



**T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**INCONEL 718 NİKEL ESASLI SÜPER ALAŞIMIN DELİK DELME
İŞLEMLERİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN TAGUCHİ YÖNTEMİ VE GRİ
İLİŞKİSEL ANALİZ İLE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramazan ATILKAN

ARALIK

RAMAZAN ATILKAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ARALIK 2022

**INCONEL 718 NİKEL ESASLI SÜPER ALAŞIMIN DELİK DELME
İŞLEMLERİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ VE GRİ İLİŞKİSEL
ANALİZ İLE OPTİMİZASYONU**

Ramazan ATILKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA**

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2022

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Ramazan ATILKAN tarafından hazırlanan “Inconel 718 Nikel Esaslı Süper Alaşımın Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Yöntemi ve Gri İlişkisel Analiz ile Optimizasyonu” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA

Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

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

Başkan: Prof Dr. Arif GÖK

Endüstriyel Tasarım Anabilim Dalı, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Halil Burak KAYBAL

Mekanik Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 14/12/2022

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

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

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.

(İmza)

Ramazan ATILKAN

(14/12/2022)

INCONEL 718 NİKEL ESASLI SÜPER ALAŞIMIN DELİK DELME İŞLEMLERİNDE
KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN TAGUCHI
YÖNTEMİ VE GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ İLE OPTİMİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)

Ramazan ATILKAN

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2022

ÖZET

Talaşlı imalatla verimli bir üretim yapmak için maliyetleri azaltmak gerekmektedir. Ayrıca maliyetleri azaltarak ürün kalitesinin de artırılması gerekir. Üretim maliyetlerini düşürmek ve ürün kalitesini arttırmak için işleme sırasında kullanılan kesici takımlar doğru seçilmeli, işleme parametreleri de uygun belirlenmelidir. Bu çalışmada, imalat sanayinde sıklıkla kullanılan nikel esaslı bir süperalaşım olan Inconel 718 çeliğine delme işlemi uygulanmıştır. Delme işleminde en iyi delik kalitesini bulabilmek için farklı kesme parametreleri ve seviyeleri kullanılmıştır. Delme işlemleri kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere iki ayrı matkap ucu ile yapılmıştır. Deneyler sonunda deliklerin yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. Taguchi yöntemi ile deney listesi oluşturulmuş ve deneyler sonunda elde edilen yüzeylerin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Sonuçlar, Taguchi ve GİA (Gri İlişkisel Analiz) yöntemleri kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyonlar, yüzey pürüzlülüğünün en küçük değeri istendiği için en küçük en iyi sinyal-gürültü oranı seçilerek yapılmıştır. Deneyler sonunda en düşük yüzey pürüzlülüğünü elde ettiğimiz kesme parametreleri ve seviyeleri belirlenmiştir. Optimum parametre seviyelerinin dizilimi A2B3C1D3 çıkmıştır. Yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametre belirlenmiş ve çalışmanın güven düzeyi Varyans analizi kullanılarak bulunmuştur. En etkin parametre kesme hızı, çalışmanın güven düzeyi %84.23 olmuştur.

Sayfa Adedi	: 48
Anahtar Kelimeler	: Inconel 718, Taguchi, GİA, Optimizasyon, Yüzey pürüzlülüğü
Danışman	: Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA

OPTIMIZATION OF THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON SURFACE
ROUGHNESS OF INCONEL 718 NICKEL BASED SUPER ALLOY IN DRILLING
PROCESSES BY TAGUCHI METHOD AND GRAY RELATIONAL ANALYSIS

(M. Sc. Thesis)

Ramazan ATILKAN

AMASYA UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2022

ABSTRACT

To make an efficient production in machining, it is necessary to reduce costs. In addition, product quality should be increased by reducing costs. In order to reduce production costs and increase product quality, the cutting tools used during machining should be selected correctly and the machining parameters should be determined accordingly. In this study, drilling was applied to Inconel 718 steel, which is a nickel-based superalloy frequently used in the manufacturing industry. Different cutting parameters and levels are used to find the best hole quality in drilling. Drilling operations were made with two separate drill bits, coated and uncoated. At the end of the experiments, the surface roughness of the holes was investigated. The test list was created with the Taguchi method and the surface roughness of the surfaces obtained at the end of the experiments was measured. The results were optimized using Taguchi and GIA (Gray Relational Analysis) methods. Optimizations were made by choosing the smallestbest signal-to-noise ratio since the smallest value of the surface roughness was desired. At the end of the experiments, the cutting parameters and levels at which we obtained the lowest surface roughness were determined. The sequence of optimum parameter levels was A2B3C1D3. The parameter affecting the surface roughness the most was determined. And the confidence level of the study was found by using analysis of variance. The most effective parameter was the cutting speed, the confidence level of the study was 84.23%.

Number of pages : 48

Keywords : Inconel 718, Taguchi, GRA, Optimization, Surface roughness

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Harun YAKA

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

“Inconel 718 Nikel Esaslı Süper Alaşımın Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Yöntemi ve Gri İlişkisel Analiz ile Optimizasyonu” başlıklı yüksek lisans tezi çalışması 10 bölümden meydana gelmektedir. Bu bölümler; Giriş, Literatür Araştırması, Süper Alaşımlar, Delik Delme, Sinterlenmiş Karbür Kesici Takımların Performansları, Taguchi Yöntemi, Gri İlişkisel Analiz (GİA), Deneysel Çalışma, Deneysel Sonuçlar ve Tartışma, Sonuçlar’dan oluşmaktadır.

Çalışmalarım süresince değerli yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve birikimi ile beni yönlendiren kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA’ya saygı ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. SÜPERALAŞIMLAR.....	6
3.1. Demir Esaslı Süperalaşımlar.....	6
3.2. Kobalt Esaslı Süperalaşımlar	6
3.3. Nikel Esaslı Süperalaşımlar	7
3.3.1. Inconel 718 süperalaşımı	9
4. DELİK DELME.....	11
4.1. Delik Delme İşlemleri.....	11
4.2. Matkaplar	12
4.3. Yüzey Pürüzlülüğü	13
5. SİNERLENMİŞ KARBÜR KESİCİ TAKIMLARIN PERFORMANSLARI.....	15
5.1. Kaplamasız Karbür Takımlarla Nikel Esaslı Süperalaşımların İşlenebilirliği.....	15
5.2. Kaplamalı Karbür Takımlarla Nikel Esaslı Süperalaşımların İşlenebilirliği.....	16
6. TAGUCHI YÖNTEMİ.....	18
6.1. Deneysel Tasarım Kavramı	18

	Sayfa
6.2. Deneysel Tasarımın Aşamaları	20
6.2.1. Sistem tasarımı.....	20
6.2.2. Parametre tasarımı	20
6.2.3. Tolerans tasarımı.....	21
6.3. Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi	21
6.4. Sonuçların Değerlendirilmesi	23
6.5. Varyans Analizi (ANOVA) Çizelgesinin Oluşturulması.....	24
7. GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ (GİA)	27
8. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	29
8.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme ve Özellikleri	29
8.1.1. İş parçası	29
8.1.2. Kesici takımlar	30
8.1.3. Deneylerde kullanılan takım tezgâhı	31
8.1.4. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü.....	31
8.2. Kesme Parametreleri ve Deney Listesi	32
9. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	34
9.1. Normallik Analizi	34
9.2. Taguchi Sonuçları	35
9.3. ANOVA Sonuçları.....	37
9.4. Regresyon Analizi.....	38
9.5. Gri İlişkisel Analiz Sonuçları.....	38
10. SONUÇLAR.....	41
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Nikel esaslı alaşımlarda dövme sıcaklıklarının aralıkları.....	9
Çizelge 6.1. Ortogonal Dizin Tipleri	22
Çizelge 6.2. ANOVA çizelgesi.....	25
Çizelge 8.1. Inconel 718 süperalaşımının kimyasal özellikleri	29
Çizelge 8.2. Inconel 718 süperalaşımının fiziksel özellikleri.....	30
Çizelge 8.3. Mitutoya SJ-310S Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazına ait özellikler	32
Çizelge 8.4. Kesme parametreleri ve seviyeleri	33
Çizelge 8.5. Taguchi L18 deney listesi.....	33
Çizelge 9.1. Yüzey pürüzlülüğü ve S/N oranları değerleri.....	34
Çizelge 9.2. En küçük en iyiye göre Sinyal gürültü oranı yanıt çizelgesi	36
Çizelge 9.3. Varyans analizi (ANOVA) sonuçları	37
Çizelge 9.4. ANOVA modelinin özeti.....	37
Çizelge 9.5. Gri ilişkisel analiz ile ölçülen Ra sonuçları	38
Çizelge 9.6. Faktör ve seviyelerinin Gri ilişki derecesi.....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Trent 800 motorunda kullanılan malzemeler	7
Şekil 3.2. Nikel esaslı süper alaşımlarda oluşan fazların mikroyapısı	8
Şekil 3.3. Üretim yöntemlerine göre nikel esaslı süper alaşımlar	8
Şekil 3.4. GEAE’de döner ve yapısal kısımlarda kullanılan dövme malzemeler	10
Şekil 4.1. Takımın ilerleme (u) ve dönme (v) hareketi	11
Şekil 4.2. Delik çapı ve boyu ilişkisi	12
Şekil 4.3. Delme işlemleri, a) tek operasyonda delme işlemi, b) ön delik delme işleminden sonra yapılan delme işlemi.....	12
Şekil 4.4. Matkaptaki kesici kenar ve yüzeyler	13
Şekil 4.5. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra)	14
Şekil 6.1. Deney tasarım sistemi ve süreci	19
Şekil 8.1. Deney yapılan Inconel 718 süper alaşımının boyutları	29
Şekil 8.2. Hartford CNC Dikey İşleme Merkezi	31
Şekil 8.3. Mitutoyo SJ-310S Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı.....	32
Şekil 9.1. Ra sonuçları için Normallik analizi grafiği	35
Şekil 9.2. Kesme Parametrelerinin İdeal Seviyeleri	36
Şekil 9.3. Deney numaralarına göre Gri ilişkisel katsayıları	39
Şekil 9.4. Gri ilişkisel analize göre faktör düzeylerinin Ra üzerindeki etkisi	40

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Simgeler

Açıklama

γ

gama matris

γ'

gama üssü

γ''

gama çift üssü

u

takımın ilerlemesi

v

takımın dönmesi

Kısaltmalar

Açıklama

GİA

Gri ilişki analizi

TYM

Tepki yüzeyleri metodolojisi

FCC

Yüz merkezli kübik

TCP

Topolojik sıkı paket

$\text{Çek}(f)$

Bir f homomorfizmasının çekirdeği

$\text{End}(M)$

M modülünün endomorfizmalarının kümesi

$\text{Des}_S(M)$

M modülünün basit ve küçük alt modüllerinin toplamı

Ra

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Average Surface Roughness)

1. GİRİŞ

Derin deliklerde kullanım şartlarına göre sıcaklığın fazla olduğu durumlarda malzeme yüzeyinde kılcal çatlaklar, korozyon ve yüksek aşınma gibi istenmeyen hatalar meydana gelir. Bu hataları minimize etmek için delik yüzeylerinde delme esnasında oluşan yüzey pürüzlülüğü kesme parametrelerinin optimizasyonu ile kontrol altına alınabilir (Yaka vd., 2016).

Nikel bazlı süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet, güçlü korozyon direnci, mükemmel termal yorulma özellikleri ve termal stabiliteye sahip olduğu için havacılık sektöründe özellikle motor parçalarının imalatında kullanılmaktadır. Uçak motorlarının kompresör diskleri, türbin diski, yatak halkası, kasa, bıçaklar ve çalışan diğer parçalarında yaygın olarak uygulanmaktadır (Zhu vd., 2013).

Son zamanlarda orta ve düşük sıcaklıklarda çalışabilen bazı süperalaşımların geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu özelliklere sahip olarak geliştirilen süperalaşımlardan birisi de Inconel 718 alaşımıdır. Bu malzeme -250 ile 700°C sıcaklıklar arasında mekanik özelliklerini yüksek oranda koruyabilmektedirler. Bundan dolayı da birçok alanda (nükleer santraller ve petrol santrallerinde, havacılıkta ve motor parçalarında vs.) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler işleme sırasında yüksek sertliğinden dolayı talaş oluşumunda güçlüklerle karşılaşmaktadır (Besterfield vd., 1995). Inconel 718 alaşımlarının üretiminde maliyetler yüksek olduğu için işleme esnasında oluşabilecek kayıplar minimum seviyede tutulmalıdır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, Inconel 718 alaşımının işlenmesi zor olan malzeme grubunda olduğu görülmektedir. Inconel 718'in zor işlenebilir malzeme olmasındaki başlıca nedenlerinden biri ise içerisinde yer alan karbürler aşınır ve takımların kullanım ömrünü azaltır. Karbürlerin ısı iletkenliği düşük olduğu için oluşan ısı uzaklaştırılmaz. Bu da kesici takımın malzemesiyle iş parçası malzemesi arasında kimyasal reaksiyon oluşturur ve işleme sertliği artar (Imran vd., 2014). Nikel bazlı süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda yüksek yorulma, sürünme direnci ve korozyon ve oksidasyon direnci ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle çoğunlukla uçak motoru yapımında kullanılır. Havacılık ve uzay bileşenleri aşırı sıcaklık ve basınca maruz kaldığından, parçalar işlenirken en yüksek düzeyde kalite kontrolleri gerekir. Bu süper alaşımların işlenmesi, yüksek iş sertleştirilmesi ve düşük ısı

iletkenliği nedeniyle zordur ve bunlar, süper alaşımlardan oluşan işlenmiş bileşenin yüzey ve alt yüzey kalitesini, metalurjik değışiklikleri ve boyutsal doğruluğunu ve dayanıklılığını etkileyecektir (Ezilarasan ve Velayudham, 2013). Modern takım tezgâhı konseptleri, teknoloji entegrasyonu, basitleştirilmiş operasyon rotası, proses modelleme ve parça bozulmasını tahmin etmek için kesme stratejisi, FE modelleme, proses ve takım tezgahı durum izleme, yeşil düğme proses tasarımı, çevrim içi problama ve uyarlanabilir işleme ve yüksek hızlı, çok işlevli 5 eksenli makine platformu, gelecekteki pazar gereksinimlerini karşılamak için genel kalite ve üretkenlik hedeflerine ulaşmak için temel kolaylaştırıcılardır (Kappmeyer vd., 2012).

Delme çok önemli bir işlemdir ve esas olarak uçak motor bileşenlerinde delik açmak için kullanılır. Bu nedenle süper alaşımların delinmesinde uygun kesme parametrelerinin seçilmesi ve işleme parametrelerinin optimize edilmesi için bir prosedür geliştirilmesi gerekmektedir. Süper alaşımların delinmesinde en iyi performansa ulaşmak için devir hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği, matkap takım malzemesi/geometrisi ve kesme ortamı gibi faktörler dikkatle seçilmelidir. Bu nedenle, bu çalışma süper alaşımların delme sırasında işlenebilirliğini incelemeyi amaçlamaktadır. Yapılan çalışmada, Inconel 718 nikel esaslı süperalaşım farklı kesme hızında, ilerlemede ve farklı uç açlarındaki kaplamasız ve Titanyum Nitrür (TiN) kaplamalı matkaplarla delinerek yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir ve en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Inconel 718 alaşımları düşük ve orta sıcaklıklarda mekanik özellikleri iyi olduğu için son zamanlarda havacılık alanında yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanlarda kullanılan malzemelerin hassas yüzey toleransları gerektirdiği için işleme yöntemleri ve işleme hassasiyeti büyük önem arz etmektedir. Inconel süperalaşımlarının talaşlı imalat neticesinde iş parçası yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Jafarian vd., 2016; Ozcelik vd., 2005; Kumar vd., 2017; Akgün ve Demir, 2021). Havacılık sanayisinde süper alaşımların delinmesi önemli bir talaşlı imalat uygulaması olarak bilinmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, Inconel 718 süperalaşımı birçok talaşlı imalat yöntemi kullanılarak işlenmiş ve malzemenin işlenebilirliği incelenmiştir. En yaygın olarak da frezeleme ve tornalama işlemleri uygulanmıştır. Delik delme işleminin fazla uygulanmadığı görülmüştür (Besterfield vd., 1995). Farid ve arkadaşları, Inconel 718'in yüzey bütünlüğü bakımından etkilerini incelemek amacıyla farklı devirlerde, ilerleme hızlarında, matkaplarda ve matkap uç açılarında delme testleri yapmışlardır. Çalışmada, işlenmiş deliklerin kalitesi, geometrik doğruluk ve çapak oluşumu açısından değerlendirilmiştir. Genel olarak, kaplamasız karbür matkap kullanılarak Inconel 718 delerken kesme parametrelerinin yüzey kalitesi ve yüzey bütünlüğü üzerinde önemli etkileri olduğu sonucuna varmışlardır (Farid vd., 2009). Khanna ve arkadaşları, Inconel 718 süper alaşımının delinmesi için sürdürülebilir bir üretim süreci olarak kriyojenik işlemin delmeye etkisi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, deliğin daireselliği ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Sonuç olarak, kuru delme ile karşılaştırıldığında kriyojenik delmede delik daireselliği ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinde azalma olmuştur (Khanna vd., 2020). Chen ve Liao, Inconel 718 alaşımının delinmesinde TiAlN kaplı karbür takımın aşınma mekanizmaları ve takım ömrü üzerine çalışma yapmışlardır. Düşük sürtünmeli yüzey değiştiriciyi içeren kesme sıvısının kullanımı ile delme deneyleri yapmışlar ve matkabın ömrünün önemli ölçüde uzadığı ve dolayısıyla işleme maliyetinin büyük ölçüde azaltılabileceğini bulmuşlardır (Chen ve Liao, 2003).

Ezugwu ve arkadaşları yaptıkları inceleme çalışmasında, ticari bazda mevcut olan çeşitli nikel bazlı alaşımların ayrıntılı bir incelemesini ve alaşım ilaveleri ve ayrıca spesifik mekanik ve/veya kimyasal özellikleri elde etmek için kullanılan işleme tekniklerini içeren geliştirmelerini sunmuşlardır. Nikel bazlı alaşımların işlenmesiyle ilgili problemlerin yanı sıra takım aşınması ve takım arızasından sorumlu mekanizmaları tanımlamışlar ve

tartışmışlardır. İşlenen yüzeylerin bütünlüğü ve takım ömrü, işleme sırasında en önemli hususlar olduğunu belirtmişlerdir (Ezugwu vd., 1999). Ezugwu ve arkadaşları aynı yıl içerisinde yaptıkları diğer bir çalışmada, Inconel 718 alaşımını işlemişler ve çok katmanlı PVD kaplı karbür kalitelerinin takım ömrü açısından en iyi performansı verdiğini bulmuşlardır. Bunun nedeni, daha yüksek sertlikleri, toklukları, aşınma direnci, çoklu (TiN/TiCN/TiN) kaplamaların iyi ısı iletim davranışının yanı sıra daha kalın kaplama katmanı (tek kaplamalı kaliteye göre) olduğunu belirtmişlerdir. Alt tabakalarının daha küçük tane boyutu ve daha yüksek yoğunluğu, aynı zamanda çok katlamalı PVD takımlarının mukavemetini ve sertliğini arttırdığını, böylece aşınma aşınmasına karşı daha yüksek direnç sağladığını ifade etmişlerdir (Ezugwu vd., 1999).

Arunachalam ve Mannan yaptıkları inceleme çalışmasında, nikel alaşımlı mazlemelerin işleme performansları üzerine yapılan çalışmaları incelemişlerdir. Büyük bir operasyon olan işleme sürecinin, üretim süresini azaltmak için iyileştirilmesi gerektiğini ve Yüksek Hızlı İşlemenin (HSM) bu konuda verimliliği artırmak için umut verici bir teknik olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmalarında en yaygın olarak kullanılan Inconel 718'e vurgu yapmışlardır. HSM kullanarak malzeme kaldırma oranını büyük ölçüde iyileştirmek mümkün olduğundan, HSM geleneksel işleme ile karşılaştırıldığında uzun uzadıya tartışılmıştır. Uç malzemeleri ve takım geometrisi çalışmasına ek olarak, HSM'yi etkileyen diğer yönler de tartışılmaktadır (Arunachalam ve Mannan, 2000).

Klocke ve arkadaşlarının çalışmasında, Inconel 718'in farklı PVD kaplamalı karbür kesici takımlarla delinmesi sonucu bulunan veriler verilmiştir. Soğutma sıvısı olarak biyolojik olarak kolayca parçalanabilen sentetik esterler kullanılmıştır. Inconel 718 alaşımlarında delme işlemleri kör delik şeklinde yapılmış ve kesme parametrelerinden kesme hızını ve ilerlemeyi belirlemişlerdir. Deney sonunda takım ömrünü ve soğutma sıvısının verimliliği incelenmiştir. Su bazlı soğutma sıvılarına nazaran yapay ester olan soğutma sıvıları hem çevreye verdiği zarar hemde kesme performansına göre daha verimli olduğu vurgulanmıştır (Klocke vd., 2006).

Sharman ve arkadaşları çalışmalarında, delme işleminin, havacılık ve uzay imalatındaki en önemli süreçlerden biri olduğunu ve genellikle de gerçekleştirilen son işlem olduğunu, deliklerde yüksek yüzey bütünlüğü ve üretim süreci güvenliğinin önemli olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca diğer işleme proseslerinin aksine, nikel bazlı süper alaşımların

delinmesiyle ilgili nispeten az sayıda yayın bulunduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında Inconel 718'in genel işlenebilirliği hakkında açıklayıcı bilgiler sunmuşlardır. Piyasadan satın alınan matkaplar kullanılarak elde edilen deliklerin kalitesi havacılık sanayisinin ihtiyaçlarını karşılamaya kâfi gelmediği için ikinci bir işlemeye gerek olduğudur. Standart bir frezeleme takımıyla frezeleme, raybalamaya kıyasla üretkenliği artırma ve maliyetleri düşürme konusunda önemli bir potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir (Sharman vd., 2008).

Outeiro ve arkadaşları çalışmalarında, kriyojenik işlemenin nikel bazlı alaşımlar gibi kesilmesi zor malzemelerde yeni endüstriyel perspektifler açtığını, özellikle delme işleminde matkaba yüksek termal ve mekanik yükleme olduğu için takım performansı, delik geometrisi ve yüzey bütünlüğünün yüksek oranda etkilendiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan soğutma sıvıları ve kriyojenik olarak soğutma şartlarında IN718'in delinmesini inceleyerek takım performansını analiz etmişler ve bunu termo-mekanik olaylarla ilişkilendirmişlerdir. Çalışmalarında kaplamalı sementit karbür matkaplar kullanılmıştır. Kriyojenik soğutma altında matkap performansının geometrisinden güçlü bir şekilde etkilendiğini göstermektedir. Kriyojenik koşullarda delme işleminde takımlarda daha fazla deformasyon oluşmuştur. Kriyojenik işleme seçeneğinin tercih edilebilmesi için mevcut imalat sektöründe kullanılmayan yeni bir matkap ucu tasarımı gerektiği sonucuna varmışlardır (Outeiro vd., 2015).

Vimalesh ve arkadaşları çalışmalarında, yüksek sıcaklık direnci ve yüksek mukavemeti nedeniyle havacılık uygulamalarında sıklıkla tercih edilen kullanılan nikel bazlı süper alaşımlardan olan Inconel 718 kullanmışlardır. Inconel 718'in işlenebilirliğinin düşük oluşunun, ticari, yoğun maliyetli uygulamalarda sınırlayıcı bir faktör olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, Inconel 718'in yüksek hızlı delme işleminde işlenebilirliğini incelemişlerdir. Malzemenin itme kuvvetleri, tork ve talaş mikro yapısı üzerindeki etkisini dört farklı kesme hızında ölçmüşlerdir. Düşük ısı iletkenlik ile birleşen yüksek çekme mukavemetinin işleme sürecini birleştirdiğini, itme kuvvetlerinin başta kesme hızının artmasıyla azaldığını, ancak tork ara kesme hızlarında dalgalanmalar yaşandığını ve daha sonra arttığını vurgulamışlardır. Talaş oluşumunun, ince kesitler ve testere dış kenarlarının düşük kesme hızlarında, yüksek kesme hızlarında ise talaşın sürekli olduğu belirtilmiştir (Vimalesh vd., 2015).

3. SÜPERALAŞIMLAR

Süper alaşımların ana yapısı demir, nikel veya kobalttan oluşmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Mukavemet, oksidasyon direnci, boyutsal özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilme özelliğine sahiptirler. Özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışma kabiliyeti gerektiren havacılık sektöründe kullanılmaktadır (Matthew ve Stephen, 2002).

Ayrıca bu özelliklerinden dolayı hava araçlarının tahrik sistemlerinde, gaz üreticinin bileşenlerinden olan yanma odası, türbinlerde yer alan türbin kanatları, kompresör, diskler ve son yakıcılar gibi parçaların üretiminde de uygulama alanları bulunmaktadır. Özellikle türbin kanatları çalışma esnasında yüksek basınç ve ani sıcaklık değişimlerine maruz kalmaktadır (Jawaid vd., 2001). Süper alaşımlar demir, kobalt ve nikel esaslı olmak üzere üç ana başlıkta incelenebilmektedir.

3.1. Demir Esaslı Süper Alaşımlar

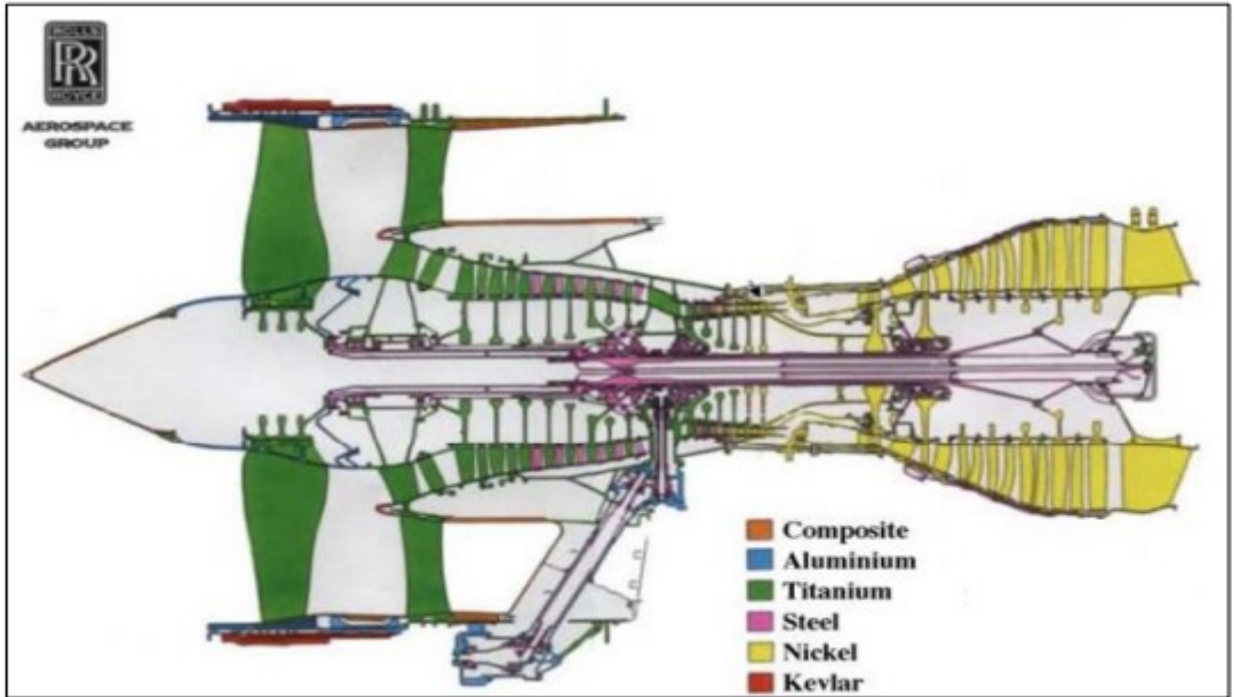
Demir esaslı süper alaşımlar, östenitik paslanmaz çeliklerden geliştirilmiştir. Yapısında %15 ile %60 arasında demir, %25 ile %45 arasında nikel, %15 ile %28 arasında krom ve az miktarda molibden ya da tungsten bulunmaktadır. Maksimum 550-650°C civarında kullanım alanı bulunduğundan nikel ve kobalt esaslı süper alaşımlara göre kullanım alanı azdır (Krishna vd., 2015). Bu alaşımlar, A-286, gaz türbin motorları, türbin disk ve mafsalları ile buhar türbinlerindeki bazı parçalarda kullanılmaktadır (Sarıkaya, 2014).

3.2. Kobalt Esaslı Süper Alaşımlar

Kobalt esaslı süper alaşımların yapısında, %50 ile %60 arasında kobalt, %20 ile %30 arası krom, %5 ile %10 arası tungsten ve az miktarda karbon bulunmaktadır. Ergime sıcaklığı 1495 °C ve yoğunluğu 8.90 g/cm³'tür. İçeriğinde yer alan krom nedeniyle krozyon direncine sahiptirler ve bu nedenle gaz türbinlerinin atmosfere açık çalışan kısımlarında kullanılmaktadır.

3.3. Nikel Esaslı Süper Alaşımlar

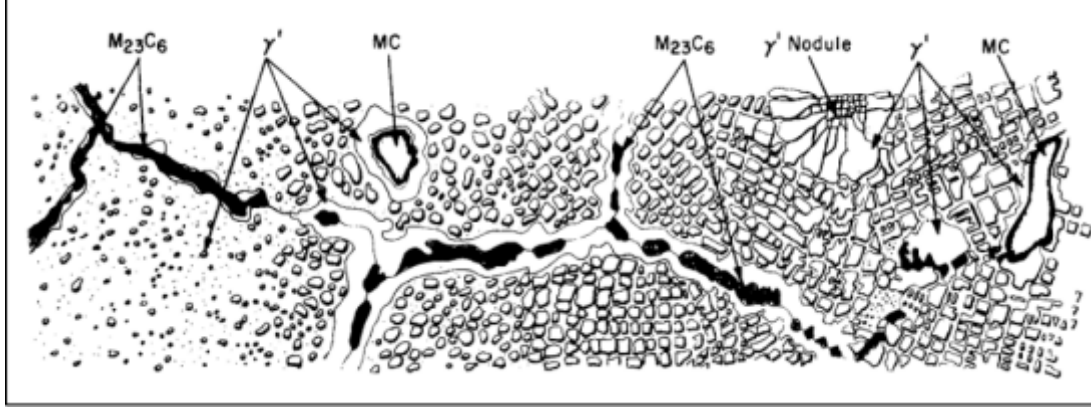
Nikel esaslı süper alaşımların yapısında, %50 ile %70 arasında nikel, Cr, Al, Ti, Nb, Fe, Co, Mo, W, Ta, V, B, Zr ve C elementleri bulunmaktadır. 800°C ile 1000°C aralığında uzun süre çalışabilme imkânı sahiptir. Yapısında yer alan Cr sayesinde korozyon direncine, Al, Ti ve Nb elementleri sayesinde ise mukavemet direncine sahiptirler. Endüstride sıkça kullanılan nikel esaslı süper alaşımlar genellikle havacılık, enerji türbinlerin bazı parçaları gibi yüksek sıcaklığın olduğu yerlerde sıklıkla tercih sebebidir (Matthew vd., 2002; Peng vd., 2018; Garimella vd., 1997). Şekil 3.1’de Trent 800 turbojet motorunda nikel esaslı alaşımların kullanılan alanları gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Trent 800 motorunda kullanılan malzemeler (Jarvis vd.,2005)

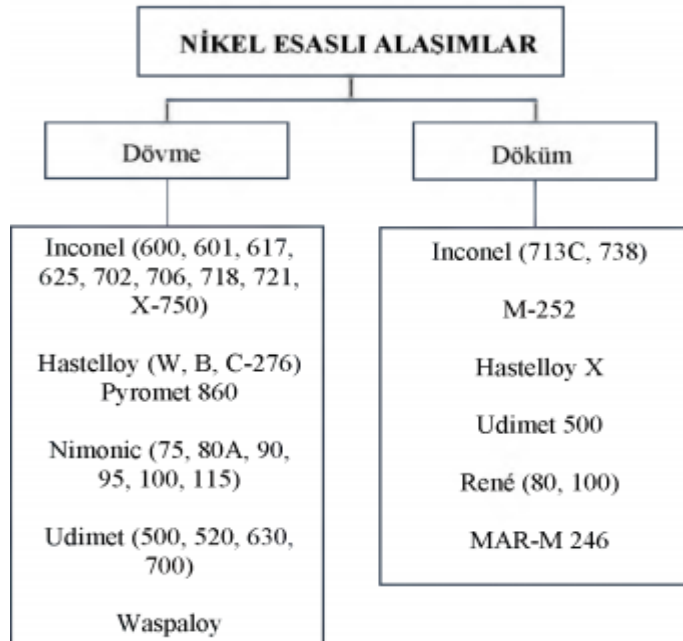
Nikel esaslı süperalaşımların tümünün mikroyapısı, temel olan gama fazı (γ) ve östenitik matristen meydana gelmektedir (Matthew vd., 2002). Oluşabilecek diğer ana fazlar ise gama üssü (γ'), gama çift üssü (γ''), tane sınırı γ' , karbürler, borürler, topolojik sıkı paket (TCP) fazlarıdır. Temel faz olan gama fazının içeriğinde genellikle yüksek oranda demir, kobalt, krom, molibden ve tungsten gibi katı çözelti elementleri yer almaktadır (Ezugwu vd., 1999; Stoloff, 1990).

Nikel esaslı süper alaşımların mikroyapısı içerisinde yer alan fazlar Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Nikel esaslı süper alaşımlarda oluşan fazların mikroyapısı (Matthew ve Stephen, 2002)

Nikel esaslı süper alaşımlar, üretim ve uygulama alanlarına göre dövülebilir ve dökülebilir olarak iki grupta incelenir. Süperalaşımların gruplandırılmış bir şekilde Şekil 3.3’te gösterilmektedir (Başaran, 1998; İnanır, 2012; Donachie, 2000). Bunlar arasında endüstride en çok Inconel 718 kullanılmaktadır.



Şekil 3.3. Üretim yöntemlerine göre nikel esaslı süper alaşımlar (İnanır, 2012; Donachie ve diğerleri, 2000)

Dövme yöntemiyle genellikle türbin diskleri, valf ve pompa gövdeleri, jet türbin kanatçıkları üretilir. Çizelge 3.1’de dövme sıcaklık aralıkları yer almaktadır (Başaran, 1998).

Çizelge 3.1. Nikel esaslı alaşımlarda dövme sıcaklıklarının aralıkları (Başaran, 1998)

Alaşımlar	Dövme Sıcaklığı (°C)						
	535	650	760	870	980	1090	1200
Nikel 200							
Duranikel 301							
Monel 400							
Monel K-500							
Inconel 600							
Inconel 625							
Inconel 718							
Inconel 722							
Inconel X-750, 751							
Incoloy 800							
Incoloy 825							

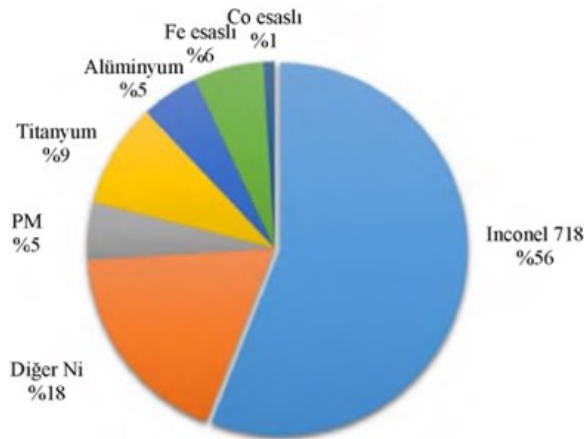
Nikel esaslı super alaşımlar, yapısında yer alan nikel ve diğer elementlerin yüksek mukavemeti nediniyle işlenmesi zor malzemelerdir. İşleme esnasında ortaya çıkan yüksek basınç ve sıcaklık ile malzemede sertleşme meydana gelir buda işlemeyi zorlaştırmaktadır. Zayıf termal iletkenlik ve yüksek yığıma kenar eğilimide (kesici kenara talaş yapışması-yığılması) nikel esaslı supenr alaşımların işlenmesini zorlaştırmaktadır.

3.3.1. Inconel 718 süperalaşımı

Inconel 718, 1950 yılında gelişiminde International Nickel Corporation etkili olmuştur. Endüstride en çok kullanılan alaşım türüdür. Genellikle yüksek sıcaklığın olduğu havacılık, gaz türbinlerinin bazı parçalarında kullanılmaktadır. Inconel 718’i diğer alaşımlardan ayıran en önemli özellikleri arasında oksidasyon direnci, korozyon direnci, kolay dövülebilirlik ve kaynak edilebilirlik yer almaktadır (Kuo vd., 2009). Inconel 718 Çökeltme yöntemiyle sertleştirilebin nikel esaslı bir alaşım türüdür. Yapısında, %50 ile %55 arasında Ni, %17 ile %21 arasında Cr, %12 ile %24 arasında Fe, %2.8 ile %3.3 arasında Mo, %4.75 ile %5.5 arasında Nb ve Ta elementleri bulunmaktadır. Ergime sıcaklığı 1260°C ile 1336°C arasında ve yoğunluğu 8.44 g/cm³’tür. 704°C’ye kadar ise akma, çekme ve sürünme mukavemetleri oldukça yüksektir.

Inconel 718'de talaş yığılması fazlasıyla oluşmaktadır bunda yapısında bulunan karbürlerin ve intermetalik fazların aşındırıcı etkisi bulunmaktadır. Bu olumsuzluk ise yüksek işleme maliyetlerine, malzeme üzerinde yüzey kalitesinin azalmasına ve takım ömrünün düşmesine neden olmaktadır (Uçak ve Çiçek, 2018). Bu tarz mukavemeti yüksek alaşımların işlenebilmesi için kullanılan kesici takımların, aşınma direncinin yük oranda, yüksek sıcaklıklarda yeterli kimyasal kararlılığa, aşınma direncine ve mukavemeti yüksek olması gerekmektedir (Ezugwu vd., 1999).

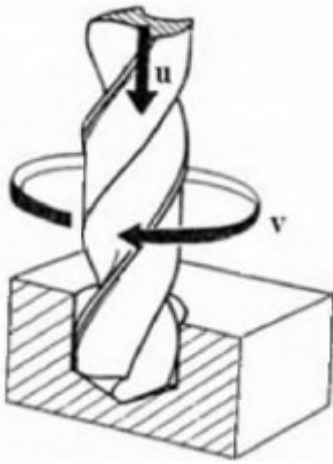
Inconel 718 alaşımı, çoğunlukla solüsyona alma ve çökelme sertleşmesi ile hazırlanır. Bu süper alaşım, ikincil fazların (γ' ve γ'') metal matris içine çöktürülmesiyle sertleştirilir. Bu ise 593°C ile 816°C sıcaklık aralığında nikel, titanyum, alüminyum, niyobyum fazlarının çökmesi ısıtılma işlemi sağlanır. Bu reaksiyonun oluşabilmesi için alüminyum, titanyum, niyobyum gibi yaşılan bileşenlerin matris içinde çözünmüş olmalıdır. Bunlar tam olarak yerine getirilmediğinde alaşımın mukavemeti tam olarak oluşmayacaktır. (Special Metals Corporation, 2007). Şekil 3.4'te 2000'li yıllarda GEAE'de döner ve yapısal kısımlarda kullanılan dövme malzeme çeşitleri bulunmaktadır (Schafrik vd, 2001).



Şekil 3.4. GEAE'de döner ve yapısal kısımlarda kullanılan dövme malzemeler (Schafrik ve diğerleri, 2001)

4. DELİK DELME

İş parçasından, ana dönme hareketi ile ilerleme hareketinin aynı anda yapılmasıyla talaş kaldırma işlemine delik delme denir. Raybalama, broşlama, ovalama (veya parlatma), havşa yuvası açma gibi işlemlerde de delik delme ifadesi kullanılır (Çakır, 2000; Kıvak, 2007). Delik delme, talaşlı üretimin %33'ünü oluşturmaktadır. Çoğu zaman imalat sürecinin son adımlarında gerçekleştirilir. Delik delme sürecinde ortaya çıkan kesme kuvvetlerini, sıcaklık ile kullanılan kesici takımın performansını etkileyen en önemli parametreler ilerme ve kesme hızıdır (Kalidas vd., 2001; Yıldız, 2019). Şekil 4.1'de kesici takımın devir alma yönü ve malzeme işlemedeki ilerleme yönü oklarla belirtilmiştir (Kıvak, 2007; Akkurt, 1998).

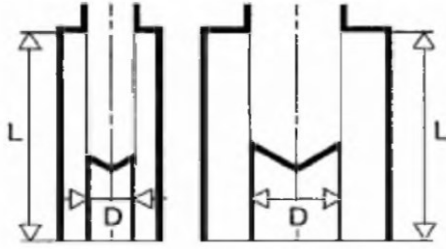


Şekil 4.1. Takımın ilerleme (u) ve dönme (v) hareketi (Kıvak, 2007; Akkurt, 1998)

4.1. Delik Delme İşlemleri

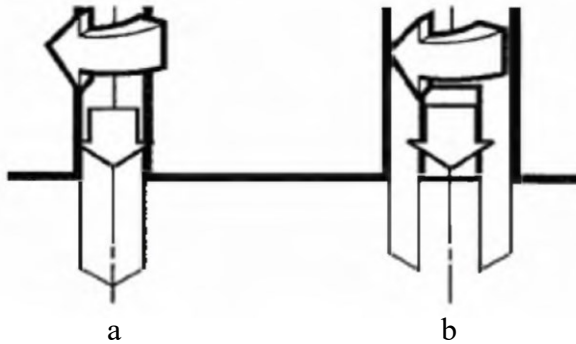
Delik delme sürecinde merkeze gidildikçe kesme hızın azalması, talaş ve kesme sıvısının delikten tahliyesinin zor olması, talaşın delik yüzeyine yapışması sonucu yüzey pürüzlülüğü, dışarıdan uygulanan soğutma sıvısının delme yapılan alana erişimin yetersiz olması, talaş açısının ağız boyunca farklılık göstermesi gibi olumsuz durumlar ortaya çıkabilmektedir (Klocke vd., 2006). Ortaya çıkan bu olumsuzların tek ağızla talaş kaldırma işlemlerine nazaran matkapla talaş kaldırmanın daha komplike ve zor şartlar altında meydana geldiği sonucuna varılır (Kıvak, 2007).

Delikler boylarına uzun, normal ve kısa olarak üç gruba ayrılır. Deliklerdeki boy çap oranı 3 veya daha az olanlar kısa, 4 ile 10 arasında olanlar normal, 10 kattan fazla olanlar ise uzun delik olarak isimlendirilir. Boy çap oranının artmasıyla beraber yüzey pürüzlülüğünde de artış meydana geldiği görülmektedir. Burada ideal olan kısa deliklerdir (Kıvak vd., 2010; Çakır, 2000; El-Khabeery vd., 1991).



Şekil 4.2. Delik çapı ve boyu ilişkisi (Çakır, 2000)

Endüstride genellikle belirli bir çapta yekpare bir matkapla malzemenin tek seferde delinme işlemi kullanılır. Hem içten hemde dıştan kesen bir takım kullanılır. Fazla güç gerektirmemesi için büyük çaplı deliklerden önce küçük çaplı ön delikler delinir (Çakır, 2000).



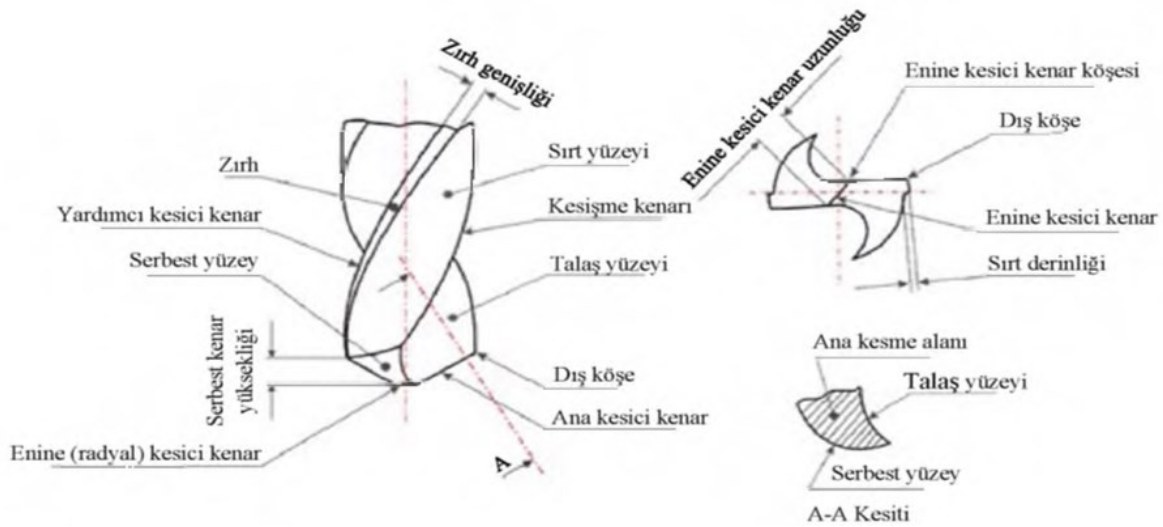
Şekil 4.3. Delme işlemleri, a) tek operasyonda delme işlemi, b) ön delik delme işleminden sonra yapılan delme işlemi (Çakır, 2000)

4.2. Matkaplar

Matkap, malzemelere delik açma veya delikleri genişletmek için kullanılan iki veya daha fazla kesici ağzı olan takımlara denir. Çok farklı türlerde matkap olmasına rağmen çoğunlukla takma uçlu matkaplar kullanılmaktadır. Genel olarak matkaplar gövde ve saptan meydana gelmektedir. Sap kısmı silindirik veya konik şeklinde olup mandrene takılan kısımdır. Gövde kısmı helisel kanalların bulunduğu kısımdır. Bu iki kısım kaynakla

birleştirilebilir veya bir bütün şekilde olabilir. Bazı matkaplarda da bu iki kısım arasında boyun denilen bir bölüm bulunabilmektedir (Çakır vd., 2014).

Asıl kesmenin meydana geldiği yer matkap ucudur. Matkaplar iki veya üç ağızlı olabilmektedir. Bu ağızlarda da aynı sayıda da talaş ve serbest yüzeyler bulunmaktadır. Matkabın uç kısmında konik şeklindeki yüzeye serbest yüzey denir. Zırh, helisel kanal boyunca asıl kesmenin gerçekleştiği kısımdır. Yardımcı kesici kenar ise zırh yüzeyinin kanal tarafındaki kenara denir. Matkap kısımları Şekil 4.4'te gösterilmiştir (Çakır vd., 2014).



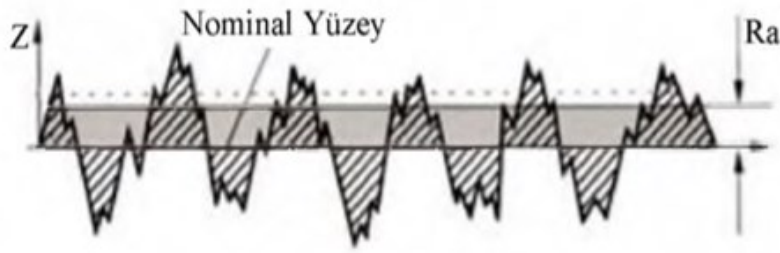
Şekil 4.4. Matkaptaki kesici kenar ve yüzeyler (Çakır vd., 2014)

4.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, parçanın işlenmesi esnasında oluşan kesici takım izleri, dalgalar gibi olumsuzluklara denir. Yüzey pürüzlülüğünde malzeme üzerinde oluşan sürtünme, aşınma gibi standart alanların dışında elektrik, ısı iletimi, hidrodinamik gibi alanlara da dikkat edilmelidir. Bu sebepten dolayı makina ekipmanlarında yüzey pürüzlülüğü değerlerinin belirlenmesi önemli bir husustur (Çoğun ve Özses, 2002).

Talaşlı imalatla elde edilen makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerleri birçok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörlerden bazıları, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesici takım geometrisi, talaşın kesici takıma yapışması, iş parçası üzerinde oluşan titreşim ve balans, malzemede süreksiz talaş oluşması (Kaplan, 2010).

Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi işlemlerinde en çok R_a yüzey pürüzlülüğü kullanılır. R_a yüzey pürüzlülüğü, yüzey üzerinde oluşan aşağı ve yukarı yönlük dalgalanmaların mutlak aritmetik ortalaması olarak ifade edilir. Şekil 4.5'te gösterildiği gibi bu değer aşağı ve yukarı yönlü hareketlerin ortalamasını göstermektedir (Demir ve Toktaş, 2014).



Şekil 4.5. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (R_a) (Demir ve Toktaş, 2014)

5. SİNERLENMİŞ KARBÜR KESİCİ TAKIMLARIN PERFORMANSLARI

Preslenmiş malzemelerin yapılarında yaklaşık %30 civarında gözenekler vardır. Bu gözenekleri doldurmak ve parçacıklar arasında bir bağ oluşturmak için yapılan ısıtılma işlemi sinterleme denir. Nikel esaslı süperalaşımlardan imal edilecek parçalarda, şekil verme ve döküm işlemlerindeki kolaylıklar sebebiyle kullanımı yoğundur. Şekil verme ve döküm işlemlerindeki kolaylıklar nedeniyle komplike parçalar çok rahat üretilebilmektedir. Diğer malzeme türlerindeki gibi süperalaşımların işlenmesinde kullanılacak kesici takımlarda olması gereken özellikler ise aşınmaya karşı direnç, tokluk ve kimyasal özelliğini yüksek sıcaklıklarda koruyabilmesidir (Ezugwu, 2005; Ezugwu, 2003; Ezugwu, 1999). Sinterlenmiş karbür kesici takımlar kaplamalı ve kaplamasız olarak ikiye ayrılır.

5.1. Kaplamasız Karbür Takımlarla Nikel Esaslı Süperalaşımların İşlenebilirliği

Talaşlı imalat işlemlerinde en çok tercih edilen kesici takım malzemeleri arasında kaplamasız karbür takımlar yer almaktadır. Kaplamasız karbür takımlar talaşlı imalatla en çok kullanılan takım malzemeleri arasında yer almaktadır. Süperalaşımların işleme sürecinde, 0.10 mikron yapıya kobalt kaliteleri kaba işleme, 0.06 oranındaki mikron tanecikli kobalt ise bitirme ve yarı bitirme işlemleri için uygundur (Liu, 2006). Sinterlenmiş karbürler ile işleme yaparken, oluşan kuvvetleri ve yüzeyde meydana gelen deformasyonları azaltmak için talaş açısının pozitif olması gerekir. Hızlar da, kaplamalı takımlarla benzerlik gösterir veya biraz daha azdır (Sharman, 2004). Nikel bazlı süperalaşımları işlemek için önerilen kesme hızı genellikle 10-30 m/dak'dır (Ezugwu, 2004). Yüksek kesme hızlarında kaplamasız sinterlenmiş karbür takımlar nikel bazlı süperalaşımların işlenmesi sırasında kullanılmazlar. Yüksek kesme hızları ile yapılan işlemlerde erken kırılma sonucu çentiklenme meydana gelmektedir (Ezugwu, 1999; Ezugwu, 1999). İşlem esnasında kaplamalı takımlarda meydana gelen yüksek ısı, yüksek iş parçası dayanımı ve aşındırıcı talaşların meydana getirdiği çentik aşınması kaplamasız karbür takımlarda çok sık olmaktadır (Sharman, 2004; Ducros, 2003). Kaplamasız karbür takımlarda, işleme sırasında meydana gelen çentiklenmenin haricinde takımlarda krater aşınması, takım kenarlarında kırılma ve çatlama görülmektedir. Kaplamasız takımlarda işlem sırasında yağlamanın yetersiz olması durumunda talaş hareketi yan yüzeyde ve talaş yüzeyinde

zorlaştığından yan yüzeylerde aşınma miktarının fazla olmasına sebep olmaktadır (Ezugwu ve Okeke, 2000).

Inconel 718'in kaplamalı takımlarla işlenmesinde kaplama katmanında ufak ufak dökülmeler meydana gelirken kaplamasız takımlarda ise yüksek sıcaklıklardan dolayı plastik deformasyon fazla olmaktadır (Ducros, 2003). Ayrıca, kesme hızındaki artış ile gerçek kesme kuvvetleri azalmaktadır. Inconel 718'in işlenmesinde en az ortalama gerçek kesme kuvveti 75 m/dak. kesme hızında ortaya çıkmıştır. Kesme kuvvetinin, kesme hızındaki artış ile düştüğü görülmüştür. Bunun nedeni ise kesici takım temas yüzeyinin azalması ve yüksek sıcaklık olduğu kanısına varılmıştır. Ayrıca kesme kuvvetilerindeki azalma, malzemenin cinsine, işleme şartlarına, kesme hızının aralığına göre değişebilmektedir (Liu, 2006; Altın, 2007; Altın, 2006).

5.2. Kaplamalı Karbür Takımlarla Nikel Esaslı Süperalaşımların İşlenebilirliği

Kaplamasız karbür takımların kaplanmasıyla elde edilir. Kaplamadaki amaç kaplamasız karbür takımlarda oluşan kesme kuvvetini, ısıyı ve aşınmayı azaltmak, aşınmaya karşı dayanım ve daha kaliteli yüzeyler elde etmektir. Genellikle karbür takımların kaplanmasında CVD kaplama olarak bilinen 'Kimyasal Buhar Salınımı' ve PVD kaplama olarak adlandırılan 'Fiziksel Buhar Salınımı' yöntemleri kullanılmaktadır. Endüstride çoğunlukla gri rente olan titanyum karbür (TiC), altın sarısı rente olan titanium nitrür (TiN), gri-mavi ve pembe rente olan titanium karbonitrür (TiCN) ve saydam görünümlü olan alüminyumoksit (Al₂O₃) kullanılmaktadır. İşlenmesi çok zor olan malzemelerde titanyum esaslı kaplamalar olan TiC ve TiN verimli olmasına rağmen özellikle takım aşınma miktarını azalttığı, iyi oksidasyon direnci Al₂O₃ tercih edilmektedir (Ezugwu, 2003).

PVD yöntemiyle yapılan kaplamalarda, çatlak, gözenek ve çok az miktarda yüzey pürüzlülüğü olmakla birlikte CVD yöntemiyle yapılan kaplamalarda çatlak, gözenek ve çok fazla yüzey pürüzlülüğü görülmektedir. Böylece PVD kaplamalarda mukavemet oranı CVD'ye göre daha yüksektir. PVD kaplamalarda honlama gerekli olmadığından ve daha keskin kenarlar elde edildiğinden kullanım alanı daha fazladır (Ducros, 2003). Inconel 718'in iki tür içerikli (% 86 WC, % 11.5 Co, % 2.5 TaC içerikli ve % 93.5 WC, % 6.0 Co, % 0.5 Cr₃C₂) TiN kaplı karbür takımların farklı kesme hızlarda yapılan yüzey frezelemede kaplamasız takımlara göre daha uzun süre kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu ise TiN

kaplamasının yüksek mukavemet, kaplamanın sağladığı düşük ısı iletkenlik ve sürtünme katsayısının az olmasından kaynaklanmaktadır (Jawaid vd., 2001).

Speralaşımlardan talaş kaldırma işlemleri arasında matkapla delme önemli bir yere sahip olmasına rağmen tornalama ve frezeleme kadar üzerinde araştırma yapılmamıştır. Inconel 718'in TiAlN kaplamalı matkapla delinmesi üzerine yapılan bir araştırmada iş parçası ile kesici takım yüzeylerindeki aşırı sürtünmeden ötürü matkabın kaplama katmanında yavaş yavaş aşınmaların ve ardından çıtlamaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Aşınan yüzeyde dağılmış vaziyette mikro çatlaklar gözlenmiş ve delme süresince ara yüzeylerde yorulma çatlakları büyümüştür. İşlenen parçadaki sert karbür parçacıklarının aşındırma etkisyonel yorulma çatlaklarının yanında kesme kenarları kırılmış ve tam bu sırada talaşların daha uzun çıkmasıyla verimsiz bir işleme oluşmuştur. Çıkan uzun talaşlardan kısa bir süre sonra da takım aşınmaya başlayarak ömrünü yitirir (Chen ve Liao, 2003).

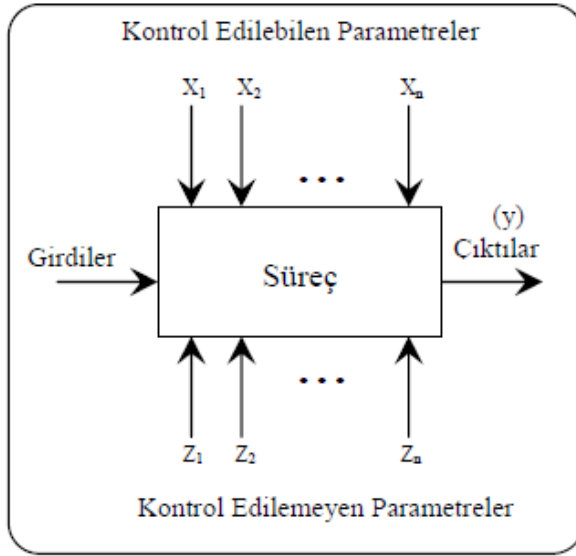
6. TAGUCHİ YÖNTEMİ

Nikel esaslı süperalaşımların delinmesinde en uygun işleme parametrelerinin belirlendiği bu çalışmada dört farklı parametre ve bu parametrelere ait iki ve üç farklı seviye değerleri kullanılmıştır. İlgili parametre ve seviye değerlerinin oluşturduğu kombinasyonların en iyi işleme parametrelerini bulmak için tam faktoriyel tasarım için $4^3 = 64$ adet deneyin yapılması gerekmektedir. Bu deneyler için sarf edilen zaman ve malzeme giderleri göz önüne alındığında Taguchi yöntemi, yapılan deney sayısında azalma sağlamaktadır (Taguchi ve Konishi, 1987),

Standart deney tasarım metodlarının kullanımı günümüz endüstrisinde verimli olamamaktadır. Sisteme etki eden faktörler arttıkça ihtiyaç duyulan deney sayısında da artma meydana gelmekte, maliyetler yükselmekte, uygulamalarda zorluklar yaşanmaktadır. Bu tür olumsuzlukların azaltılması için Taguchi yönteminin kullanılması önemli bir avantaj sağlamaktadır. Yapılan deneylerde en uygun kararın verilmesi gereken bir durumda da Taguchi yöntemi başarı ile kullanılmaktadır. Genichi Taguchi, olarak bilinen yöntem hem deneylerin yapılmasında hemde değerlendirilmesinde verimlilik oranını yükseltecek bir yöntem geliştirmiştir. Böylelikle deney öncesi yapılan çalışmalar neticesinde geleneksel deney sayılarında önemli bir oranda azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu yöntemdeki asıl hedef, geleneksel deney yöntemleriyle elde edilen farklılığın en optimum seviyeye indirilmesidir. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken önemli bir hususta yapılacak olan deney tasarımı birbirine yakın bir düzeyde olmasıdır. Buradaki deney tasarımında her bir faktör için aynı şartlarda ve eşit sayıda örnekleme yapılmalıdır (Ross,1996).

6.1. DeneySEL Tasarım Kavramı

Deney tasarımı, bir süreçteki girdilerle çıktılar arasındaki ilişkinin yorumlanmasıdır. Diğer bir ifadeyle, bir süreçteki girdiler üzerinde yapılan değişiklikler ile çıktılardaki değişikliklerin gözlemlenmesi, yorumlanması olarak tanımlanabilir (Besterfield, 1995). Şekil 6.1’de, deney tasarımı proses optimizasyonunda kontrol edilebilen ($X_1, X_2, \dots, X_n$) ve kontrol edilemeyen ($Z_1, Z_2, \dots, Z_n$) proses değişkenleri gösterilmiştir (Mongomery, 2001).



Şekil 6.1. Deney tasarım sistemi ve süreci (Mongomery, 2001)

Deney tasarım yöntemleri, yeni bir süreç meydana getirmek veya mevcut sürecin performansını artırmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Önemli olan burada düzgün bir süreç oluşturmaktır. Buradaki amaç süreçteki girdilerin kaynağında uygun olmayan ve kontrol edilemeyen kabul edilemeyen değişkenlerin ($Z_1, Z_2, \dots, Z_q$) etkisinin en az olduğu süreç oluşturmaktır (Taylan, 2009).

Deney tasarım aşamaları genellikle dört adımda yapılmaktadır.

1. Uygun faktör ve seviye belirleme.
2. Deneydeki her bir durumun ne kadar tekrarlanması belirlenir.
3. Veri analizi için kullanılacak olan teknikler belirlenir.
4. Deney tasarımı sonunda ulaşılan deneysel veriler yorumlanır.

Deneysel tasarımın avantaj ve dezavantajları ise aşağıda yer almaktadır.

Avantajları;

- a. Süreç baştan sona kontrol altında yapılmaktadır.
- b. Yapılacak deneylerdeki yorumlar süreç sonunda yapılmaktadır.
- c. Deneyler sonunda ortaya çıkan değişkenliklerde maliyetler önem arz ettiğinden daha çok maliyetler üzerinde durulur.
- d. Çok basit bir tolerans analizi imkanı vermektedir.

- e. Ortalamaların ve değişkenliklerin sürekliliği kazandırılmıştır.

Dezavantajları;

- a. Deneyler önceden belirlendiği için rastlantısallığı savunan bir yöntem değildir.
- b. Fazla karışık olan deneyler için sıralama ve adaptasyonunda sorunlar ortaya çıkabilmektedir.
- c. Faktörler arasındaki ilişkilerde dogmatik bir yaklaşım yöntemi görülmektedir (Çelikçapa,2002: Sakarya,2005).

6.2. Deneysel Tasarımın Aşamaları

Ürün ve sürecin tasarımı için Taguchi, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olarak üç aşama ile tanımlamaktadır.

6.2.1. Sistem tasarımı

Taguchi metodunun ilk basamağını sistem tasarımıdır. Bu süreçte üretilmesi düşünülen ürün ile ilgili olarak eldeki bütün teknolojiler, mevcut pazar, bilimsel ve mühendislik bilgileri fizibilitesi çıkartılır. Bu tasarımın içeriği proses parametre değerlerinin optimize etmek ve optimal proses parametreleri altında ürün parametre değerlerini tanımlamaktır (Roy, 1990). Buradaki amaç ürünü müşteriye en uygun maliyet ve kalitede sunmaktır (Sakarya, 2005).

6.2.2. Parametre tasarımı

Taguchi metodunun ikinci adımı olan parametre tasarım, hem sürecin hemde ürünün performansını artırmak için yapılan çalışmaların bulunduğu en önemli aşamadır. Diğer bir ifadeyle en iyi faktör kombinasyonunu seçerek maliyeti yükseltmeden kaliteyi geliştirmektir. Buradaki amaç üründe ve süreçte meydana gelen farklılıklardan kontrol edilemeyen faktörler yerine kontrol edilebilen en uygun faktörün seçilerek varyasyonun en aza indirilmesidir (Şirvancı, 1997).

6.2.3. Tolerans tasarımı

Tolerans tasarımı, parametre tasarımında ortaya konan hedef değerlerde sapmalar olması ihtimallerine karşı tolerans değerleri belirleme olarak ifade edilmektedir. Süreçte kayıplar belirlenir ve bu kayıpların neden meydana geldiği tespit edilerek bu kayıpların azaltılması için çalışmalar yapılır (Roy, 1990). Sistem ve parametre tasarımlarında yüksek kalitede, tolerans tasarımında ise düşük maliyetle ürün elde etme imkanı verir (Gunter, 1987).

6.3. Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Tasarımda kullanılan parametreleri belirlemek için parametrelerin bir yerine daha fazla seviyenin kullanıldığı bir deney uygulanmaktadır. Uygulanan deneylerde amaç gürültü faktörlerinde performans özelliğinin üstündeki etkiyi en aza indirgeyen tasarım parametrelerinin değerlerini göstermektir. Bu olay, deneylerde tasarım parametrelerinin değerlerini düzenli olarak değiştirme yöntemi ile ve her deneyde gürültü faktörünün etkisini karşı karşıya getirerek gerçekleştirilir (Sakarya, 2005).

İlgili deney iki birimden oluşmaktadır. Bunlar; tasarım parametre matrisi ve gürültü faktörleri matrisidir. Parametre matrisi kişi tarafından seçilen değerlerdir. Bu değerler de ürün veya süreç için tasarım karakteristiklerini belirler. Tasarım parametreleri matrisinde sütunlar tasarım parametresini, satırlar da test değerlerini farklı bileşimlerde gösterir. Gürültü faktörü matrisi ise gürültü faktörünün test değerini belirler. Bu matriste sütun gürültü faktörünü, satır ise gürültü düzeyinin farklı bileşimlerini gösterir (Sakarya, 2005).

Taguchi metodunda tasarım parametrelerinin ve gürültü faktörlerinin matrisi için ortogonal dizin kullanılması önerilir. Kullanılan ortogonal dizinler tasarım parametreleri için farklı sayıda değerleri belirlemek için kullanılır. Aynı zamanda deney sayılarını minimum seviyeye indirir. Ortogonal dizinler sadece Taguchi yönteminde kullanılmaz. Fakat, Taguchi yönteminde kullanımlar daha basit hale gelmiştir. 1930'lu yıllarda dengelenmiş dizin anlamına gelen ortogonal dizinleri ilk olarak Fisher olmuştur. (Sakarya, 2005; Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

Çizelge 6.1. (devamı)

	P = 20, S = 3
	P = 21, S = 3
	P = 22, S = 3
	P = 23, S = 3
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	L32
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	

6.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Sonuçları değerlendirmek için bir dizi istatistiksel işlem uygulanması gerekir. Fonksiyon gücünü değerlendiren, hedeflenen performans için varyans, istikrarı ve güvenilirliği ölçebilen bir Sinyal/Gürültü (S/N) oranı belirlenmesi gerekir. En yaygın kullanılan üç S/N oranı; Hedeflenen değer içi “En iyi”, “En küçük en iyi”, ve “En büyük en iyidir”.

Denklem 1, hedef değer en iyi S/N formülünü (ürün boyutları, elektrik voltajı vb.) vermektedir.

$$S/N = -10 \cdot \log \left(\frac{\overline{Y^2}}{S} \right) \quad (1)$$

Denklem 2, en küçük en iyi S/N formülünü (yüzey pürüzlülüğü, gürültü, zararlı maddeler, kirlenme vb.) vermektedir.

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

Denklem 3, en büyük en iyi S/N formülünü (güç, mukavemet vb.) vermektedir.

$$S/N = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (3)$$

Burada,

Y: Y değerlerinin ortalamasıdır.

S: Y değerlerinin standart sapmasıdır.

n: Y değerlerinin sayısıdır.

Bu yöntemde S/N oranları maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. Maksimize ederek, sinyali artırır ve varyansı azaltmış oluruz. Deneylerin neticesinde bulunan S/N oranları hakkında yorum yapabilmek için bu oranların standart sapmalarına, aritmetik ortalamalarına, serbestlik derecelerine bakılarak matematiksel ve istatistiksel işlemler ile Varyans Analizi (ANOVA) oluşturulur. Varyans analizinden sonra önceden yapılmış olan deney koşulları ile aynı biçimde seçilmiş olan parametreler için öngörülen en iyi seviyeler ile farklı bir deney daha yapılarak deneyler arasında tutarlılığının kontrolü yapılır (Sakarya, 2005).

6.5. Varyans Analizi (ANOVA) Çizelgesinin Oluşturulması

Varyans standart sapmanın karesi olarak tanımlanmaktadır. Varyans analizi ise parametreler kullanılarak deneylerden elde edilen verilerin gösterdikleri farklar olarak ifade edilir. Varyans analizinde sıfır hipotezinin denetiminde F testi kullanılır. Bu teste tek bir grup için kareler toplamı, serbestlik derecesi, kareler ortalaması veya varyans yardımı ile standart ayrış ölçüsü hesaplanır. Ayrıca bu yöntem ile iki veya daha fazla grubun kareler toplamı, serbestlik derecesi, kareler ortalaması ya da varyansı hesaplamak ve gruplar arası farkın önemliliğini, önemliliğinin derecesini hesaplamak, bu önemliliği oluşturan nedenleri ortaya çıkarmak için kullanılabilir (Sakarya, 2005).

Basit varyans analizinin aşamaları şöyle özetlenebilir. Bunlar;

- a. Karelerin toplamı
- b. Serbestlik dereceleri
- c. Karelerin ortalaması
- d. F değeri
- e. Önem kontrolü

f. Guruplar arası varyansın genel varyanstaki payı seklindedir.

ANOVA çizelgesi varyans hesaplarının kolayca gözlemlenmesi için oluşturulur. Basit bir çizelgenin oluşturulması için Çizelge 6.2’de gösterilen değişkenlerin nasıl elde edildiği aşağıdaki formüllerle gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. ANOVA çizelgesi

Varyansı bulunacak bileşenler	Serbestlik Dereceleri (SD)	Karalerin Toplamı (KT)	Karalerin Ortalaması (KO)	İstatistik Değer (F)	Pay % (P)
Gruplar arası varyans (faktör)	Gruplar arası serbestlik derecesi (GaSD)	Gruplar arası kareler toplamı (GaKT)	Gruplar arası kareler ortalaması (GaKO)	F	P
Grup içi varyans (hata)	Grup içi serbestlik derecesi (GiSD)	Grup içi kareler toplamı (GiKT)	Gruplar içi kareler ortalaması (GiKO)		
Toplam varyans	Genel serbestlik derecesi (GSD)	Genel kareler toplamı (GKT)			

Çizelge 6.2’de verilen değişkenlerin hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılır.

$$\text{Genel Serbestlik Derecesi} = N - 1 \quad (4)$$

Denklem 4’te N ifadesi kullanılan verilerin sayısını göstermektedir.

$$\text{Gruplar arası Serbestlik Derecesi} = t - 1 \quad (5)$$

$$\text{Grup içi Serbestlik Derecesi} = N - t \quad (6)$$

Denklem 5’te t ifadesi grup sayısı veya seviye sayısını belirtmektedir.

$$\text{Genel Kareler Toplamı} = \sum x^2 - (\sum x)^2/n \quad (7)$$

Denklem 7’de, x ifadesi varyansı alınan değerlerin her birini, n ifadesi ise x değerinin adetini vermektedir.

$$\text{Gruplar arası Kareler Toplamı} = \left[\frac{(\sum x_1)^2}{m_1} + \frac{(\sum x_2)^2}{m_2} + \dots + \frac{(\sum x_n)^2}{m_n} \right] - \frac{(\sum x)^2}{n} \quad (8)$$

Denklem 8’de m ifadesi gruba ait olan x adedini vermektedir.

$$\text{Grup içi } x^2 \text{ toplamı} = \sum x^2 - (\sum x)^2/n - \left(\frac{(\sum x_1)^2}{m_1} + \frac{(\sum x_2)^2}{m_2} + \dots + \frac{(\sum x_n)^2}{m_n} \right) + \frac{(\sum x)^2}{n} \quad (9)$$

$$\text{Gruplar arası kareler ortalaması} = \frac{\text{Gruplar arası kareler toplamı}}{\text{Gruplar arası serbestlik derecesi}} \quad (10)$$

$$F = \frac{\text{Gruplar arası kareler ortalaması}}{\text{Gruplar içi kareler ortalaması}} \quad (11)$$

$$P \% = \frac{\text{Gruplar arası serbestlik derecesi}}{\text{Genel serbestlik derecesi}} / 100 \quad (12)$$

7. GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ (GİA)

Taguchi yöntemi tek bir yanıt karakteristiğini optimize etmek için tasarlanırken, Gri ilişkisel analizde birden çok sonucun optimizasyonuna izin verilir. Bu nedenle Gri İlişkisel Analiz diğer optimizasyon yöntemlerine göre biraz daha karmaşıktır (Gök, 2015; Kathleen vd., 2004; Singh vd., 2004). Bir sistemin hayati faktörlerine ve faktörler arasındaki ilişkiye karar vermek için kullanılır. Burada anahtar faktörler giriş ve çıkış sırası tarafından tanınır. Çalışmada ilk olarak, deneysel sonuçlar 0 ile 1 arasında normalleştirilmiştir. Daha sonra normalize edilen deneysel sonuçlardan gri ilişkisel katsayılar (GRC) elde edilerek GRC'den gri ilişkisel derece (GRG) elde edilmiştir. Ve son olarak, ortalama gri ilişkisel derece, gri ilişkisel katsayılarından elde edilmiştir. Çoklu işlem yanıtları da GRG tarafından değerlendirilmiştir (Gök, 2015; Singh vd., 2004).

$$x_i(k) = \frac{\max y_i(k) - y_i(k)}{\max y_i(k) - \min y_i(k)} \quad (13)$$

Burada $x_i(k)$, normalizasyon sonrasında i serisindeki ve k satırındaki değeri, $\min y_i(k)$, i serisindeki minimum değeri, $\max y_i(k)$, i serisindeki maksimum değeri ifade eder ve $y_i(k)$ da i serisi ve k satırındaki orijinal değeri ifade eder.

İkinci adımda, normalize edilmiş deneysel verilerden istenen ve ölçülen deneysel veriler arasındaki ilişkiyi ifade eden Gray ilişki katsayısı hesaplanır. Gri ilişki katsayısı şu şekilde ifade edilebilir (Gök, 2015; Singh vd., 2004):

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta 0_i(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (14)$$

$$\Delta 0_i = \|X_0(k) - X_i(k)\| \quad (15)$$

Burada ξ , 0,5 olarak alınan 0 ile 1 arasında bir ayırıcı katsayıdır. $\Delta 0_i(k)$, $y_0(k)$ ile $y_i(k)$ arasındaki mutlak değer farkıdır. $y_0(k)$, ideal dizi veya referans dizidir., $\Delta_{\min}$, $\Delta 0_i$ 'nin en küçük değeri, $\Delta_{\max}$ ise $\Delta 0_i$ 'nin en büyük değeridir (Gök, 2015; Durairaj vd., 2013).

Üçüncü adımda, normalize edilmiş deneysel verilerden istenen ve ölçülen deneysel veriler arasındaki ilişkiyi ifade eden Gri ilişki katsayısı hesaplanır. Gri ilişki katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Gök, 2015; Singh vd., 2004):

$$\gamma_i = \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (16)$$

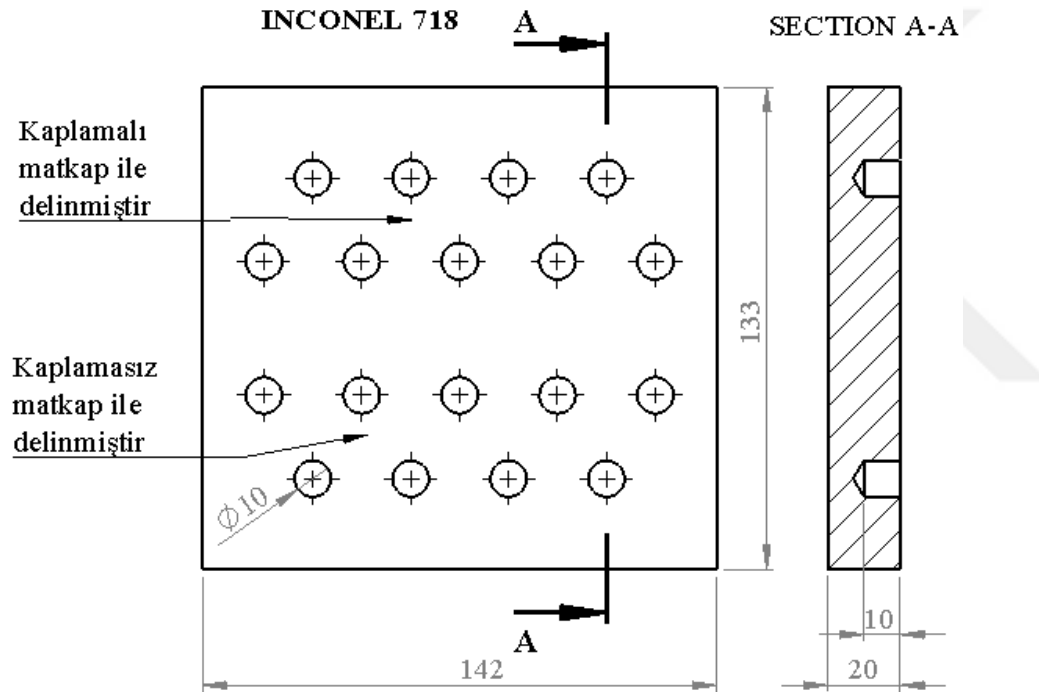
Bu denklemde γ_i , Gri ilişki derecesini, n ise performans özelliklerinin sayısını belirtmektedir.

8. DENEYSEL ÇALIŞMA

8.1. Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme ve Özellikleri

8.1.1. İş parçası

Deneyde Şekil 8.1’de boyutları verilen 43 HRC sertliğinde Inconel 718 süper alaşımı kullanılmıştır. Bu malzemenin kimyasal bileşim ve fiziksel özellikleri Çizelge 8.1 ve Çizelge 8.2’de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 8.1. Deney yapılan Inconel 718 süper alaşımının boyutları

Çizelge 8.1. Inconel 718 süperalaşımının kimyasal özellikleri

Element	Ni	Cr	Fe	Nb + Ta	Nb	Mo	Ti	Al	Co	Cu
Ağırlıkça %	53.45	18.55	17.64	5.18	5.17	2.92	0.98	0.56	0.23	0.22

Çizelge 8.2. Inconel 718 süperalaşımının fiziksel özellikleri

Özellik	Ölçü birimi	Değerler
Yoğunluk	[g/cm ³]	8.20
Young Modülü	[GPa]	204
Özel ısı	[J/kg-K]	435
Lineer ısıl genişleme katsayısı	[10 ⁻⁶ /°C]	13.0
Termik iletkenlik	[W/(m·K)]	11.3
Elektrik öz direnç	[Ω·m*10 ⁻⁹]	1250
Bağıl mıknatıs geçirgenliği	-	1.010

8.1.2. Kesici takımlar

Deneylerde Karcan Kesici Takımlar firmasından temin edilen 10 mm çapında, uç açıları 95°, 118° ve 140° olan Karcan marka kaplamasız K3DF100089 kodlu karbür maktap ile M8DF100142 kodlu Titanyum Nitrür Kaplama (TiN) kaplamalı matkap kullanılmıştır (Chen ve Liao 2003). Titanyum Nitrür Kaplama (TiN), aşınma direncinin yüksek olması sebebiyle kaplama çeşidi olarak farklı malzemeler üzerinde uygulanabilmekte ve takımların aşınmasını azaltarak ömrünü arttırıcı, malzemenin işlenmesi ve beslenmesinde yüksek hızlarda işleme imkânı sunan bir yapıya sahiptir.

- Bileşen: TiN
- Görüntü: Metalik Gold (Altın Rengi)
- Kalınlık: 0.25-12 Mikron (Yaygın olarak 1-5 mikron arasında kullanılmaktadır)
- Homojen bir kaplama sağlar, kenarlarda birikme yapmaz.
- Sertlik: 80 HRc üstü
- Kesici takım malzemesi ile kaplama oluşturduğu metalurjik bağ ile iyi bir mekanik yapışma sağlar.
- Oksidasyon Sıcaklığı: 600°C'de okside olmaya başlar.
- Kimyasal Direnci: Asit, baz ve solventlere karşı dirençlidir.
- Erime Sıcaklığı: 2950°C
- Kaplama Yöntemi: PVD
- Yüzey Merkezli Kübik bir kristal yapıya sahiptir.

8.1.3. Deneylerde kullanılan takım tezgâhı

Deneyler, İvedik Organize Sanayi Bölgesi Makrotek Makina firmasında bulunan Hartford F1 1000 CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın gücü 11 KW, 12000 devir ve 1000X500X600 ebatlarındadır. Deneyde kullanılan CNC dik işleme tezgâhı Şekil 8.2’de verilmiştir. Soğutma sıvısı olarak da Tees-San Eurolab TE280 soğutma sıvısı kullanılmıştır. Bu soğutma sıvısı, özel lubrikantlar, yüzey aktif maddeler, organik ve inorganik korozyon inhibitörleri, EP (aşırı basınç) ve aşınma önleyici katkıları, antioksidanlar ve hidrokarbonların kombinasyonundan oluşmuş yarı sentetik metal işleme sıvısıdır.



Şekil 8.2. Hartford CNC Dikey İşleme Merkezi

8.1.4. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü

Delik delme deneylerinin neticesinde meydana gelen yüzeylerdeki pürüzlülükler Mitutoyo SJ-310S Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının görseli ve ölçüm yöntemi Şekil 8.3’te, cihazın teknik özellikleri de Çizelge 8.3’te verilmiştir. Ölçümler ISO 4287 standardına (Clausen ve Stangenberg, 1999) göre 8 mm ölçüm uzunluğunda yapılmıştır.



Şekil 8.3. Mitutoyo SJ-310S Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Çizelge 8.3. Mitutoyo SJ-310S Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazına ait özellikler

Dedektör Ölçüm Kuvveti	0.75 mN
İğne Ucu açısı	60°
İğne Ucu radyüsü	2 µm
Ağırlık	1.7 kg
Kablo uzunluğu	1 m
Stylus	Diamond Tip
Kızak yarı çapı (standart prob)	40 mm
Ölçüm kuvveti (standart prob)	0.75 mN
Arayüz	RS-232 C interface for input/output, DIGIMATIC output, Compact flash card
Pürüzlülük standartları	EN ISO, VDA, ANSI, JIS
Ölçüm uzunluğu (L)	0.08 mm; 0.25 mm; 0.8 mm; 2.5 mm, 8 mm
Örnekleme uzunluğu	x 1, x 3, x 5, x L
Dijital Filtre	2RC-75%, 2RC-75% (phase corrected), Gauss -50%
Örnekleme Uzunluğu	lc: 0.08 mm; 0.25 mm; 0.8 mm; 2.5 mm; 8 mm ls: 2.5 µm; 8 µm; 25 µm
Yazıcı	Thermal Printer (Printing width: 48 mm)

8.2. Kesme Parametreleri ve Deney Listesi

Kesme parametreleri, kesici takım üretici firması tarafından önerileri doğrultusunda belirlenmiştir. Deneylerde, 3 farklı kesme hızı (15, 20, 25 m/dak.), 3 farklı ilerleme (26,32,38 mm/dak.) değerleri ile iş parçasına 10 mm kesme derinliğinde kör delikler

açılmıştır. İş parçasına kaplamalı matkapla 9 kaplamasız matkapla 9 olmak üzere toplamda 18 delik delme işlemi yapılmıştır. Delik delme işleminde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 8.4'te, Taguchi L18 deney listesi de Çizelge 8.5'te verilmiştir.

Çizelge 8.4. Kesme parametreleri ve seviyeleri

Sembol	Kontrol faktörleri	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Kesici takım		Kaplamasız	Kaplamalı	
B	Kesme hızı	m/dk	15	20	25
C	İlerleme	mm/dk	26	32	38
D	Matkap uç açısı	°	95	118	140

Çizelge 8.5. Taguchi L18 deney listesi

Test No	Kontrol faktörleri			
	A	B	C	D
1	Kaplamasız	15	26	95
2	Kaplamasız	15	32	118
3	Kaplamasız	15	38	140
4	Kaplamasız	20	26	95
5	Kaplamasız	20	32	118
6	Kaplamasız	20	38	140
7	Kaplamasız	25	26	118
8	Kaplamasız	25	32	140
9	Kaplamasız	25	38	95
10	Kaplamalı	15	26	140
11	Kaplamalı	15	32	95
12	Kaplamalı	15	38	118
13	Kaplamalı	20	26	118
14	Kaplamalı	20	32	140
15	Kaplamalı	20	38	95
16	Kaplamalı	25	26	140
17	Kaplamalı	25	32	95
18	Kaplamalı	25	38	118

9. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Taguchi L18 ($2^1 3^3$) ortogonal dizilim ile hazırlanan deney listesine göre yapılan delme işlemleri sonunda yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş ve Taguchi ile analiz yapılarak S/N (sinyal/gürültü) oranları çıkarılmıştır. Optimum parametreler ve seviyeler elde edilen bu S/N gürültü oranlarına göre belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri ve S/N oranları Çizelge 9.1’de verilmiştir.

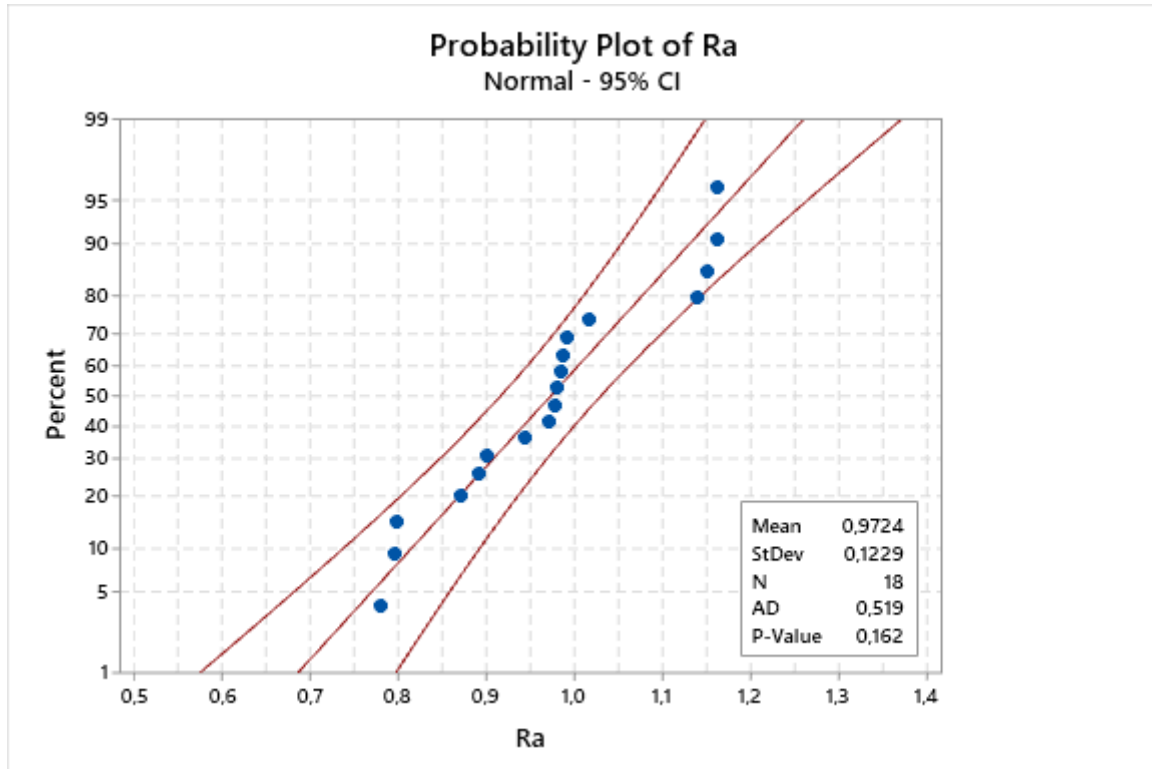
Çizelge 9.1. Yüzey pürüzlülüğü ve S/N oranları değerleri

Deney No	A	B	C	D	Ra (μm)	S/N (dB)
1	Kaplamasız	15	26	95	1.162	-1.30412
2	Kaplamasız	15	32	118	1.017	-0.14642
3	Kaplamasız	15	38	140	1.163	-1.31159
4	Kaplamasız	20	26	95	0.981	0.16662
5	Kaplamasız	20	32	118	0.970	0.26457
6	Kaplamasız	20	38	140	0.992	0.06977
7	Kaplamasız	25	26	118	0.870	1.20961
8	Kaplamasız	25	32	140	0.891	1.00245
9	Kaplamasız	25	38	95	0.901	0.90550
10	Kaplamalı	15	26	140	0.943	0.50977
11	Kaplamalı	15	32	95	1.140	-1.13810
12	Kaplamalı	15	38	118	1.151	-1.22151
13	Kaplamalı	20	26	118	0.985	0.13128
14	Kaplamalı	20	32	140	0.978	0.19322
15	Kaplamalı	20	38	95	0.986	0.12246
16	Kaplamalı	25	26	140	0.799	1.94906
17	Kaplamalı	25	32	95	0.779	2.16925
18	Kaplamalı	25	38	118	0.796	1.98174

9.1. Normallik Analizi

İstatistiksel yöntemlerin çoğu normallik varsayımına dayanmaktadır. Bu sebeple analizlerine başlatılmadan önce veri setlerinin dağılımının normal olup olmadığının test edilmesi gerekmektedir. Minitab, normallik testi için Anderson-Darling, Ryan-Joiner (Shapiro-Wilk'e benzer) ve Kolmogorov-Smirnov seçenekleri sunar. Sunulan bu normallik testleri arasında Anderson-Darling seçeneğine göre testler gerçekleştirilmiştir. Ra, için elde

edilen normallik testi sonuçları Şekil 9.1'de verilmiştir. Ortalama, StDev (standart sapma), N (numune sayısı), AD (Anderson-Darling) ve p değerlerini şekillerde görebiliriz. Normallik testi sonucunda $p > 0.05$ olmalıdır (Asiltürk ve Akkuş, 2011). p değerleri Ra için 0.162 olarak elde edilmiştir. Test sonucunda elde ettiğimiz değerlerin normal dağılıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 9.1. Ra sonuçları için Normallik analizi grafiği

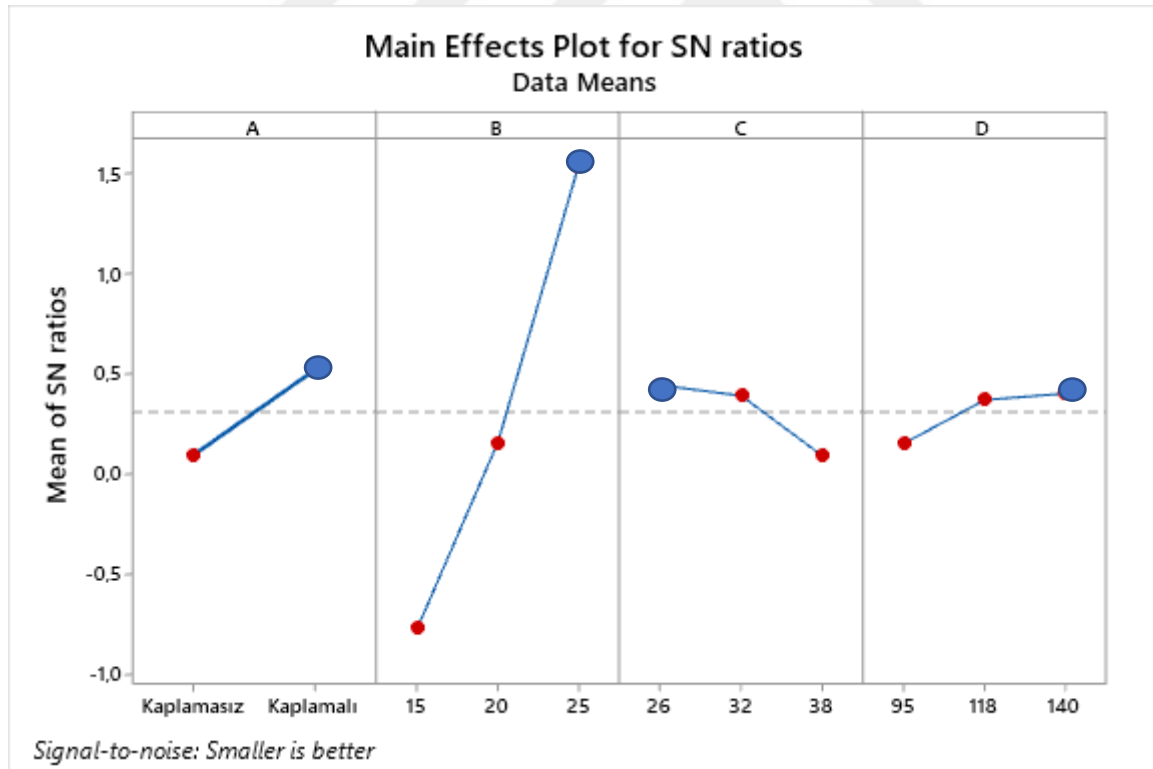
9.2. Taguchi Sonuçları

Deneyler neticesinde bulunan ortalama Ra sonuçları ve sinyal-gürültü (S/N) oranları Çizelge 9.2'de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü küçük olması gerektiğinden S/N oranları en küçük en iyi metodu ile oluşturulmuştur. En küçük Ra için S/N oranı en belirgin yani en büyük olur (Erkan ve Yücel, 2018) Çizelge x incelendiğinde en büyük S/N oranı 17. deneyde çıkmıştır. Yüzey pürüzlülüğü de 0.779 μm ile en küçük çıkmıştır.

Çizelge 9.2. En küçük en iyiye göre Sinyal gürültü oranı yanıt çizelgesi

Seviye	A	B	C	D
1	0.09515	-0.76866	0.44370	0.15360
2	0.52191	0.15799	0.39083	0.36988
3		1.53627	0.09106	0.40211
Delta	0.42676	2.30493	0.35264	0.24851
Sıra	2	1	3	4

Çizelge 9.2’de en küçük en iyi sinyal-gürültü oranına göre yanıt çizelgesidir. Bu çizelgede, Taguchi analizlerine göre parametrelerin etkinlik sırası verilmiştir. Sıra satırı, parametrelerin etkinlik sırasını vermektedir. B parametresi yani kesme hızı 1. sırada çıkarak en etkin parametre olmuştur. Daha sonra etkinlik sırası, A (kesici takım kaplamalı-kaplamasız), C (İllerleme) ve D (Matkap uç açısı) şeklinde gerçekleşmiştir.



Şekil 9.2. Kesme Parametrelerinin İdeal Seviyeleri

Şekil 9.2’de parametre seviyelerinin en ideal olanlarını gösteren grafik verilmiştir. Taguchi analiz yöntemi ile elde edilen bu grafikte, A parametresinin en ideal seviyesi 2. seviye olan

kaplamalı, B parametresinin en ideal seviyesi 3. seviye olan 25 m/dk., C parametresinin en ideal seviyesi 1. seviye olan 26 mm/dk ve D parametresinin en ideal seviyesi 3. seviye olan 140° olarak çıkmıştır. Bu sonuçlara göre optimum parametre seviyelerinin dizilimi için A2B3C1D3 dizinini yazabiliriz.

9.3. ANOVA Sonuçları

Bu bölümde Ra için ANOVA sonuçları Çizelge 9.3'te verilmiştir. Varyans analizi %95 güven düzeyi seçilerek gerçekleştirilmiştir. Çizelgede bulunan % etki değerleri faktörlerin kesme faktörlerinin yüzde etki derecesini göstermektedir. En etkin faktör %77.29 ile B faktörü olmuştur. P değerinin %5'ten küçük olması ise bu model için faktörlerin anlamlı olup olmadığını gösterir. Çizelgede sadece D faktörü anlamlı çıkmamıştır. Diğer faktörler %5'ten küçük olduğu için anlamlı çıkmıştır. En anlamlı değer de 0.0001 ile B faktörü olmuştur. Taguchi analizlerinde de en etkin parametre B (kesme hızı) çıkmıştır. ANOVA sonuçları Taguchi sonuçlarını doğrulamaktadır.

Çizelge 9.3. Varyans analizi (ANOVA) sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	% Etki	Kareler ortalaması	F Değeri	P Değeri
A	1	0.008450	3.29%	0.008450	2.09	0.1791
B	2	0.198455	77.29%	0.099228	24.51	0.0001
C	2	0.006057	2.36%	0.003028	0.75	0.4980
D	2	0.003312	1.29%	0.001656	0.41	0.6749
Hata	10	0.040480	15.77%	0.004048		
Toplam	17	0.256754	100.00%			

Çizelge k, varyans analizinin özetini vermektedir. Çizelgede R² değeri modelin güven düzeyini göstermektedir. Yapılan bu model %84.23 güven düzeyinde çıkmıştır. Model %95 olarak belirlenmişti ancak modelin güvenilirlik düzeyi bu değer altında çıkmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde çıkan bu değer de kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 9.4. ANOVA modelinin özeti

	R ²	R ² ortalama	PRESS	R ² ilk	AICc	BIC
0,0636242	84.23%	73.20%	0.131157	48.92%	-18.17	-32.66

9.4. Regresyon Analizi

Kontrol deneyleri ve deneysel faktörlerin arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek için genellikle Regresyon analizi yöntemi kullanılmaktadır. Aynı zamanda analiz edilecek değişkene göre daha kolay veya daha erken tespit edilebilen değişkenlere dayalı olarak istenilen değişkeni tahmin eden bir modelin oluşturulmasıdır (Akkuş, 2021). Regresyon analizi sonuçlarından elde edilen matematiksel model Denklem 9.1’de verilmiştir. Bu model ile farklı parametrelerle yapılacak deneylerde oluşacak yüzey pürüzlülükleri hakkında önceden bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır. Bu da şirketlerde zaman ve enerji kaybını önlemeye yardımcı olacaktır. Yapılan analiz, çok değişkenli regresyon sınıfına girmektedir. Üç nicel değişken arasındaki ilişki ölçülmüştür.

$$Ra = 1.455 - 0.02567 * B + 0.00346 * C - 0.000681 * D \quad (17)$$

9.5. Gri İlişkisel Analiz Sonuçları

Öncelikle "en düşük olan en iyisidir" yaklaşımına göre normalizasyon yapılmış ve ardından referans serilerinden sapmalar hesaplanmıştır. İkinci olarak, her bir deneyin Gri ilişki katsayıları hesaplanmıştır. Son olarak, Çizelge 9.5'te listelenen sıcaklık için Gri ilişkisel derecenin ortalama değerleri, sırasıyla Denklem 1, 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

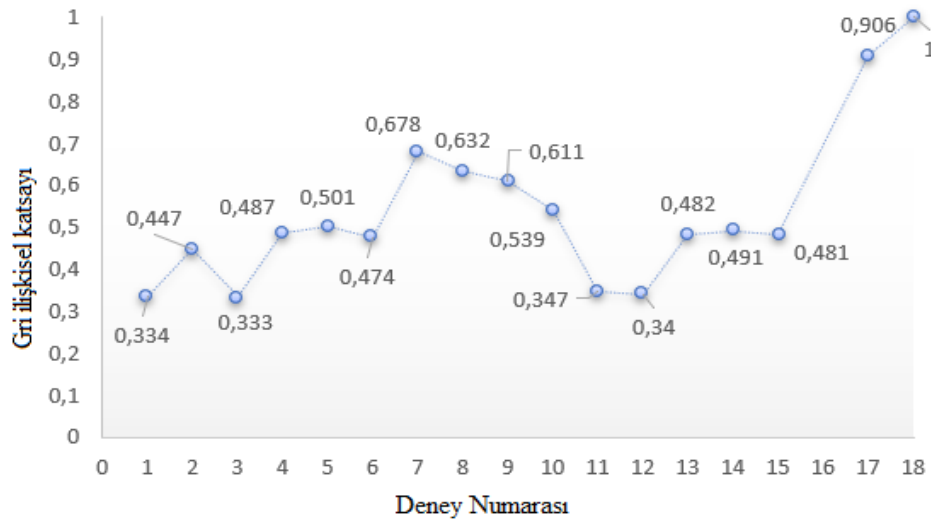
Çizelge 9.5. Gri ilişkisel analiz ile ölçülen Ra sonuçları

Deney No	A	B	C	D	Ra (µm)	Normalizasyon değeri	Gri ilişkisel katsayı	Gri ilişkisel derece
1	Kaplamasız	15	26	95	1.162	0.002	0.334	17
2	Kaplamasız	15	32	118	1.017	0.380	0.447	14
3	Kaplamasız	15	38	140	1.163	0.000	0.333	18
4	Kaplamasız	20	26	95	0.981	0.474	0.487	10
5	Kaplamasız	20	32	118	0.970	0.502	0.501	8
6	Kaplamasız	20	38	140	0.992	0.445	0.474	13
7	Kaplamasız	25	26	118	0.870	0.763	0.678	4
8	Kaplamasız	25	32	140	0.891	0.708	0.632	5
9	Kaplamasız	25	38	95	0.901	0.682	0.611	6

Çizelge 9.5. (devamı)

10	Kaplamalı	15	26	140	0.943	0.572	0.539	7
11	Kaplamalı	15	32	95	1.140	0.059	0.347	15
12	Kaplamalı	15	38	118	1.151	0.031	0.340	16
13	Kaplamalı	20	26	118	0.985	0.463	0.482	11
14	Kaplamalı	20	32	140	0.978	0.481	0.491	9
15	Kaplamalı	20	38	95	0.986	0.460	0.481	12
16	Kaplamalı	25	26	140	0.799	0.947	0.906	3
17	Kaplamalı	25	32	95	0.779	1.000	1.000	1
18	Kaplamalı	25	38	118	0.796	0.955	0.919	2

Gri ilişkisel derecede her zaman en yüksek değere sahip olan istenir. Çizelge 9.5 ve Şekil 9.3 incelendiğinde, 17. deneyde Gri ilişkisel derece 1 olarak çıkmış ve en yüksek parametre derecesi olduğu bulunmuştur. Böylece, 17. deney, 18 deney arasında eş zamanlı olarak en iyi çoklu performans özelliklerini vermektedir (Çelikçapa, 2002).



Şekil 9.3. Deney numaralarına göre Gri ilişkisel katsayıları

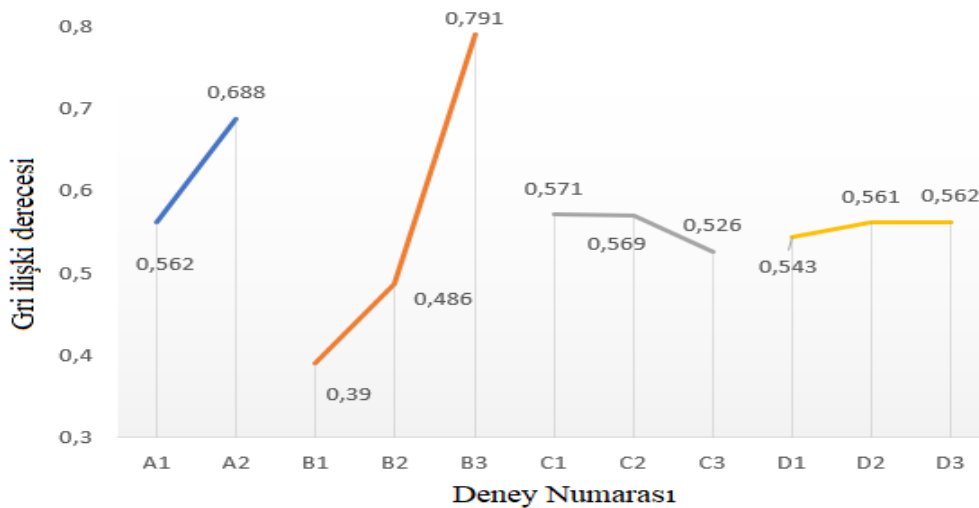
Çizelge 9.6'da gösterildiği gibi, her faktör seviyesinin ortalama Gri ilişkisel derecelerini hesaplamak için yanıt çizelgesi kullanılmıştır. Gri ilişkisel dereceler, referans ve karşılaştırılabilirlik dizileri arasındaki korelasyon seviyesini temsil ettiğinden, Gri ilişkisel

derecenin daha büyük olanı, referans dizileri ile daha güçlü bir korelasyon sergileyen karşılaştırılabilirlik dizisi anlamına gelir (Çelikçapa, 2002).

Çizelge 9.6. Faktör ve seviyelerinin Gri ilişki derecesi

Seviyeler	Faktörler			
	A	B	C	D
1	0.562	0.390	0.571	0.543
2	0.688	0.486	0.569	0.561
3		0.791	0.526	0.562

Bu verilere dayanarak, en büyük ortalama yanıtı sağlayan seviyelerin bir kombinasyonu seçilebilir. Çizelge 9.6'da A2, B3, C1 ve D3 kombinasyonu, sırasıyla A, B, C ve D faktörleri için Gri ilişkisel derecenin en büyük değerini göstermektedir. Bu nedenle, A2B3C1D3 şeklinde yazılabilir. A'nın 2. seviyesi, B'nin 3. seviyesi, C'nin 1. seviyesi ve D'nin 3. seviyesi anlamına gelmektedir. Kaplamalı kesici takım, 25 m/dak kesme hızı, 26 mm/dak ilerleme hızı, 140° matkap ucu açısı, delme operasyonlarının en uygun parametre kombinasyonudur. Bu sonuçlar Taguchi analizinde bulunan optimum seviye kombinasyonunu doğrulamaktadır. Aynı zamanda faktör düzeylerinin Ra üzerindeki etkisi Şekil 9.4'te gösterilmiştir.



Şekil 9.4. Gri ilişkisel analize göre faktör düzeylerinin Ra üzerindeki etkisi

10. SONUÇLAR

Bu çalışmada INCONEL 718 süperalaşımının delme işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğü incelenmiş ve optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. Optimum kesme parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi ve Gri İlişkisel Analiz yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Taguchi analizinde en küçük yüzey pürüzlülüğü 0.779 μm ile 17. deneyde çıkmıştır.
- Taguchi analizinde B parametresi yani kesme hızı yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametre olmuştur.
- A parametresinin en ideal seviyesi 2. seviye olan kaplamalı, B parametresinin en ideal seviyesi 3. seviye olan 25 m/dk., C parametresinin en ideal seviyesi 1. seviye olan 26 mm/dk ve D parametresinin en ideal seviyesi 3. seviye olan 140° olarak çıkmıştır. Bu sonuçlara göre optimum parametre seviyelerinin dizilimi için A2B3C1D3 diyebiliriz.
- Gri İlişkisel analizde de Taguchi' de olduğu gibi en etkin parametre kesme hızı çıkmıştır. Optimum parametre seviyeleri de A2B3C1D3 olarak Taguchi ile aynı çıkmıştır.
- ANOVA'da da en etkin faktör %77.29 ile B faktörü (kesme hızı) olmuştur.
- ANOVA'ya göre yapılan bu model %84.23 güven düzeyinde çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- Akgün, M., Demir, H. (2021). Optimization of cutting parameters affecting surface roughness in turning of inconel 625 superalloy by cryogenically treated tungsten carbide inserts. *SN Applied Sciences*, 3(2), 1-12.
- Akkurt, M. (1998). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*. İstanbul:Birsen Yayınevi, 78-127.
- Akkuş, H. (2021). AISI 1040 Çeliğinin İşlenebilirliği Sırasında Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Farklı Tahmin Modelleri ile Araştırılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 84-92.
- Altın, A., Nalbant, M., Taskesen, A. (2007). The effects of cutting speed on tool wear and tool life when machining Inconel 718 with ceramic tools. *Materials & design*, 28(9), 2518-2522.
- Altın, A., Gökkaya, H., Nalbant, M. (2006). İşleme parametrelerinden kesme hızının Inconel 718 süper alaşımın işlenebilirliğine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3), 581-586.
- Arunachalam, R., Mannan, M.A. (2000). Machinability of nickel-based high temperature alloys. *Machining science and technology*, 4(1), 127-168.
- Asiltürk, I., Akkuş, H. (2011). Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method. *Measurement*, 44(9), 1697-1704.
- Başaran, A. (1998). *Elektron ışıını ve tig kaynağı yöntemleriyle birleştirilmiş Inconel 718 malzemenin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1-93.
- Besterfield, D.H., Besterfield, C., Besterfield, G.H., Besterfield, M. (1995). Total quality management. *Prentice Hall Inc.*, New Jersey.
- Chen, Y.C., Liao, Y.S. (2003). Study on wear mechanisms in drilling of Inconel 718 superalloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3), 269-273.
- Clausen, R., & Stangenberg, J. (1999, September). Roughness of shot-peened surfaces- definition and measurement. In *Proceedings of the 7th international conference on shot peening* (pp. 69-77).
- Çakır, A., Kavak, N., Duran, A. (2014). Kesici takım geometrisinin delik delme performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi. 5. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTİS 2014)*, Bursa.
- Çakır, M.C. (2000). Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, *Vipaş A.Ş.*, Bursa, 350-390.
- Çelikçapa, F. O. (2002). Taguchi Deneyisel Tasarım Metodunun Bir Dokuma İşletmesinde Uygulama Denemesi. *Uludağ Üniversitesi, Bursa*.

- Çoğun, C., Özses, B. (2002). Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(1), 59-75.
- Demir, E., Toktaş, İ. (2014). AISI D2 çeliğine uygulanan farklı bekletme sürelerindeki derin kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi. *ISITES 2014 2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Karabük, 1-12.
- Donachie, M. J., & Donachie, S. J. (2002). *Superalloys: a technical guide*. ASM international.
- Ducros, C., Benevent, V., Sanchette, F. (2003). Deposition, characterization and machining performance of multilayer PVD coatings on cemented carbide cutting tools. *Surface and coatings technology*, 163, 681-688.
- Durairaj, M., Sudharsun, D., Swamynathan, N. (2013). Analysis of Process Parameters in Wire EDM with Stainless Steel Using Single Objective Taguchi Method and Multi Objective Grey Relational Grade. *Procedia Engineering* 64(0), 868-877.
- El-Khabeery, M.M., Saleh, S.M., Ramadan, M. R. (1991). Some observations of surface integrity of deep drilling holes. *Wear*, 142(2), 331-349.
- Erkan, Ö., Yücel, E. (2018). AA 7075 malzeme üzerine delinen delik yüzeylerinin pürüzlülük optimizasyonu ve istatistiki analizi. In International Eurasian Conference on Science, *Engineering and Technology (EurasianSciEnTech)*.
- Ezilarasan, C., Velayudham, A. (2013). Effect of machining parameters on surface integrity in machining Nimonic C-263 super alloy using whisker-reinforced ceramic insert. *Journal of materials engineering and performance*, 22(6), 1619-1628.
- Ezugwu, E.O., Wang, Z.M., Machado, A.R. (1999). The machinability of nickel-based alloys: a review. *Journal of Materials Processing Technology*, 86(1-3), 1-16.
- Ezugwu, E.O., Wang, Z. M., Okeke, C.I. (1999). Tool life and surface integrity when machining Inconel 718 with PVD-and CVD-coated tools. *Tribology transactions*, 42(2), 353-360.
- Ezugwu E.O., Okeke, C.I. (2000). Effects of Coating Materials on the Machinability of a Nickel Base, C-263, Alloy. *Tribology Transactions*, 43(3), 549-553.
- Ezugwu, E.O., Bonney, J., Yamane, Y. (2003). An overview of the machinability of aeroengine alloys. *Journal of materials processing technology*, 134(2), 233-253.
- Ezugwu E.O. (2004). High Speed Machining of Aero-Engine Alloys. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 26 (1), 1-8.

- Ezugwu E.O. (2005). Key Improvements in the Machining of Difficult-to-Cut Aerospace Superalloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 1353-1367.
- Farid, A.A., Sharif, S., Namazi, H. (2009). Effect of machining parameters and cutting edge geometry on surface integrity when drilling and hole making in Inconel 718. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 2(1), 564-569.
- Garimella, L., Liaw, P.K., Klarstrom, D.L. (1997). Fatigue behavior in nickelbased superalloys: A literature review. *International Journal of Materials and Manufacturing*, 49(7), 67.
- Gunter, B. (1987). A perspective on the Taguchi methods. *Quality progress*, 20(6), 44-52.
- Hamzaçebi, C., Kutay, F. (2003). Taguchi metodu bir uygulama, *Gazi Üniversitesi, Teknoloji Dergisi*, 7-17.
- Imran, M., Mativenga, P.T., Gholinia, A., Withers, P.J. (2014). Comparison of tool wear mechanisms and surface integrity for dry and wet micro-drilling of nickel-base superalloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 76, 49-60.
- İnanır, Z., (2012). *Yüksek çalışma sıcaklıklarının Inconel 718 alaşımının yapısal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- Jafarian, F., Umbrello, D., Golpayegani, S., Darake, Z. (2016). Experimental investigation to optimize tool life and surface roughness in Inconel 718 machining. *Materials and Manufacturing Processes*, 31(13), 1683-1691.
- Jarvis, D.J., Voss, D. (2005). IMPRESS Integrated Project - An overview paper. *Material Science Engineering*, 413-414, 583-591.
- Jawaid, A., Koksai, S., Sharif, S., (2001). Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy, *J. Mater. Process. Technol.*, 116 (1), 2-9.
- Kalidas, S., DeVor R.E., Kapoor S.G. (2001). Experimental investigation of the effect of drill coatings on hole quality under dry and wet drilling. *Surface and Coatings Technology*, 148(2-3), 117-128.
- Kaplan, Y. (2010). *Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-108.
- Kappmeyer, G., Hubig, C., Hardy, M., Witty, M., Busch, M. (2012). Modern machining of advanced aerospace alloys-Enabler for quality and performance. *Procedia Cirp*, 1, 28-43.

- Kathleen, M. C., Natalia, Y. K., & Jeff, R. (2004). *Response surface methodology. Center for Computational Analysis of Social and Organizational Systems, CASOS Technical Report.*
- Khanna, N., Agrawal, C., Gupta, M. K., Song, Q. (2020). Tool wear and hole quality evaluation in cryogenic Drilling of Inconel 718 superalloy. *Tribology International*, 143, 106084.
- Kıvık, T. (2007). *Inconel 718'in delinbilirliğinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-113.
- Kıvık, T., Habalı, K., Şeker U. (2010). Inconel 718'in delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerindeki etkisinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(2), 293-298.
- Klocke, F., Gerschwiler, K., Fritsch, R., Lung, D. (2006). PVD-coated tools and native ester—an advanced system for environmentally friendly machining. *Surface and Coatings Technology*, 201(7), 4389-4394.
- Krishna, S.C., Gangwar, N.K., Jha, A.K., Pant, B., Venkitakrishnan, P.V. (2015). On the direct aging of iron based superalloy hot rolled plates. *Materials Science and Engineering A*, 648, 274–279.
- Kumar, S., Singh, D., Kalsi, N.S. (2017). Experimental investigations of surface roughness of Inconel 718 under different machining conditions. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 1179-1185.
- Kuo, C.M., Yanga, Y.T., Borb, H.Y., Wei C.N., Tai C.C. (2009). Aging effects on the microstructure and creep behavior of Inconel 718 superalloy. *Materials Science and Engineering A*, 510-511, 289-294
- Kurt, M., Hartomacıoğlu, S., Mutlu, B., Köklü, U. (2012). Minimization of the surface roughness and form error on the milling of free-form surfaces using a grey relational analysis. *Materiali in tehnologije / Materials and technology*, 46(3), 205-213.
- Liu, G., Chen, M., Shen, Z. (2006). Experimental studies on machinability of six kinds of nickel-based superalloys. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 1(3), 287-300.
- Matthew, J.D. and Stephen, J.D. (2002). “Superalloys: A Technical Guide, 2nd Edition”. ASM International.
- Mongomery, D.C. (2001). Design and Analysis of Experiments. 5th Ed. *John Wiley & Sons, Inc. Arizona.*
- Outeiro, J.C., Lenoir, P., Bosselut, A. (2015). Thermo-mechanical effects in drilling using metal working fluids and cryogenic cooling and their impact in tool performance. *Production Engineering*, 9(4), 551-562.

- Ozcelik, B., Oktem, H., Kurtaran, H. (2005). Optimum surface roughness in end milling Inconel 718 by coupling neural network model and genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27(3), 234-241.
- Peng, H., Shi, Y., Gong, S., Guo, H., Chen, B. (2018). Microstructure, mechanical properties and cracking behaviour in a γ' -precipitation strengthened nickel-base superalloy fabricated by electron beam melting. *Materials & Design*, 159, 155- 169.
- Ross, P.J. (1996). Taguchi techniques for quality engineering. *McGrow-Hill International book company*, ISBN 0-07-114663-6, 1-73.
- Roy, R. K. (1990). A primer on taguchi method. *Competitive Manufacturing Series*, New York, 7-80.
- Sakarya, N. (2005). *Cep İşlemede Takım Yolu Hareketlerinin Ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 23-87.
- Sarıkaya, M. (2014). *Kobalt esaslı haynes 25 süper alaşımın işlenebilirliğinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-90.
- Schafrik, R.E., Ward, D.D., Groh, J.R. (2001). Application of Alloy 718 in GE Aircraft Engines: Past, Present and Next Five Years. *Proceedings of the International Symposium on Superalloys and Various Derivatives*.
- Schafrik, R. E., Ward, D. D., & Groh, J. R. (2001). *Application of alloy 718 in GE aircraft engines: past, present and next five years. Superalloys*, 718(625), 1-11.
- Sharman, A.R.C., Amarasinghe, A., Ridgway, K. (2008). Tool life and surface integrity aspects when drilling and hole making in Inconel 718. *Journal of materials processing technology*, 200(1-3), 424-432.
- Sharman, A.R.C., Hughes, J.I., Ridgway, K. (2004). Workpiece surface integrity and tool life issues when turning Inconel 718™ nickel based superalloy. *Machining science and technology*, 8(3), 399-414.
- Singh, P.N., Raghukandan, K., Pai, B.C. (2004). Optimization by Grey relational analysis of EDM parameters on machining Al–10%SiCP composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156(0), 1658-1661.
- Special Metals Corporation, (2007). INCONEL® Alloy 718, Special Metals, Web adresi: <https://www.specialmetals.com/tech-center/alloys.html> [03.07.2020].
- Stoloff, N. S. (1990). Wrought and P/M superalloys. *ASM International, Metals Handbook. Tenth Edition.*, 1, 950-977.
- Şirvancı, M. (1997). Kalite için deney tasarımı yaklaşımı, taguchi yaklaşımı. *Wisconsin Üniversitesi İşletme Fakültesi, ABD*.
- Taguchi, G., Konishi, S. (1987). *Orthogonal Arrays and Linear Graphs*, Dearborn, MI: American Supplier Institute.

- Taylan, D. (2009). *Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Uçak, N., Çiçek, A. (2018). Inconel 718 süperalaşımının delinmesinde kriyojenik soğutmanın delme performansı üzerine etkilerinin araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 1241-1252.
- Vimallesh, M., Prabhu, S., Sekar, K.S. (2015). Machinability studies in drilling of Inconel 718 super alloy. *In Applied Mechanics and Materials*, 787, 480-484.
- Yaka, H., Akkuş, H., Uğur, L. (2016). AISI 1040 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu. *Celal Bayar University Journal of Science*, 12(2).
- Yıldız, M. (2019). *Özel grafitlerin delik delme işleminin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-89.
- Zhu, D., Zhang, X., Ding, H. (2013). Tool wear characteristics in machining of nickel-based superalloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 64, 60-77.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Ramazan ATILKAN

Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)

1-) Atıkan, R., Yaka, H. “Optimization of Machining Parameters for Drilling Nickel Based Superalloys”. *III. International Science and Innovation Congress (INSI 2022)*, pp:45, 09-12 June 2022, TURKEY.

