımsız parametrenin bağımlı parametreler üstündeki etkisini doğru bir şekilde göstermiş olacaktır. Bu nedenle seviyelerin arasında bulunan farklar eşit olarak artmalı veya azalmalıdır. Belirlenen bu seviyeler seçilmiş olan faktörün alabildiği en alt ve en üst seviyeler dikkate alınarak belirlenmelidir.

Üçüncü aşamasında da uygun olan bir dikey dizinini veya lineer grafiği belirleyerek bu dikey dizin üzerinde belirlenmiş olan parametreler için uygun seviye değerlerini oturtmaktır. Taguchi, kısmi faktöriyel deney tasarımları için dikey dizin adını kullanmıştır. Taguchi bu şekilde yaparak, deneylerin tasarımı aşamasını sadeleştirmiş ve herkesin anlayabileceği daha sade bir seviye düzeyine getirmiştir. Taguchi dikey dizinleri aşağıda verildiği şekli ile kodla yapmıştır. Taguchi tarafından hazırlanan dikey dizinlerin listesi Ek Açıklamalar B’de verilmiştir.

$$LX(Y^Z) \quad (4.1)$$

Bu kodlamada;

L: Latin kare tabanlı anlamındadır,

X: Tasarımda bulunan deneylerin sayısı,

Y: Deneyde verilen seviyelerin sayısı,

Z: Deneylerde kullanılabilir maksimum faktör sayısıdır.

Bu kodlamanın pratikte “*Y^Z*” kısmı pek kullanılmamaktadır [25].

Deneysel çalışmaların yapılması parametre tasarımının dördüncü aşamasıdır. Bir sonraki aşama ise, deneysel sonuçları kullanarak *S/N* oranlarını hesaplamak ve sonuçları analiz etmektir. Hedef değerlerin sağlanması için deney sonuçlarının ortalamaları; varyasyonun minimize edilmesi için *S/N* kullanılmaktadır. Sinyal/Gürültü oranı Taguchi tekniğinde, “sinyal-S” terimi çıkış karakteristiği için bilinen ya da bulunan değer; “gürültü-N” terimi ise tanımlanmamış değer olarak tanımlanır. Bu nedenle; bilinen değerlerden kalite karakteristiğini ölçmek için Taguchi yöntemi sinyalin gürültüye dönüştürüldüğü *S/N* oranını kullanılmaktadır ve çözülecek problemin tipine göre değişik şekiller almaktadır. Toplam *S/N* çeşidi sayısı yetmiş kadardır, fakat bunların en çok üç tanesi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Daha küçük daha iyi (S/N_s): Ortalamayı ve değişimi olabildiğince küçültmek istenen problemlerde kullanılır. Örneğin; yüzey pürüzlülüğünün en küçük olması istenilen durumlarda, daha küçük daha iyi kriterine göre *S/N* oranı;

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (4.2)$$

formülü ile hesaplanır. Formülde, y_i^2 , ölçüm sonuçlarının toplamının karesi, n ise toplam ölçüm sayısıdır.

Daha büyük daha iyi (S/N_B): Ortalamayı büyütüp, değişimi küçültmek istenen durumlarda kullanılır. Örneğin; kesici takım ömrünün en yüksek olması istenilen durumlarda, daha büyük daha iyi kriterine göre S/N_B oranı;

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (4.3)$$

formülü ile hesaplanır.

Nominal daha iyi (S/N_N): Varyasyonu oldukça küçültmek istenilen durumlarda kullanılır. Nominal daha iyi kriterine göre S/N_N oranı;

$$S/N = -10 \log \left(\frac{\overline{Y^2}}{s} \right) \quad (4.4)$$

formülü ile hesaplanır. Bu eşitlikte; s örnek varyanstır. S/N oranları desibel olarak ölçülmektedir [26].

Tolerans tasarımı

Tolerans tasarımı genel olarak parametre çalışmalarının neticesinde elde edilemeyen kalite durumlarında uygulamaya konulan bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Parametre tasarımında hedeften sapmalar tamamen elimine edilmeyebilir. Tolerans tasarımı, üretilen hatalı ürünlerin olasılıklarının limiti, üretilen tüm parçalar için kullanılmalıdır. Tolerans etrafındaki hedef genellikle tasarım mühendisi tarafından belirlenir; alabileceği değişim aralığı olarak tanımlanır. Tolerans limitleri test ve denemeden sonra ayarlanır. Tolerans ayarlamalarını; hedef, emniyet faktörü, fonksiyonel limit, beklenen kalite seviyesi ve hedeften herhangi bir sapmada finansal maliyet gibi kriterler belirler.

Parametre tasarımı ile faktörlerin belirlenen seviyelerinde, istenilen küçüklükte bir değişkenlik elde edilemiyorsa tolerans tasarımı kullanılır. Bu bölümde, Varyans analiz çizelgesi hazırlanarak değişimin istenilen düzeye indirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılır. Burada her bir etkenin toplam varyasyondaki yüzdesi hesaplanarak sistemin çıktı varyasyonunun istenilen düzeye getirilmesi için her bir etkenin varyasyonu ile ne kadar oynanması gerektiği hesaplanmaktadır. Bu basamakta yapılan işlem daha çok bir duyarlılık analizi olarak ortaya çıkmaktadır. Varyans analizi, kontrol faktörleri ve iterasyon etkilerinin anlamlılıklarını açıklamaktadır [26].

4.4.2. Varyans analizi

Ürün veya proses geliştirmenin amacı müşterinin beklenti ve ihtiyaçlar yönünde ürünün veya prosesin karakteristik özelliklerini belirlemek ve iyileştirmektir. Deney yapmanın amacı ise hangi faktörlerin ürün veya prosesin karakteristik özelliklerinin ne ölçüde etkilediğini ortaya koyarak optimum performansı yakalayacak seviyeleri tespit etmek ve bu seviyeler etrafında oluşacak değişkenliği kontrol altına alarak azaltmaktadır [227]. Varyans analizi (ANOVA), deneysel bilgilerin analizinde ve gerekli kararların verilebilmesinde kullanılan istatistiksel yöntemdir. Temeli itibariyle basit olup sadece bir grup değerlerin ortalama performansına kıyasla oluşturduğu değişkenliği incelemek olarak tanımlanır [28]. Taguchi ile optimizasyon yöntemi kullanılarak bulunan S/N oranlarında en uygun kesme şartlarını belirlerken, varyans analizi sayesinde de faktörler arasında nasıl bir ilişki olduğu belirlenir. Yani S/N oranlarının ilerleme hızı, kesme hızı ve talaş miktarı arasındaki ilişki değerlendirilebilmiştir. P değeri bir karşılaştırma esnasında “istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır” diye karar vermek için olası bir hata miktarı hakkında bilgi verir. İstatistik alanında uzman olan Fisher, mevcut hatada maksimum kabul edilebilecek düzeyi için 0,05 değerini önermiş ve bu şekilde de kabul edilmiştir. Deneyler neticesinde bulduğumuz bu P değerinin 0.05'in altında çıkması halinde kıyaslama sonuçlarında anlamlı bir farklılık olduğu anlamını taşımaktadır. P değeri aşağıda verilenler gibi değerlendirilmelidir [29].

1. P değerinin küçülmesiyle anlamlı farklılık istatistiksel açıdan artar.
2. P değerinin 0,01 - 0,05 aralığında, istatistiksel açıdan anlamlı bir fark var demektir.
3. P değerinin 0,001 - 0,01 aralığında, istatistiksel açıdan yüksek düzeyde bir anlamlı farklılık vardır.

4. P değerinin 0,001 den kck olması durumunda, istatistiksel açıdan çok yüksek düzeyde bir anlamlı farklılık vardır.
5. P değerinin 0,10 - 0,05 aralığında, sınırda bir anlamlılık olduğu manasına gelir.

Aynı zamanda parametre ve hatanın serbestlik dereceleri ile önem seviyesi F dağılım çizelgesinden de incelenebilir. Deneysel veriden hesaplanan F değeri ölçülen değere ilgili parametrenin etkisi hakkında bilgi vermektedir [29].



5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Taguchi Deney Tasarımı

Talaşlı imalatta kesme parametrelerinin ve işleme koşullarının uygun seçilmesi üretim sürecini, işlenen yüzeylerin durumunu ve imalat maliyetini etkilemektedir. Çizelge 5.1’de Taguchi metodu ile L₉ ortogonal dizin kullanılarak oluşturulan deney tasarımına göre elde edilen deney listesi verilmiştir.

Çizelge 5.1. L₉ dizininde deney listesi

Deney No	A	B	C
1	275	0,15	1
2	275	0,30	3
3	275	0,45	5
4	345	0,15	3
5	345	0,30	5
6	345	0,45	1
7	415	0,15	5
8	415	0,30	1
9	415	0,45	3

L₉ ortogonal dizin kullanılarak oluşturulan deney tasarımına göre yapılan işlemler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri bulunmuştur. Taguchi yönteminde en düşük yüzey pürüzlülük değeri için en uygun kesme şartları, en küçüğün en iyi olduğu sinyal-gürültü oranları seçilerek yapılmıştır. Minitab 18 programı ile en küçüğün en iyi olduğu denklemi kullanarak S/N oranı ve seviye değeri hesaplanmıştır. Bu denklem sonucunda bulunan yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

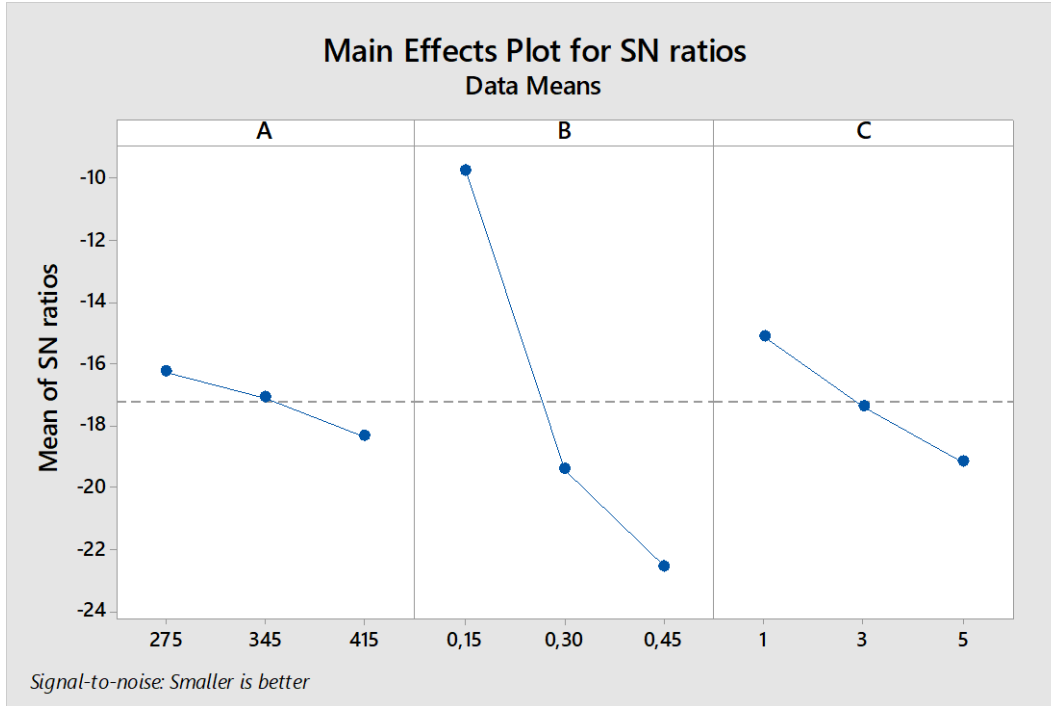
Çizelge 5.2. L₉ dizinine göre ortalama yüzey pürüzlüğü (Ra) ve S/N oranları

Deney No	A	B	C	Ra (µm)	S/N
1	275	0,15	1	1,80	-5,105
2	275	0,30	3	9,64	-19,681
3	275	0,45	5	15,84	-23,995
4	345	0,15	3	3,24	-10,210
5	345	0,30	5	9,70	-19,735
6	345	0,45	1	11,72	-21,378
7	415	0,15	5	4,94	-13,874
8	415	0,30	1	8,80	-18,889
9	415	0,45	3	13,06	-22,318

Bu yöntemde, ölçülen değerlerin optimizasyonunda en çok kullanılan uygulama sinyal / gürültü oranlarıdır. Bu çalışmamızda Taguchi yönteminde en uygun kesme durumlarını belirleyebilmek için S/N oranları en yüksek olmalıdırlar. Bütün bunları göz önünde bulundurursak, L₉ deney listesinde en uygun kesme durumu ortalama yüzey pürüzlülüğü için -5,105 S/N olduğu Çizelge 5.2’de görülmektedir. Bu durumda, deney listesindeki 1 numaralı deneyde A₁B₁C₁ dizilimi olan, kesme hızının 275 m/dk., ilerlemenin 0,15 mm/dev., talaş derinliğinin de 1 mm olduğu durum yüzey pürüzlülüğünün en uygun kesme şartları olarak bulunmuştur. Çizelge 5.3’te ve Şekil 5.1’de görüldüğü gibi kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği faktörlerinde kesme hızı için birinci, ilerleme için birinci ve talaş derinliği için birinci seviyesinde S/N oranı değeri yüksek olduğu görülüyor. Faktörlerin Ra üzerinde etki oranları sırasıyla birinci ilerleme, ikinci talaş derinliği ve üçüncü kesme hızı olduğu Çizelge 5.3’te görülmektedir. İlerde yapılacak benzer kesme şartlarındaki işlemlerde en uygun kesme koşullarının bulunmasında elde edilen bu faktörlerin seviyelerine göre değerlendirme yapılabilir.

Çizelge 5.3. Kesme faktörlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğünün S/N değeri cevap çizelgesi

Seviye	A	B	C
1	-16,261	-9,730	-15,125
2	-17,108	-19,436	-17,404
3	-18,361	-22,564	-19,202
Delta	2,100	12,834	4,077
Sıralama	3	1	2



Şekil 5.1. Faktör seviyelerinin S/N oranının en küçük - en iyiye göre Ra grafiği

5.2. Varyans Analizi Sonuçları

Taguchi yöntemiyle bulunan S/N değerlerinden en uygun işleme koşulları bulunurken, faktörler arasındaki ilişkilerde varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. S/N oranlarının ANOVA ile elde edilen verileri Çizelge 5.4'te görülmektedir. ANOVA'da $p < 0,01$ veya $p < 0,05$ düzeyde anlamlılık gerekmektedir. Elde edilen verilere bakıldığında, anlamlılık değerleri sırayla ilerleme, talaş derinliği, kesme hızı olduğu görülmektedir. İlerlemenin güven düzeyi % 95 çıkarken, talaş derinliği ve kesme hızı bu güven düzeyi seviyesinde çıkmamıştır. Bulunan bu sonuçlar Çizelge 5.4'te verilen faktörlerin önem sırasını doğrulamaktadır [30].

Çizelge 5.4. Faktörler ile S/N oranlarının ilişkisi

Faktörler	SD	KT	KO	F	P
A	2	0,248	0,124	0,99	0,502
B	2	41,066	25,533	202,83	0,005
C	2	2,283	1,141	9,07	0,098
Hata	2	0,251	0,125		
Toplam	8	43,8503			

5.3. Taguchi Tahmini için Kontrol Deneyleri

Taguchi analizinin en son safhasında L_9 deney tasarımı içindeki kombinasyonda bulunmayan seviyeler ile 3 ayrı kontrol deneyi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.5'te belirlenen seviyeler verilmiştir. Ayrıca Çizelge 5.5'te Taguchi tahmin sonucu, deney sonucu ve bu sonuçlar arasındaki hata yüzde olarak verilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda Taguchi tahmininin yaklaşık % 90 doğrulukta olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.5. Taguchi tahmini ve deney sonuçları arasındaki fark

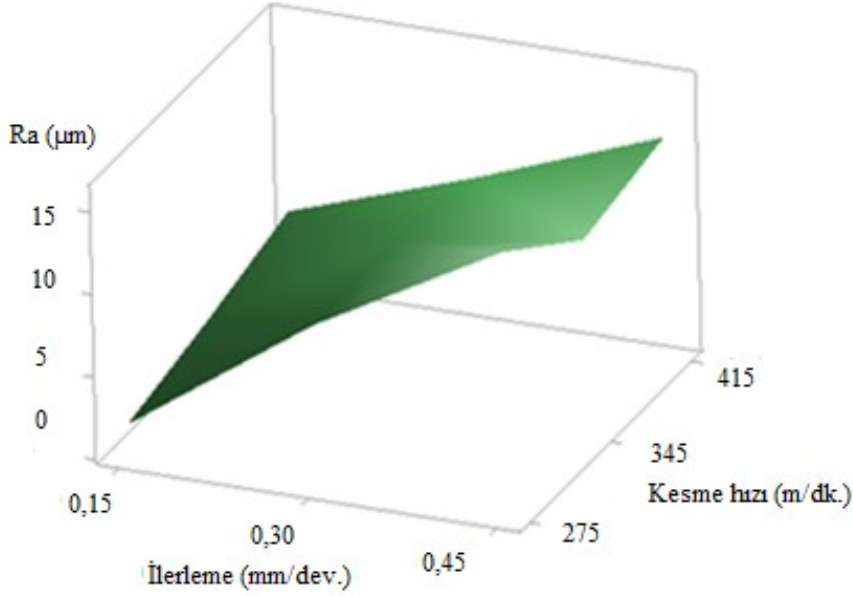
Tahmin Deneyleri			Deneysel Ra (μm)	Taguchi Tahmin Ra (μm)	Mutlak Fark	% Mutlak Hata	Doğruluk oranı
A	B	C					
275	0.15	3	3,96	3,56	0,40	0,10	% 90
345	0.45	5	16,71	14,42	2,29	0,14	% 86
415	0.30	3	10,75	9,46	1,29	0,12	% 88

5.4. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

Daha önce yapılmış olan çalışmalarda kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü değerinin ters orantılı olduğu ortaya konulmaktadır. Genellikle kesme hızındaki artış yüzey pürüzlülüğünü düşürürken kesme hızında azalma da yüzey pürüzlülüğünü artırır. Bunun nedeni ise işleme esnasında meydana gelen titreşim ve doğal frekans, kesme hızının artışı ile kayda değer bir önem arz etmez. Böylece titreşim ve doğal frekansın etkisiz olması ile yüzey kalitesi daha iyi olur.

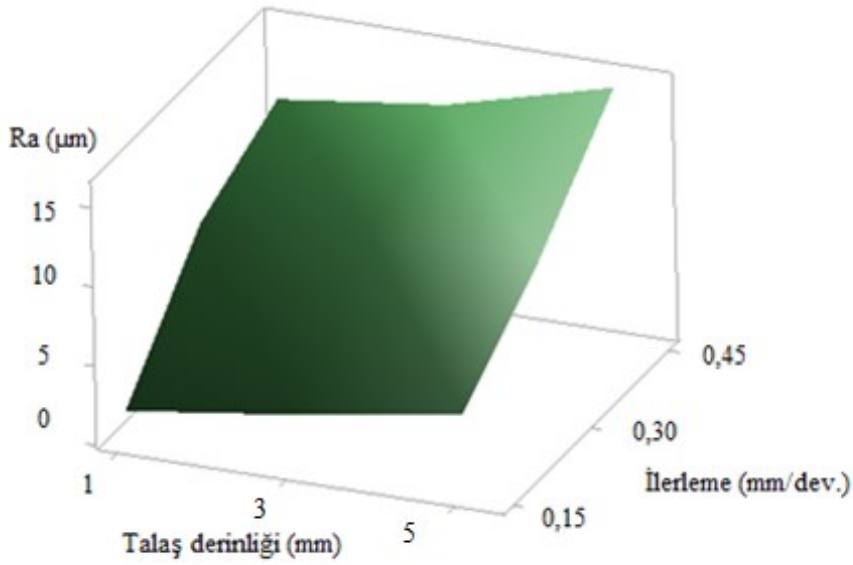
Genel olarak ilerleme ile yüzey pürüzlülüğü doğru orantılıdır. Yani ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğü artar, ilerleme azaldıkça yüzey pürüzlülüğü azalır. İlerleme hızı artarsa kesme kuvvetleri de artar. Bu da işleme esnasında titreşimin de artmasına neden olur. Titreşimin artması da yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki yapar ve yüzey pürüzlülüğü yüksek çıkar. İlerleme hızında azalma ise kesme kuvvetlerini düşürür. Kesme kuvvetlerinin düşük olması titreşimi azaltır ve daha güzel bir yüzey kalitesi elde edilmiş olur. Talaş derinliği ile yüzey pürüzlülüğü arasında da doğru orantı vardır. Talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü artar, talaş derinliği azaldıkça da yüzey pürüzlülüğü azalır.

Yapılan deneyler sonucunda kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkisi ve aralarındaki ilişki Şekil 5.2’de üç boyutlu yüzey grafiğinde verilmiştir.



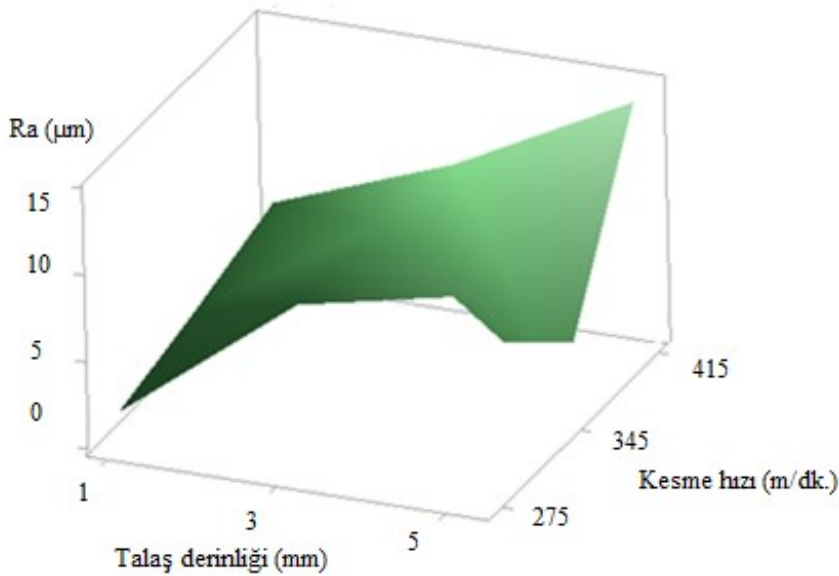
Şekil 5.2. Kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 5.2’de ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğü de artmıştır. Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azalması gerekmektedir. Kesme hızı 275 m/dk’dan 345 m/dk’ya yükseldiğinde yüzey pürüzlülüğü düşmüştür. Ancak kesme hızı 415 m/dk’ya çıktığında ilerleme miktarının da artışı nedeniyle yüzey pürüzlülüğü yeniden artmıştır. Genel olarak ilerlemenin artması yüzey pürüzlülüğünü arttırmış, kesme hızının artışı da yüzey pürüzlülüğünü düşürmüştür.



Şekil 5.3. İlerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 5.3’de ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Talaş derinliği arttıkça da yüzey pürüzlülüğü artmıştır. En yüksek yüzey pürüzlülüğü ilerleme ve talaş derinliğinin en yüksek olduğu değerlerde görülmüştür. Yani ilerleme 0,45 mm/dev., talaş derinliği 5 mm iken yüzey pürüzlülüğü maksimum olmuştur.



Şekil 5.4. Kesme hızı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

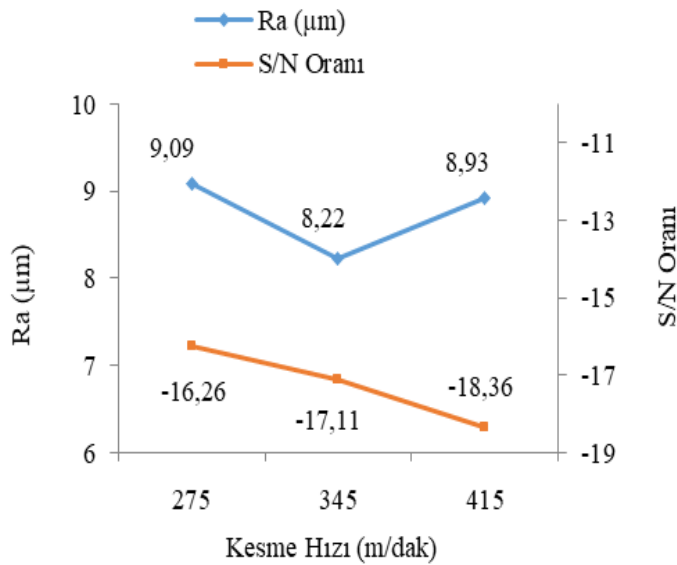
Şekil 5.4’de talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Kesme hızı arttıkça da yüzey

pürüzlülüğünün düşmesi gerekir. Talaş derinliği ve kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü açısından birbirleri ile ters orantılı olduğu için dalgalı bir yüzey alan grafiği oluşmuştur. Kesme hızının bazı değerlerinde yüzey pürüzlülüğü düşmüş bazı değerlerde artmıştır. Bunun sebebi de talaş derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün artmasıdır.

5.5. Yüzey pürüzlülüğü ve Sinyal/Gürültü (S/N) oranları

Taguchi metodu ile tasarlanan deney sonucunda işlenen numunelerin yüzey pürüzlülüğü belirlenmiştir. Daha sonra Taguchi metodu ile elde edilen veriler analiz yapılmıştır. İşlenen numuneler üzerinde yüzey pürüzlülüğünün küçük olmasını istediğimiz için en küçük en iyi olan sinyal gürültü (S/N) oranı tercih edilmiştir.

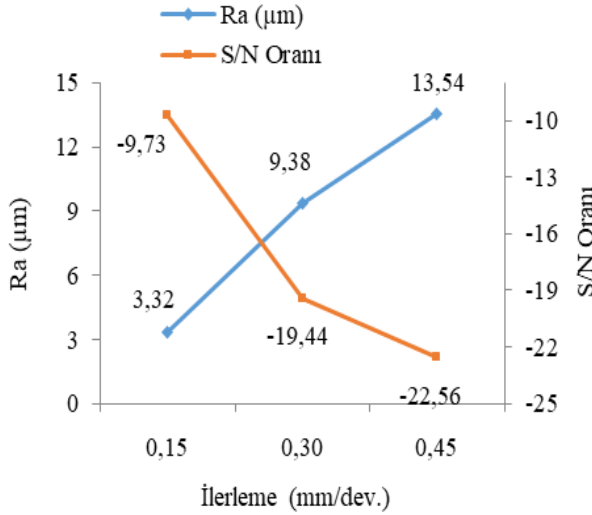
Şekil 5.5 incelendiğinde kesme hızı arttıkça genel olarak yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir. Kesme hızının üçüncü seviyesinde, ikinci seviyesine göre bir artış görülmektedir. Bu da işleme esnasında çevresel faktörlerden, takımda meydana gelebilecek talaş yığılmasından veya tezgâhtaki titreşimden kaynaklanmış olabilir. Ama kesme hızının ilk seviyesine göre kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Taguchi analizi ile elde edilen S/N oranları da yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı çıkmıştır.



Şekil 5.5. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ve S/N oranı grafiği

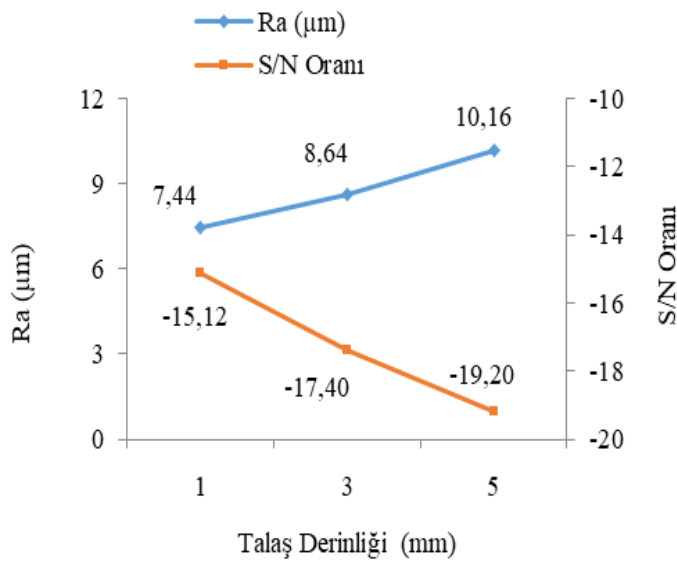
Şekil 5.6 incelendiğinde ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı açık bir şekilde görülmektedir. İlerleme değerinin en yüksek olduğu 0,45 mm/dev.'de yüzey pürüzlülüğü en

yüksek çıkmıştır. İlerlemenin en düşük olduğu 0,15 mm/dev.'de yüzey pürüzlülüğü en düşük olmuştur. Buna göre S/N gürültü oranı da en yüksek birinci seviyede çıkmıştır.



Şekil 5.6. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü ve S/N oranı grafiği

Şekil 5.7 incelendiğinde talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı net bir şekilde görülmektedir. Talaş derinliği değerinin en yüksek olduğu 5 mm'de yüzey pürüzlülüğü 10,16 µm ile en yüksek çıkmıştır. Talaş derinliğinin en düşük olduğu 1 mm'de yüzey pürüzlülüğü 7,44 µm ile en düşük olmuştur. Buna göre S/N gürültü oranı da -15,12 ile en yüksek birinci seviyede çıkmıştır.



Şekil 5.7. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü ve S/N oranı grafiği

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, CVD Ti (C, N) + Al₂O₃ + TiN kaplamalı karpit kesici uç ile CNC torna tezgâhında 41 HRc sertliğinde AISI 1040 imalat çeliği işlenmiştir. Belirlenen kesme parametreleri ve bunların üç farklı seviyelerinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değerlerini analiz etmek için deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan detaylandırılmış ön çalışmalar ile bu alandaki verimliliklerin arttırılmasındaki etken parametreler belirlenmiştir.

İlenen yüzeylerde meydana gelen yüzey pürüzlülüğünü araştırmak için Taguchi metodu kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışma neticesinde elde edilen verilerin istatistiksel analizinde Minitab18 paket programı kullanılmıştır. Talaş kaldırma sürecinin en uygun olması ve optimizasyonu açısından sistem çıkışları ve onlara etki eden en önemli parametreler ile ilgili şu sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak yapılan analizde, işlenen parçalarda en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için kesme şartları A₁B₁C₁ dizininde gerçekleşmiştir. Yani 275 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev. ilerleme ve 1 mm talaş derinliği olmuştur (Şekil 5.1).
2. Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etki gücü sırasıyla ilerleme (B), talaş derinliği (C) ve kesme hızı (A) olarak elde edilmiştir.
3. Elde edilen S/N oranlarında varyans analizi uygulanmış, kesme faktörlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilişki seviyeleri belirlenmiştir. ANOVA'ya göre ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinde ilerleme parametresi % 95 güven düzeyinde anlamlı çıkmıştır.
4. ANOVA sonuçlarına göre diğer parametrelerin anlamlılık seviyelerine bakıldığında, parametrelerin birbirlerine göre anlamlılık seviyelerini de görmüş oluruz. En anlamlı çıkan değerler sırasıyla ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızıdır (Çizelge 5.4). Elde edilen bu değerler aynı zamanda Çizelge 5.3'de verilen önem sırası ile aynı olduğunu ve o sıralamayı doğruladığını göstermektedir.

5. Taguchi analizinin en son safhasında L₉ deney tasarımı içindeki kombinasyonda bulunmayan seviyeler ile 3 ayrı kontrol deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda Taguchi tahmininin yaklaşık %90 doğrulukta olduğu görünmüştür (Çizelge 5.5).
6. Yapılan deneylerde kesme hızı arttıkça genel olarak yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir. Kesme hızı değerinin farklı seviyelerinde yüzey pürüzlülüğünün arttığı veya azaldığı görülmektedir. Bu da işleme esnasında çevresel faktörlerden, takım ucunda yığıntı talaş oluşumundan veya tezgâhtaki titreşimden kaynaklanmış olabilir.
7. İlerleme değerlerindeki artış yüzey kalitesini olumsuz etkilemiştir ve yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmıştır. Talaş derinliği de yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı çıkmıştır. Talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü de ona doğru orantılı bir şekilde artmıştır.

İmalat işlemleri için kesme parametrelerinin doğru belirlenebilmesi yüzey kalitesi ve üretim süresi bakımından çok önemlidir. Bu çalışmada üretimde verimliliği arttırmak için ve istenen yüzey kalitesini elde edebilmek için deneyler yapılmıştır. Kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılarak en uygun kesme şartları belirlenmeye çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Yaka, H., Akkuş, H., Uğur, L. (2016), AISI 1040 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 283-288.
2. Asiltürk İ., (2007), Testere ile kesme işleminde yapay zeka tabanlı adaptif kontrol uygulaması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.
3. İşbilir F., (2006), Takım ömrünün sebep-sonuç diyagramları ile açıklanması, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne etkili faktörlerin analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara.
4. Pal, A., Choudhury, S. K., Chinchankar, S. (2014), Machinability assessment through experimental investigation during hard and soft turning of hardened steel. *Procedia Materials Science*, 6, 80-91.
5. Günay, M., Yücel, E. (2013), Application of Taguchi method for determining optimum surface roughness in turning of high-alloy white cast iron. *Measurement*, 46(2), 913-919.
6. Rizvi, S. A., Ali, W. (2016), Optimization of machining parameters affecting surface roughness of EN8 Steel in CNC Turning by Using the Taguchi Technique. *Journal of Mechanical and Mechanics Engineering*, 2(3), 59-71.
7. Mer B., Diniz A. E., (1994), Correlating tool wear, tool life, surface roughness and tool vibration in finish turning with coated carbide tools, *Wear*, 173(1-2), 137-144.
8. Thomas M., Beauchamp Y., Youssef A. Y., Masounave J., (1996), Effect of tool vibration on surface roughness during lathe dry turning process. *Computers and Industrial Engineering*, 31(3-4), 637-644.
9. Jang D. Y., Choi Y. G., Kim H. G., Hsiao A., (1996), Study of the correlation between surface roughness and cutting vibrations to develop an online roughness measuring technique in hard turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 36(4), 453-464.
10. Yang W. H., Tarn Y. S., (1998), Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 84(1-3), 122-129.
11. Kartal M. S., (2000), Alaşımız çeliklerin CNC torna tezgahında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının Taguchi yöntemiyle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi*, İstanbul.
12. Thielle J. D., Melkote S. N., (2000), Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 122(4), 642-649.

13. Huang L., Chen J. C., (2001), A multiple regression model to predict in-process surface roughness in turning operation via accelerometer. *Journal of Industrial Technology*, 17(2), 71-182.
14. Chou Y. K., Evans C. J., Barash M. M., (2002), Experimental investigation on CBN turning of hardened AISI 52100 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 124(3), 274-283.
15. Özlü, B., Demir, H., Türkmen, M., (2018), The Effect of Mechanical Properties and the Cutting Parameters on Machinability of AISI 5140 Steel Cooled at High Cooling Rates After Hot Forging. *Politeknik Dergisi*.
16. Kopac J., Bahor M., Sokovi M., (2002), Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(6), 707-716.
17. Çaydaş U., Haşçalık A., (2005), CNC tornalamada işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Teknoloji*, 8(2), 167-172.
18. Aslan E., Camuşcu N., Bingören B., (2007), Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 (63 HRC) with Al₂O₃+TiCN mixed ceramic tool. *Materials and Design*, 28(5), 1618-1622.
19. Jayant A., Kumar V., (2008), Prediction of surface roughness in CNC turning operation using taguchi design of experiments. *Journal of the Institution of Engineers, Production Engineering Division*, 88, 19-25.
20. Ross, P.J., (1996), Taguchi techniques for quality engineering. *McGraw – Hill International book company*, 1-73.
21. Yang, W. H. and Tarng, Y. S., (1998), Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 84(1-3), 122-129.
22. Davim, J. P., (2003), Design of optimisation of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays. *Journal of Materials processing Technology*, 132(1-3), 340-344.
23. Sakarya, N., (2005), Cep işlemede takım yolu hareketlerinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
24. Şirvancı, M., (1997), Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı. *Literatür Yayıncılık*, 45-55, İstanbul.
25. Bass, I., (2007), Six Sigma Statistics with Excel and Minitab. *McGraw-Hill Companies*, Oxford 34-45.

26. Montgomery, D. C., Peck, E. A., Vining, G. G., (2006), Introduction to Linear Regression Analysis. *Wiley Science*, Hoboken.
27. Savaşkan, M., (2003), Deneysel Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılmalı Kullanımı ile İnce Sert Seramik Kaplı Matkap Uçlarının Performans Değerlendirmesi ve Optimizasyonu, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
28. Neter, J., Wassermann, W., Whitmore, G.A., (1999), Applied Statistics. *Allyn and Bacon*, 1-101, 231-273, 525-548.
29. Shaji, S. and Radhakrishnan, V., (2003), Analysis of process parameters in surface grinding with graphite as lubricant based on the taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 141(1), 51-59.
30. Yaka, H., Demir, H., Gök, A., (2017), Optimization of the cutting parameters affecting the surface roughness on free form surfaces. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 35(2), 323-331.



EKLER

Çizelge Ek.1. Taguchi ortogonal dizini çeşitleri

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

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Mehmet YAKA
 Uyuğu : Türkiye Cumhuriyeti
 Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1981- Keskin
 Medeni hali : Evli
 e-posta : mehmetyaka1959@gmail.com



Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyet Yılı
-----------------	--------------	----------------

Lisans	Gazi Üniversitesi	2004
--------	-------------------	------

İş Deneyimi/Yıl	Çalıştığı Yer	Görevi
-----------------	---------------	--------

2012- ...	Borusan Oto	Servis Yetkilisi
-----------	-------------	------------------

Yabancı Dili

İngilizce

Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)

1. Yaka, M., Bilgin, M. B., Yaka, H., “Selection of Appropriate Cutting Parameters to Achive Optimum Surface Roughness with Taguchi”, *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5(3), 224-230, 2019.
2. Yaka, M., Bilgin, M.B., Yaka, H., “Statistical Investigation of Surface Roughness for the Turning of AISI 1040 Steel”, *4th International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences*, 176-181, 24-28 April 2019, Kiev, Ukraine.
3. Yaka, M., Uğur, L., Yaka, H., Güvercin, S., “Optimization of Cutting Parameters to Obtain Optimum Surface Roughness in Turning”, *8th International Advanced Technologies Symposium*, 147, 17-19 October 2017, Elazığ, Turkey.