

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

**ALÜMİNYUMUN (Al7075) ELMAS BENZERİ KARBON (DLC)
KAPLANMIŞ PARMAK FREZE İLE İŞLENMESİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Yalçın SEYMEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Oğuz GİRİT

II. DANIŞMAN

Dr. Ayhan ETYEMEZ

İSTANBUL 2009

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

**ALÜMİNYUMUN (Al7075) ELMAS BENZERİ KARBON (DLC)
KAPLANMIŞ PARMAK FREZE İLE İŞLENMESİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Yalçın SEYMEN
(141101720060272)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Oğuz GİRİT**

**II. DANIŞMAN
Dr. Ayhan ETYEMEZ**

İSTANBUL 2009

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL VE ONAY BELGESİ

Yalçın SEYMEN'in "Alüminyumun (Al 7075) Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Parmak Freze İle İşlenmesinin Deneysel İncelenmesi" isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14.07.2009 tarih ve 2009/16-70 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Oğuz GİRİT (M.Ü.T.E.F.Makine Eğt.)

Üye : : Prof.Dr.Mustafa KURT (M.Ü.T.E.F.Makine Eğt.)

Üye: :Yrd.Doç.Dr.Hüseyin KURT (M.Ü.T.E.F.Metal Eğt.)

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile Yalçın Seymen'in Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof .Dr. Sevil ÜNAL

ÖNSÖZ

Özellikle Yükseköğrenimim süresince maddi, manevi ve bilimsel katkılarını esirgemeyen iyi yetişmemiz için her türlü fedakarlıkta bulunan Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü öğretim üyesi ve araştırma görevlisi hocalarıma, tez danışmanlarım Yrd. Doç. Dr. Oğuz GİRİT ve Dr. Ayhan ETYEMEZ'e, teşekkürlerin en büyüğünü borçluyum.

Bana maddi ve manevi her türlü desteği gösteren aileme sabırlarından ve katkılarından dolayı en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Temmuz,2009

Yalçın SEYMEN

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER.....	I
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
SEMBOLLER.....	V
KISALTMALAR	VI
ŞEKİLLER.....	VII
TABLolar.....	IX
BÖLÜM I. GİRİŞ ve AMAÇ	1
BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER	7
II.1. FREZELEME İŞLEMLERİ VE KULLANILAN KESİCİ	
TAKIMLAR	7
II.1.1. Parmak Frezeler	8
II.1.2. TSE 303 Standardına Göre Parmak Freze Elemanlarının Tanımı	8
II.1.3. Frezeleme İşlemi İçin Parmak Frezenin Seçim Kriterleri.....	10
II.1.4. Parmak Frezeye Etki Eden Kuvvetler.....	13
BÖLÜM III. TEZ ÇALIŞMALARI.....	16
III.1. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ.....	16
III.2. MATERYAL.....	17
III.2.1. CNC Freze Tezgahı	17
III.2.2. Deneyde Kullanılan İş Parçası Malzemesi (Al 7075) ve	
Özellikleri.....	18

III.2.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar	18
III.2.4. Deneyde Kullanılan Ölçüm Cihazları	19
III.2.4.1. Kuartz Dinamometre	19
III.2.4.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı.....	20
III.2.2.3. Analiz Progamı	21
III.3. METOT	21
III.3.1. Taguchi ile Deney Tasarımı	21
III.3.1.1.Çalışmanın Deneysel Tasarımı ve Optimizasyon için Taguchi Metodu	24
III.4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TAGUCHI İLE OPTİMİZASYON	27
III.4.1. Yanal Yüzey için Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları.	28
III.4.2. Taban Yüzey için Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları.	30
III.4.3. Fx Kuvveti.....	32
III.4.4. Fy Kuvveti.....	34
III.4.5. Fz Kuvveti	36
III.5. TAHMİNİ DEĞERLERİN BELİRLENMESİ.....	37
III.5.1. Minimum Ra Değerlerinin Tahmini.....	37
III.5.2. Minimum F Değerlerinin Tahmini	38
III.5.3. Doğrulama Deneyleri	39
III.5.4. Fx, Fy ve Fz için Optimal Parametrelerin Tahmini	40
III.6. KESİCİ TAKIM ÇAP DEĞİŞİMİNİN Ra OLUŞUMUNA VE KESME KUVVETLERİ OLUŞUMUNA ETKİSİNİN İRDELENMESİ	41
BÖLÜM IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	45
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	49

ÖZET

ALÜMİNYUMUN (Al7075) ELMAS BENZERİ KARBON (DLC) KAPLANMIŞ PARMAK FREZE İLE İŞLENMESİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Al7075 uçak ve uzay araçlarında kullanılan yüksek mukavemete sahip bir alüminyum alaşımıdır. Bu malzemelerin talaş kaldırılarak işlenmesinde takım aşınmasını, özellikle takım ve iş parçası temasından dolayı ortaya çıkan ısıyı en aza indirebilmek amacıyla çeşitli kaplamalı kesici takımlar kullanılmaktadır. Bu kesici takımlardan birisi de DLC kaplamalı takımlardır. Yüksek sertliğe ve düşük sürtünme katsayılarına sahip olmaları nedeniyle özellikle soğutma sıvısı kullanmadan talaş kaldırarak şekillendirme işlemlerinde DLC kaplamalı kesici takımlar tercih edilmektedir.

Bu çalışmada DLC kaplamalı freze kesici takımlarının (parmak freze) Al7075 malzemesinin soğutma sıvısı kullanmadan işlenmesindeki performansları deneysel olarak incelenmiştir.

Frezeleme işleminde 10 mm çapında DLC kaplamalı parmak freze kullanıldığında iş parçasının düşey yüzeyinde minimum yüzey pürüzlülüğü; 2200 dev/dak hızda, 0,02 mm/dev ilerleme oranında, 4 mm radyal talaş derinliği ve 2 mm aksel talaş derinliği değerlerinde elde edilmiştir.

İş parçasının üst yüzeyinde minimum yüzey pürüzlülüğü; 2200 dev/dak hızda, 0.02 mm/dev ilerleme oranında, 4 mm radyal talaş derinliği ve 3 mm aksel talaş derinliği değerlerinde elde edilmiştir.

Çap değişikliklerinin yüzey pürüzlülüğüne tesirlerini elde edebilmek için, 10 mm ve 8 mm çaplı DLC kaplamalı parmak frezeler kullanılmıştır. Yüksek kesici takım hızlarında 10 mm çaplı parmak freze ile işlenen yüzeyin pürüzlülük değerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Talaş kaldırma prosesi Taguchi yöntemi ile optimize edilmiştir.

Temmuz, 2009

Yalçın SEYMEN

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MACHINING OF ALUMINUM (Al7075) WITH DLC COATED ENDMILL

Al 7075 is a high strength aluminum alloy used especially in aerospace and aircraft vehicles. In the machining of this material, several kinds of coated cutting tools are used in order to reduce the wear of cutting tool and minimize the heat generated between cutting tool and work piece. Diamond like carbon (DLC) coated tool is one of these kinds of coated cutting tools. DLC coated cutting tools are preferred especially in dry cutting conditions due to their high hardness and low friction coefficient.

In this study, the performances of DLC coated end mills were investigated experimentally during dry milling of Al 7075 alloys.

When a 10 mm diameter DLC coated endmill was used minimum surface roughness value on the vertical surfaces of workpiece was obtained under the following machining conditions: The speed of the cutting tool is 2200 rpm with a feed rate of 0,02 mm/rev, milling depth in the tool radial direction is 4 mm and milling depth in the tool axial direction is 2 mm.

When a 10 mm diameter DLC coated endmill was used minimum surface roughness value on the top surface of the workpiece was obtained under the following machining conditions: The speed of the cutting tool is 2200 rpm with a feed rate of 0,02 mm/rev, milling depth in the tool radial direction is 4 mm and milling depth in the tool axial direction is 3 mm.

8 mm and 10 mm diameter DLC coated end mills were used to observe the effect of changes of the diameters of end mill on the surface roughness. At higher cutting tool speeds, smaller minimum surface roughness value was obtained when 10 mm diameter end mill was used. Optimization of machining process was performed via Taguchi method.

July, 2009

Yalçın SEYMEN

SEMBOLLER

- F** : Kuvvet (N)
Ra : Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
f : İlerleme (mm/dak)
n : Devir Sayısı (dev / dak)
a_d : Talaş Derinliği (mm)
a_g : İşleme Genişliği (mm)
 τ : İş Parçasının Kayma Gerilmesi
d_s : Talaş Kalınlığı
w : Talaş Genişliği
 ϕ : Kesme Açısı
 γ : Talaş Açısı
 η : İş Parçası İle Kesici Takım Arasındaki Sürtünme Açısı

KISALTMALAR

DLC : Elmas Benzeri Karbon

HSS : Yüksek Hız Çeliği (Hava Çeliği)

PACVD : Plazma Yardımıyla Kimyasal Buhar Depolama

ECR-MPCVD: Elektron Siklotron Rezonans Mikrodalga Plazma Kimyasal Buhar Depolama

ECR : Elektron Siklotron Rezonans

S/N : Sinyal-Hata Oranı

ŞEKİLLER

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil I.1 DLC Kaplamanın Yapısı.....	2
Şekil I.2 DLC'nin Mikro Yapısı.....	3
Şekil II.1 Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Çeşitli Kesici Takımları	7
Şekil II.2 Parmak Freze ve Elemanları.....	8
Şekil II.3 Çeşitli Parmak Frezeler	10
Şekil II.4 Frezelemede Üç Önemli Faktör.....	11
Şekil II.5 Kullanıldıkları Yerlere Göre Parmak Frezeler	11
Şekil II.6 Yan Duvar ve Fatura İşlenmesi	11
Şekil II.7 Kanal İşlenmesi	12
Şekil II.8 Parmak Frezenin Sehimini.....	13
Şekil II.9 Kesici Takım Ucuna Etki Eden Kuvvetler	13
Şekil II.10 Parmak Freze ile Talaş Kaldırma İşleminin Geometrik Yapısı.....	15
Şekil III.1 Johnford VMC – 550 Model CNC Freze Tezgahı.....	17
Şekil III.2 Deneyde Kullanılan Kesici Takım	18
Şekil III.3 Kistler Dinamometre.....	20
Şekil III.4 Yüzey Pürüzlülüğü Aritmetik Ortalaması	20
Şekil III.5 Taguchi Optimizasyon Uygulamasının Aşamaları [20].....	25
Şekil III.6 Talaş Derinliği (a_d) ve İşleme Genişliği (a_g)	26
Şekil III.7 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Fener Mili Hızı (n) ve İlerleme Oranına (f_n) Bağlı Olarak Yanal Yüzeydeki Ra Değişimi	28
Şekil III.8 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Talaş Derinliği (a_d) ve İşleme Genişliğine (a_g) Bağlı Olarak Yanal Yüzeydeki Ra Değişimi.....	29
Şekil III.9 Ra İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranlarının Grafikselsunumu.....	29
Şekil III.10 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Fener Mili Hızı (n) ve İlerleme Oranına (f_n) Bağlı Olarak Taban Yüzeydeki Ra Değişimi	30

Şekil III.11 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Talaş Derinliği (ad) ve İşleme Genişliğine (ag) Bağlı Olarak Taban Yüzeydeki Ra Değişimi	31
Şekil III.12 Ra İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranlarının Grafikselsunumu.....	31
Şekil III.13 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Fener Mili Hızı (n) ve İlerleme Oranına (fn) Bağlı Olarak Oluşan Fx İlerleme Kuvveti	32
Şekil III.14 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Talaş Derinliği (ad) ve İşleme Genişliğine (ag) Bağlı Olarak Oluşan Fx İlerleme Kuvveti	33
Şekil III.15 Fx İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranlarının Grafikselsunumu	33
Şekil III.16 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Fener Mili Hızı (n) ve İlerleme Oranına (fn) Bağlı Olarak Oluşan Fy Radyal Kuvvet	34
Şekil III.17 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Talaş Derinliği (ad) ve İşleme Genişliğine (ag) Bağlı Olarak Oluşan Fx İlerleme Kuvveti	35
Şekil III.18 Fy İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranlarının Grafikselsunumu	35
Şekil III.19 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Fener Mili Hızı (n) ve İlerleme Oranına (fn) Bağlı Olarak Oluşan Fz, Eksenel Kuvvet	36
Şekil III.20 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Talaş Derinliği (ad) ve İşleme Genişliğine (ag) Bağlı Olarak Oluşan Fz, Eksenel Kuvvet	36
Şekil III.21 Fz İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranlarının Grafikselsunumu	37
Şekil III.22 Yanal Yüzeydeki Ra Oluşumuna Kesici Takım Çap Değişiminin Etkisi.....	42
Şekil III.23 Taban Yüzeydeki Ra Oluşumuna Kesici Takım Çap Değişiminin Etkisi	43
Şekil III.24 Kesme Esnasında İlerleme Kuvveti (Fx) Oluşumuna Kesici Takım Çap Değişiminin Etkisi.....	43
Şekil III.25 Kesme Esnasında Radyal Kuvvet (Fy) Oluşumuna Kesici Takım Çap Değişiminin Etkisi.....	44
Şekil III.26 Kesme Esnasında Eksenel Kuvvet (Fz) Oluşumuna Kesici Takım Çap Değişiminin Etkisi.....	44

TABLULAR

	<u>SAYFA NO</u>
Tablo II.1 Çeşitli Parmak Frezelerin Özellikleri ve Kullanıldıkları Yerler	10
Tablo III.1 CNC Freze Tezgahının Teknik Spesifikasyonları	17
Tablo III.2 Al 7075 Alaşım Malzemesinin Mekanik ve Kimyasal (%) Özellikleri	18
Tablo III.3 Kuvvet Sensörünün Teknik Özellikleri	19
Tablo III.4 Ortogonal Dizin Tipleri	23
Tablo III.5 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kontrol Faktörleri ve Seviyeleri	26
Tablo III.6 L ₉ Deney Tasarımı	27
Tablo III.7 Deneyler için Ra Değerleri ve S/N Oranları	27
Tablo III.8 Yanal Yüzey için Minimum Ra Tahmini	37
Tablo III.9 Taban Yüzey için Minimum Ra Tahmini	38
Tablo III.10 Fx için Optimal Sonuçlar	38
Tablo III.11 Fy için Optimal Sonuçlar	38
Tablo III.12 Fz için Optimal Sonuçlar	38
Tablo III.13 Yanal Yüzey için Optimal Ra için Proses Parametreleri ve Seviyeleri	39
Tablo III.14 Taban Yüzey için Optimal Ra için Proses Parametreleri ve Seviyeleri	40
Tablo III.15 Optimal Fx için Proses Parametreleri ve Seviyeleri	40
Tablo III.16 Optimal Fy için Proses Parametreleri ve Seviyeleri	41
Tablo III.17 Optimal Fz için Proses Parametreleri ve Seviyeleri	41

BÖLÜM I.

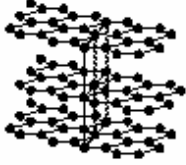

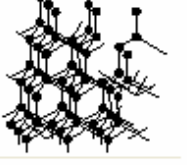
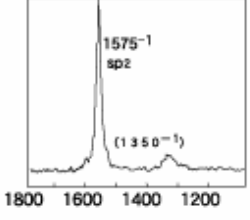
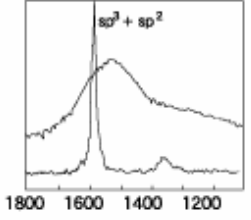
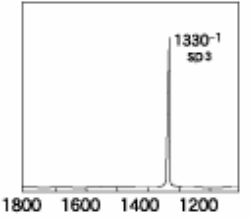
GİRİŞ VE AMAÇ

Demir dışı alaşımlar otomotiv, uçak, uzay, silah, elektrik-elektronik, ısıtma-soğutma vb. sanayinin birçok alanında kullanılmaktadırlar. Demir olmayan metallerin demir esaslı olanlara nazaran bazı üstünlükleri vardır. Bunlar; düşük yoğunluk (bakır hariç), yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, manyetik olmama özelliği, daha iyi korozyon direnci, kolay işlenebilme özelliği, iyi görünüm olarak sayılabilir. Demir olmayan metallerin demir esaslı metallere göre bazı dezavantajlarını ise; yüksek maliyet, daha az dayanım, yüksek genleşme katsayısı, düşük ergime sıcaklığı, daha küçük elastisite modülü, pahalı kaynak ve lehim tekniklerine ihtiyaç şeklinde sıralanmaktadır. Ayrıca bu malzemelerin nihai ürün haline gelebilmesi için yapılan üretim işlemleri (kaynak, lehim, talaşlı üretim vs.) oldukça zor ve maliyetlidir. Son zamanlarda demir dışı alaşımların bazı imalat yöntemleri kullanılarak elde edilmesi ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır.

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takım ile iş parçası arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen sürtünme ve malzeme deformasyonu sonucu oldukça yüksek bir ısı ortaya çıkar. Talaş kırma ve kaldırma için kullanılan mekanik enerji bu sırada hemen hemen tümüyle ısı enerjisine dönüşür. Takım-talaş ara yüzeyinde oluşan ısı üç yolla, yani ya iş parçası ya takım veya talaşla dışarı atılır. İş parçası fazla ısı alırsa, genleşmeden dolayı parçanın ölçü tamlığı sağlanamaz. Bu fazla ısı iş

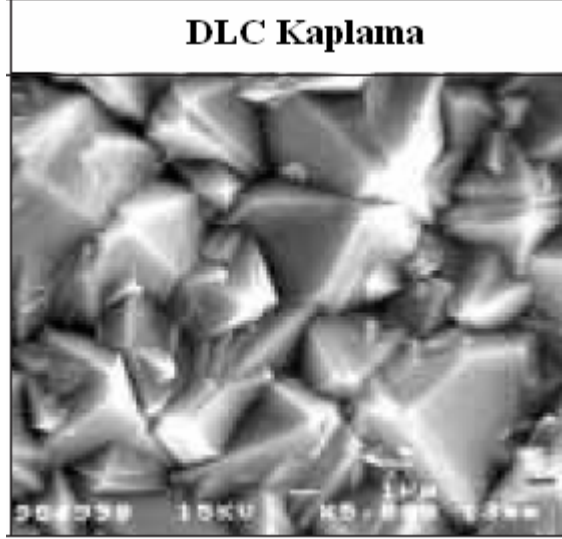
parçası yüzeyine ısı olarak zarar da verebilir. Kesici takım fazla ısı alırsa kesici uç aniden bozulabilir ve takım ömrünü azaltabilir[1].

Talaş kaldırma esnasında kesici takım malzemesi ve geometrileri önemli rol oynamaktadır. Kesici takım teknolojisindeki gelişmelerle değişik özelliklere sahip kaplamalı kesici takımların kullanımı artmaktadır. Kaplamaların özelliklerinden dolayı, iş parçasının kesici takıma yapışma oranı ve olasılığı azalmıştır. Bunlardan biri de Elmas Benzeri Karbon (DLC) kaplamalardır. Bu kaplamalar, özellikle alüminyum ve alaşım malzemelerinin işlenmesinde yüksek performans göstermektedir. Bu çalışmada bu konu irdelenmiştir. Şekil I.1’de DLC kaplamanın yapısı ve optik analizi görülmektedir.

	Grafit	DLC	Elmas
Yapısı			
Optik analiz			
Element	C	C + H	C
H/V	-	1,000 - 8,000HV	10,000HV

Şekil I.1 DLC Kaplamanın Yapısı

DLC kaplamanın mikro yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için Elektron mikroskop ile görüntülenen mikroyapı aşağıdaki Şekil I.2’de sunulmuştur [2].



Şekil I.2 DLC'nin Mikro Yapısı

Elmas benzeri karbon filmleri, ilk olarak Aisenberg ve arkadaşları tarafından 1969 yılında iyon ışını biriktirme ile üretilmiştir. Burada düşük basınç tankındaki plazmadan çıkartılan karbon ve argon iyonlarının ışını kullanılmıştır [3]. Elmas benzeri filmler, kimyasal ve fiziksel buhar biriktirme teknikleri ile üretilmektedir. Birbirinden farklı birçok teknik/metot kullanıldığından elmas benzeri filmlerin fiziko-kimyasal özellikleri değişmektedir. Genelde elmas benzeri filmler, birçok uygulamalar için aranan karakteristiklere sahiptir. Bu karakteristikler, biriktirme tekniği ve proses parametreleri ile değişim göstermektedir. Elmas benzeri karbon filmleri; geçirgenlik, elektriksel yalıtkanlık, termal iletkenlik, asit baz ve çözeltilere karşı kimyasal direnç, sertlik, taban malzemeye iyi yapışma, pürüzsüz yüzey, yüksek aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı ve biriktirme sırasında düşük (oda sıcaklığı) sıcaklık gibi özellikleri ile bir çok uygulama alanı bulunmaktadır. Plastik lenslerde koruyucu kaplama, elektrik devresi uygulamaları, kesici takım uygulamaları ve aşırı yükler altında çalışan makina parçaları vb. elmas benzeri filmlerin uygulama alanlarından bazılarıdır.

Yüksek sertlik, pürüzsüz yüzey ve düşük sürtünme katsayısı, elmas benzeri karbon filmleri ile kesici takım uygulamalarında ve aşırı yükler altında çalışan makina parçalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [4].

Günümüzde, talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılması ve sürtünmeyi azaltmak için hala soğutma sıvıları kullanılmaktadır. Soğutma sıvıları sadece maliyeti arttırmakla kalmayıp, doğal kaynakların tüketiminin ve çevreye olumsuz etkinin önlenmesi için herhangi bir soğutucu akışkan kullanılmadan imalatın yapılması çok önemlidir. Çeliklerin işlenmesinde kuru işleme veya kuruya yakın işlemlerle imalat gerçekleştirilebiliyor olmasına rağmen, aynı işlemleri alüminyum ve alaşımlarının işlenmesine tam olarak gerçekleştirildiği söylenemez. Bunun temel sebebi ise alüminyum malzemelerin çok yapışkan olmasıdır. Elmas malzemeler, iç yapı özelliklerinden dolayı anti yapışma özelliği çok yüksek olan malzemelerdir. Bu sebepten dolayı, DLC kaplamalar alüminyum ve alaşımlarının işlenmesinde tercih edilirler. Yüksek sertlik ve düşük sürtünme oranından dolayı elmas benzeri karbon (DLC) kaplamalar, kuru işleme işlemleri için yüksek potansiyele sahiptirler. DLC kaplamalar, elmas sp³ ve grafit sp² karbon atomlarından oluşmaktadır. Sert karbon filmlerdeki sertlik miktarı, depozit film tabakalarındaki elmas oranına bağlıdır. Bunun sonucunda, bu kaplamalar sertliklerine göre sınıflandırılabilirler. Sertlik değeri 1500-3000 HV olan sert karbon filmler, %5 ile %10 arasında hidrojenleşmemiş sp³ (elmas) karbon ihtiva ederler. 3000 ile 5000 HV sertliğe sahip sert karbon kaplamalar ise (elmas/ grafit) sp³ / sp² oranı %15-20 dir. Eğer elmas oranı % 100 e yakınsa, DLC nin sertlik ve elastisitesi elmasa çok yakındır (8000-9000 HV) . T.C.S. Vandeveld ve arkadaşları çalışmalarında Al-SiC kompoziti, 2 mikron kalınlığında DLC kaplanmış uçlarla, 100 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme ve 0.5 mm paso derinliğindeki parametreleri kullanarak, kuru tornalamışlardır. Yapılan çalışma göstermiştir ki, DLC kaplamalar, DLC kaplama takım ömrünün uzamasına etkisi olmamıştır. Çalışma sonucu göstermiştir ki, DLC kaplama çok yumuşaktır ve belli bir süre tornalamadan sonra aşınmıştır [5].

V.J. Trava-Airoldi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, değişik kaplama yöntemleri ile DLC film tabakasının oluşumu kıyaslanmıştır. DLC film kaplamalar, yüksek sertlik, kimyasal kararlılık, düşük aşınma katsayısı ve yüksek aşınma dayanımından dolayı çok ilgi görmektedir. Plazma yardımıyla kimyasal buhar depolama (PACVD) tekniği kullanılarak DLC kaplamalar yapılabilir. DLC kaplamaların en büyük dezavantajı, metalik altyapıda düşük aşınma aşınma özelliği olması ve bunun sonucunda yüksek sıkıştırma basıncının oluşmasıdır[6].

DLC kaplamalarda, aşınma ve sürtünmenin kontrolü, hem çevresel şartlara hemde birikme (deposition) prosesi tarafından belirlenen kaplamanın yapısına bağlıdır. Donnet C ve Grill A tarafından yapılan bu çalışmada, PACVD prosesinde hazırlanan kaplamaların aşınma özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada; 0,01-0,5 arasında aşınma oranları gözlenmiştir. Aşınmadaki bu farklılığın sebeplerinin, birikme prosesi ve tribolojik parametreler olduğu gözlenmiştir[6].

Elmas benzeri karbon (DLC) kaplamalar kristalleştirilmemiş birçok film içermektedir. DLC filmlerin; sertlik, mükemmel aşınma ve kayganlık, kimyasal kararlılık, yüksek elektriksel direnç ve yüksek optik görünürlük gibi özelliklerinden dolayı elmasa çok benzemektedirler. Bu özelliklerinden dolayı; matkaplarda, yataklarda, dişlilerde, kalıplarda, zımbalarda ve medikal implantlarda hayli fazla kullanılmaktadır. DLC film tabakaları, iron implantasyon, elektron siklotron rezonans mikrodalga plazma kimyasal buhar depolama (ECR-MPCVD) , doğrudan akım (DC), radyo frekans (RF), plazma güçlendirilmiş kimyasal buhar depolama gibi birçok yöntemle oluşturulmaktadır. Bu uygulamalar, kaplamanın kullanılacağı yere göre farklılık arz etmektedir. Diğer depolama teknikleri ile karşılaştırıldığında, elektron siklotron rezonans (ECR) yöntemi DLC uygulamalarında daha yeni bir yöntemdir [7].

Birçok DLC uygulaması aşınma ve sürtünme problemini çözmesine rağmen, yüksek iç gerilmeleri ve yapışma (adhesion) problemlerinden dolayı bazı kısıtlamalar olmaktadır. DLC kaplamanın kristal ile elmas ve grafit'in mikro yapıları Şekil I.1'de görülmektedir [8].

Parmak frezeler; kenar, profil ve kanal frezelemede çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Parmak freze ile şekillendirme konusunda birçok analitik, deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır. Lee (2001) yaptığı çalışmada, parmak freze ile işlenen derin ceplerin geometri tamliğini araştırmıştır[9]. Law ve arkadaşı (Law, 2003) yaptıkları çalışmada; frezeleme ile cep oluşturmada hata telafisini araştırmışlardır[10]. Law ve arkadaşı (Law, 2001) yaptıkları diğer bir çalışmada ise parmak freze ile cep işlemede hata tahmini yapmışlardır[11]. Gang (Gang, 2008), ince duvarlı parçaların parmak freze ile işlenmesinde duvar deformasyonunu, sonlu elemanlar analizi yöntemini ve deneysel yöntemi kullanarak araştırmıştır[12].

Veeramani ve arkadaşı (Veeramani, 1997a; 1997b), parmak freze çapına gore deney tasarımı ve üçgensel cep oluşturmada optimal parmak freze seçimini gerçekleştirmişlerdir[13]. Yang ve arkadaşı (2001), parmak freze ile işlemede optimum yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır[14]. Tekeli ve arkadaşı (Tekeli, 2005) analitik yaklaşımları kullanarak, parmak freze ile tırlamayı minimize etmek için yaklaşım geliştirmişlerdir[15].

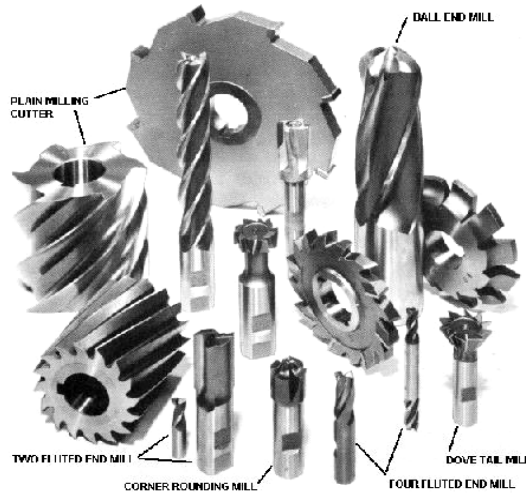
Bu alışmada, DLC kaplamalı parmak freze ile Al 7075 alaşım malzemesinin frezelenmesinde kuvvet oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü oluşumu Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

BÖLÜM II.

GENEL BİLGİLER

II.1 FREZELEME İŞLEMLERİ VE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR

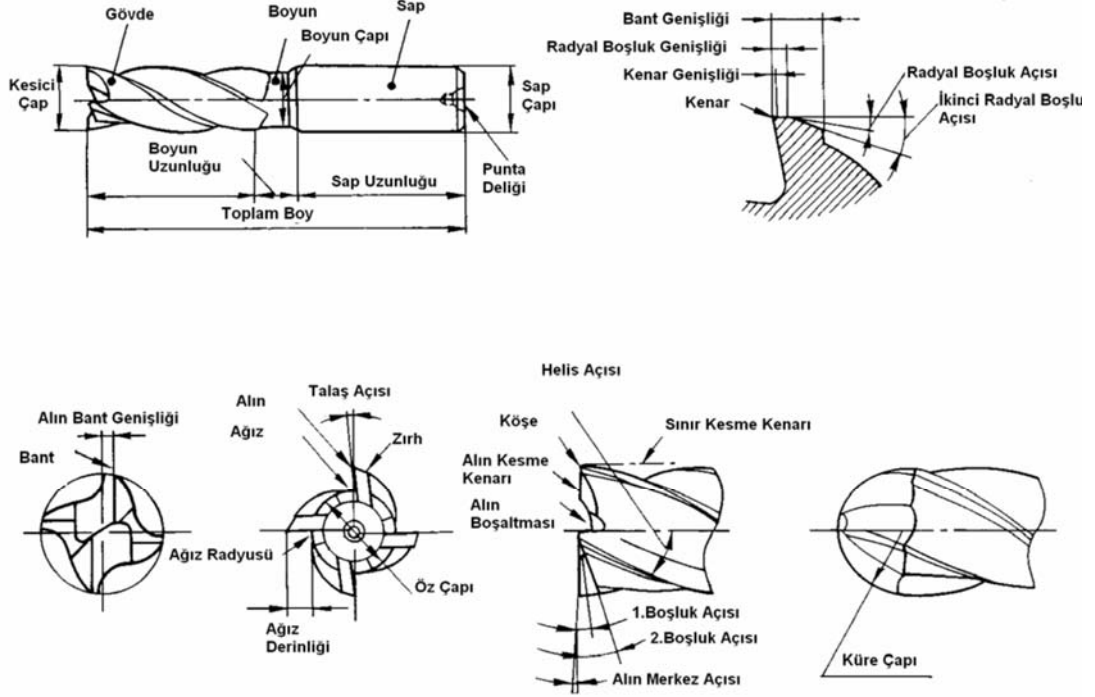
Frezeleme, kendi eksenini etrafında dönen çok uçlu bir takım ile doğrusal hareket yapan iş parçasından talaş kaldırılarak yapılan şekillendirme işlemine denir. Günümüzde frezeleme işleminde takım hemen hemen her yönde iş parçasına doğru hareket edebilmektedir. Frezeleme işleminde kullanılan kesici takımlara TSE 303' e göre Freze denilmektedir. Kesici takımın bir çok kesici kenarı vardır ve her kenar belirli bir miktar talaş kaldırma kapasitesine sahiptir. Frezelemenin avantajları yüksek işleme verimliliği, iyi yüzey kalitesi, hassasiyet ve şeklin oluşturulmasındaki esnekliktir. Frezeleme genellikle düzlem yüzeylerin, dik köşelerin ve kanalların işlenmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir.



Şekil II.1 Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Çeşitli Kesici Takımları

II.1.1 Parmak Frezeler

Frezeleme işlemlerinde çeşitli kanalların, yan duvarların ve çevrelerin işlenmesinde en çok kullanılan freze parmak freze diye isimlendirilen kesici takımdır.



Şekil II.2 Parmak Freze ve Elemanları

II.1.2. TSE 303 Standardına Göre Parmak Freze Elemanlarının Tanımı

Kesici Kısım; kesme işlemini yapan ve üzerinde kesici ağızların bulunduğu kısımdır.

Sap; frezelerin tezgaha bağlanmasına yarayan, silindirik veya konik kısımdır.

Kesici Ağız; frezenin kesici kısmı üzerinde meydana getirilen ve üzerinde talaş yüzeyi, kesici kenar, zırh ve serbest yüzeyin bulunduğu kısımdır.

Talaş Yüzeyi; kesici ağız üzerinde talaş kanalından kesici kenara doğru olan ve işleme esnasında çıkan talaşın sürterek geçtiği yüzeydir.

Talaş Kanalı; komşu iki kesici ağız arasında özel biçimde meydana getirilen ve talaşın çıkmasına yarayan kısımdır.

Kesici Kenar; talaş yüzeyi ile serbest yüzey veya freze sırtının ara kesitidir.

Serbest Yüzey; sırtı frezelenmiş frezelerde kesici kenardan boşaltılmış sırta doğru uzanan ve talaş kaldırma esnasında sürtmemesi için belli bir açı altında boşaltılmış kısımdır.

Boşaltılmış Sırt; sırtı frezelenmiş frezelerde serbest yüzey ile talaş kanalı arasında belli bir biçimde oluşturulan kısımdır.

Düşürülmüş Sırt; sırtı tornalanmış frezelerde kesici kenardan geriye doğru uzanan ve radyal ve/veya aksiyal yönde düşürülmüş kısımdır.

Sırtı Frezelenmiş Freze; kesici ağızların sırtı freze ile belli bir biçimle boşaltılmış frezedir.

Sırtı Düşürülmüş Freze; kesici ağızların sırtı istenen biçimde ve belli bir açı altında geriye doğru tornalama ile düşürülmüş frezedir.

Talaş Açısı; kesici ağızları dönme eksenine paralel olan frezelerde kesici kenar üzerindeki bir noktadan takım dönme eksenine indirilen dik ile talaş yüzeyi arasındaki açıdır.

Serbest Açı; kesici kenardan geçen teğet düzlem ile serbest yüzey arasındaki açıdır.

Kama Açısı; kesici ağızlar dönme eksenine paralel olan frezelerde talaş yüzeyi ile serbest yüzey arasındaki açıdır.

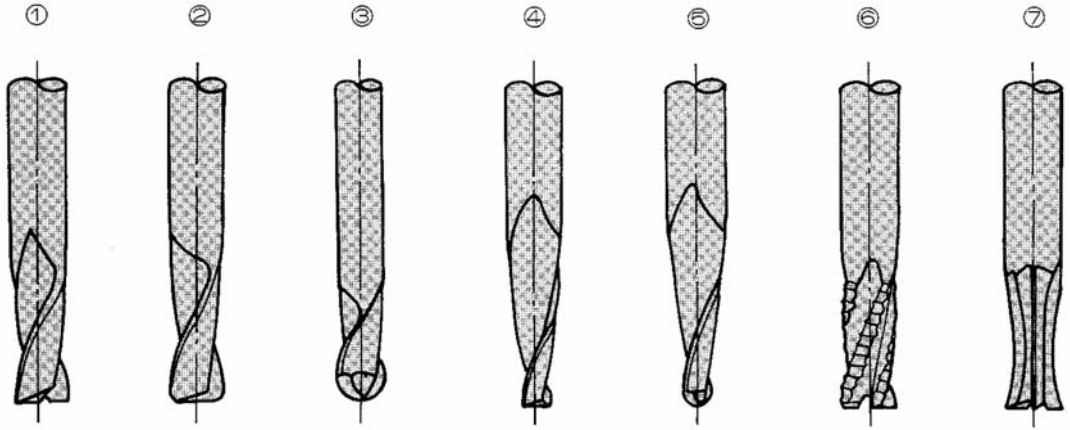
Dış Çap; frezelerin kesici kenarları üzerinden geçen dairenin çapıdır.

Helis Yönü; frezede kesici ağızların dönme eksenine göre sağa veya sola doğru yükselme yönüdür.

Kesme Yönü; frezenin tezgaha bağlandığı sap veya malafa tarafından bakıldığındaki dönme yönüdür.

Ayrıca frezelerin kesme geometrisi ile ilgili diğer tarifler (TS 3712)'de verilmiştir.

Frezeleme işlemlerinin geometrisine ve işleme tipine göre çeşitli parmak frezeler kullanılabilir.



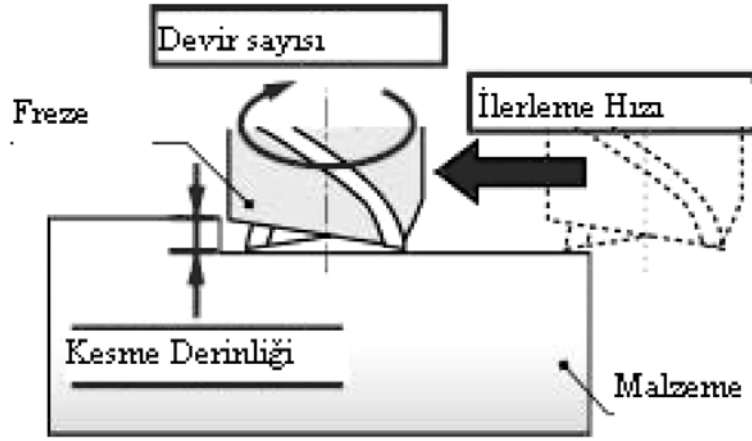
Şekil II.3 Çeşitli Parmak Frezeler

Tablo II.1 Çeşitli Parmak Frezelerin Özellikleri ve Kullanıldıkları Yerler

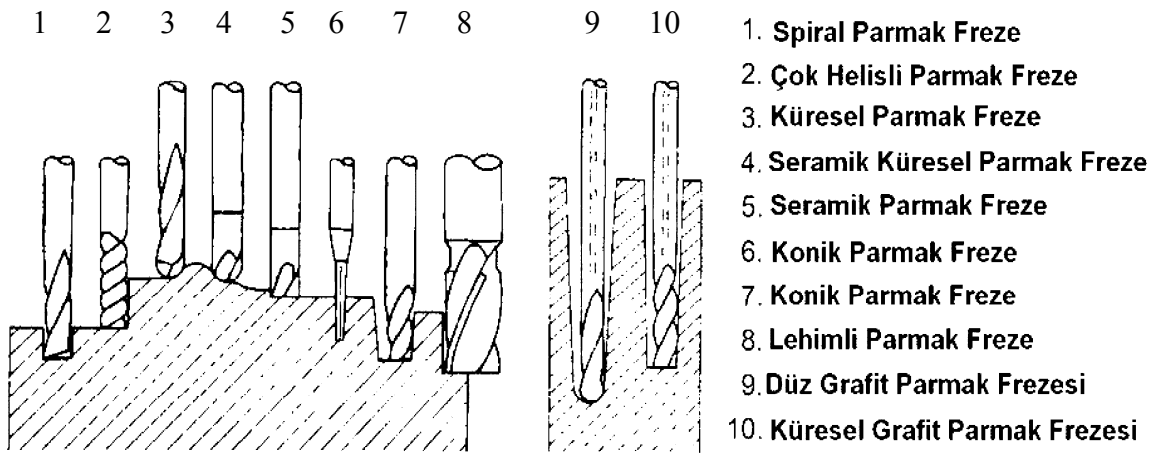
	Parmak Freze Tipi	Parmak Freze Tipi Özellikleri	Uygulama Alanları
1	Kare Parmak Freze	Dış Kesme Kenarı ile 90° Açı Yapar	-I profilinde kanal frezeleme işlemlerinde
2	Radyüslü Parmak Freze	Kesici Takımın dış kesme kenarı ve kesilen kenarlar arasında bir radyus bulunur.	-Genel Kalıp işlemleri ve model uygulamalarında
3	Küresel Parmak Freze	Kesici kenarlar küresel forma sahiptir.	-Kalıp matris kopyalama işlemleri, vs.
4	Konik Parmak Freze	Yan kesici kenarlar belirli bir açıda koniktir.	-Kalıp erkek yüzeylerinde
5	Konik Küresel Parmak Freze	3. ve 4. nün birleşimi	-Kalıp matris kopyalama işlemleri, vs.
6	Kaba Talaş Parmak Frezesi	Yan kesici kenarlarda çentikli dişler bulunur.	Kaba talaş işlemlerinde
7	Özel Formlu Parmak Freze	Yan kesici kenarlar özel bir forma sahiptir.	Özel kenar profilleri için.

II.1.3. Frezeleme İşlemi İçin Parmak Frezenin Seçim Kriterleri

Bir frezeleme işleminde en önemli temel parametreler kesicinin devir sayısı, ilerleme hızı ve kesme derinliğidir. İş parçasının cinsi, geometrisi ve yüzey kalitesi v.b. faktörler bu temel parametrelerin değerlerini etki etmektedir. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve malzeme hakkında çok açık bilginin olmaması durumunda güvenlik açısından düşük kesme derinliği ve ilerleme hızı seçilmelidir.

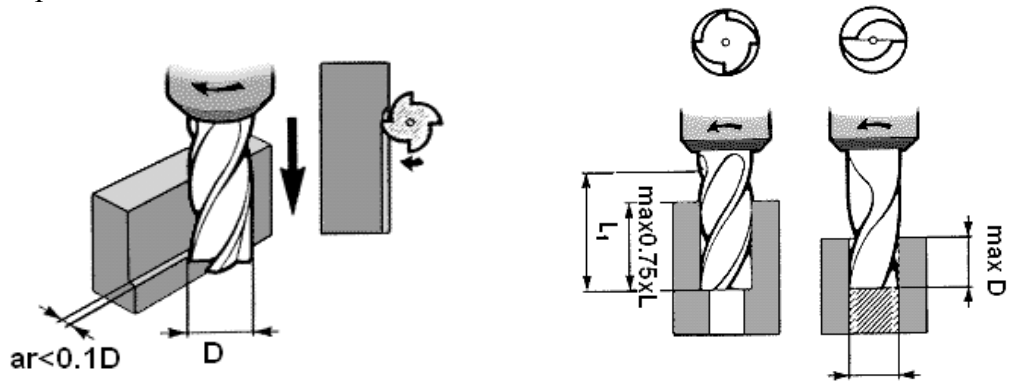


Şekil II.4 Frezelemede Üç Önemli Faktör



Şekil II.5 Kullanıldıkları Yerlere Göre Parmak Frezeler

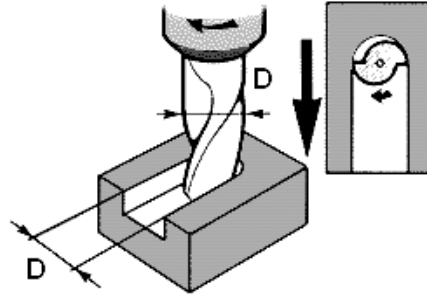
Bir parmak frezenin çalışma aralığı çap ve talaş derinliği kapasiteyle tanımlanır. Bazı parmak frezeler temel olarak, ek bir derinlik kapasitesine sahip, küçük çaplı, 90° ' lik alın frezeler olarak görülebilirler. Bu takımın kapasitelerine işlemin tipi de etkide bulunur.



Şekil II.6 Yan Duvar ve Fatura İşlenmesi

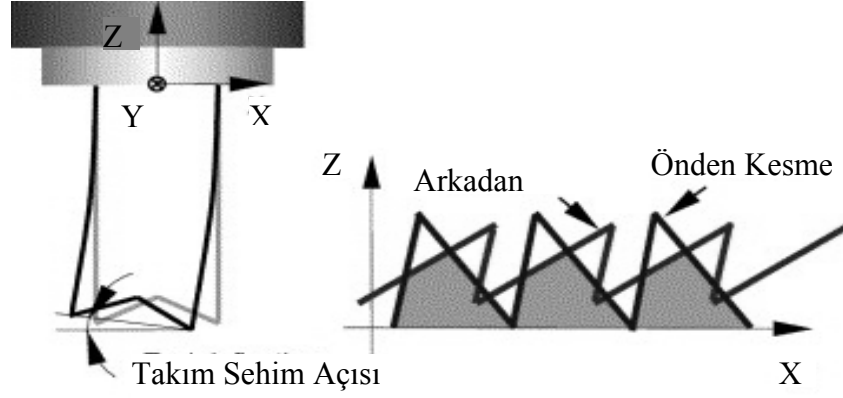
Bir kenarın veya 90° 'lik bir faturanın işlenmesi genellikle iki yüzeyin oluşturulmasını gerektiren, kenar işleme olarak da bilinen, kenar frezelemedir. Bu işlemden takımın sehimli bir sınırlayıcı rolü oynayabilir. Bir kanal veya faturanın işlenmesi genellikle tam kanal açma olarak adlandırılır ve üç yüzeyin işlenmesini gerektirir. Kanalın her iki ucu açık olabileceği gibi bir ucu kapalı da olabilir (her iki ucu da kapalı olan kanallar ceplerdir, işlem için delme yapabilen ve aksel yönde işleyebilen parmak frezeler gereksinim duyulur). Parmak frezenin kesme kavrama açısı 180° 'dir, dolayısıyla freze, çevresinin yaklaşık yarısına kadar kesmeye katılmıştır. Bu ise kanal yan yüzeylerinin takımı sehime karşı desteklemesi demektir.

Tam kanal açma işlemlerinde sınırlayıcı faktör genellikle talaşın naklidir. Yüksek talaş debilerine sahip modern parmak frezeler çok etkili takımlardır, ancak kesici kenarın kırılmasına yol açabilecek talaş yığılmasının önlenmesi de şarttır. Sıkıştırılmış hava veya basınçlı soğutma sıvısının kanaldaki kesme bölgesine sevk edilmesi talaşların çabuk bir şekilde bölgeden uzaklaştırılması açısından son derece gereklidir.



Şekil II.7 Kanal İşlenmesi

Parmak freze, aksel yönde hareket edecek şekilde tasarlanmış bir takımdır. Bu doğal olarak parmak frezeyi, özellikle yüksek işleme hızlarında, kesme kuvvetlerinin etkilerine karşı oldukça hassas bir duruma getirmektedir. Bu nedenle parmak frezeleme işleminde çok rijit bir takım tutucu sistemine gereksinim vardır. Aksi takdirde parmak frezeleme işleminde, büyük efektif takım uzunlukları nedeniyle, sehim ve titreşim kaçınılmazdır. Parmak frezelerin çeşitli saplı tipleri mevcuttur ve bunların bazıları diğerlerinden daha iyidir. Pens adaptörleri ve modüler takım tutucular genellikle sapın çok rijit bir şekilde tespit edilmesi sayesinde mükemmel bir rijitlik sağlarlar.



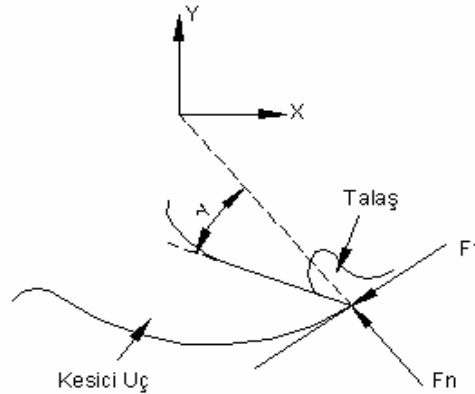
Şekil II.8 Parmak Frezenin Sehimi

Titreşimin fazla olması neticesinde parmak freze şekil değişimine uğrayarak yüzey kalitesinin kötü olmasına sebebiyet verir. Bir parmak frezeleme işlemindeki kesme kuvvetleri işlemin sonucuna fazlasıyla etkide bulunurlar. Radyal, aksenal ve teğetsel kuvvetler parmak frezeyi eğilmeye ve çekmeye zorlar. Gerçekleştirilmek istenen işlem ile ilişkili olarak frezeleme yönü (aynı veya karşıt yönlü frezeleme) ve herhangi bir eğim veya helis açısı da dikkate alınmalıdır.

II.1.4. Parmak Frezeye Etki Eden Kuvvetler

Günümüze kadar parmak frezeleme ile yüzey işlerken talaş kaldırma esnasında kesici takıma etki eden kuvvetler üzerine birçok araştırmalar yapılmıştır. Talaş kaldırma esnasında kesici takıma üç temel kuvvetin etkilendiği görülmektedir. Bunlar arasında talaş kaldırma esnasında kesici takıma eğim vermeye çalışanlar Şekil II.9’ da görüldüğü gibi F_n ve F_t kuvvetleridir [16].

F_n kuvveti kesici takımı işlenen yüzeye dik doğrultuda iş parçasından ayırmaya çalışan kuvvettir. F_t ise işlenen yüzeye paralel doğrultuda teğetsel kuvvet olup kesici takımı kesme yönünün tersine eğmeye çalışan kuvvettir. F_z kuvveti ise kesici takımının helis açısı doğrultusunda etki eden kuvvet olup bu kuvvetin kesici takımın eğilmesine doğrudan bir etkisi yoktur [16].



Şekil II.9 Kesici Takım Ucuna Etki Eden Kuvvetler

Kulkarni ve diğerklerinin yapmış oldukları çalışmada kesici takıma etki eden kuvvetleri şöyle ifade etmişlerdir.

$$F_n = \tau d_s w \frac{\sin(\eta - \gamma)}{\sin \varphi \cos(\varphi + \eta - \gamma)} \quad (\text{II.1})$$

$$F_t = \tau d_s w \frac{\cos(\eta - \gamma)}{\sin \varphi \cos(\varphi + \eta - \gamma)} \quad (\text{II.2})$$

Burada;

τ : iş parçasının kayma gerilmesi,

d_s : talaş kalınlığı,

w : talaş genişliği,

φ : kesme açısı,

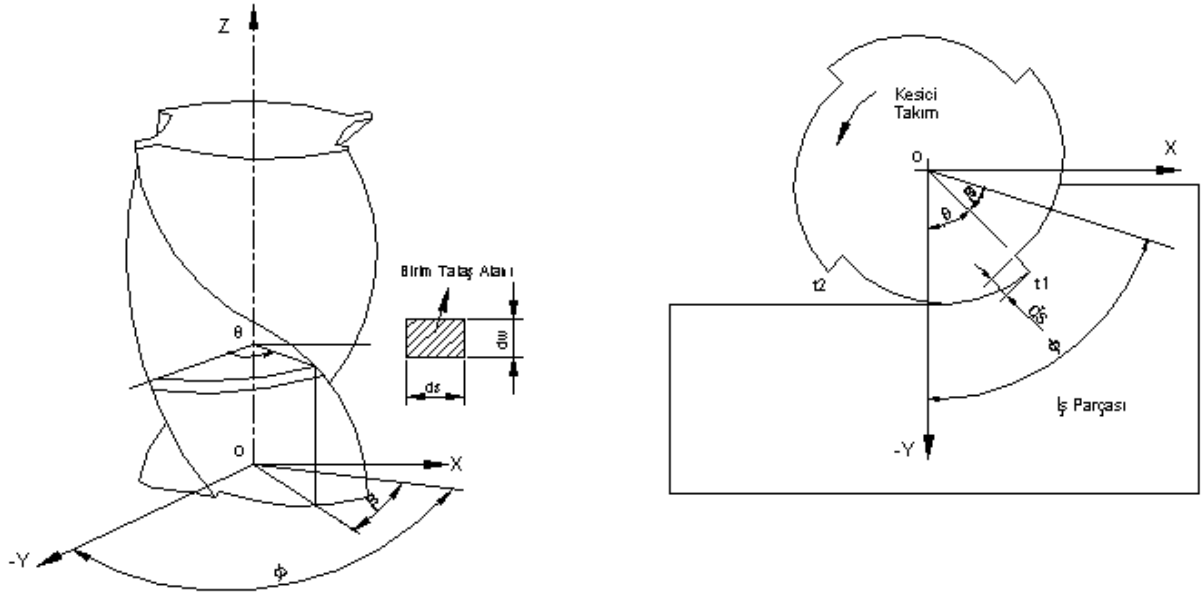
γ : talaş açısı,

η : iş parçası ile kesici takım arasındaki sürtünme açısıdır.

Kesme açısı φ , iş parçasının kesmede akma ve kopma mukavemetlerine talaş açısına bağlı olarak şöyle ifade edilmiştir.

$$\varphi = \frac{1}{2} a \sin [2\tau_y/\tau_u \cos (\pi/4-\gamma/2) \sin (\pi/4+\gamma/2) -\sin\gamma]+\gamma \quad (\text{II.3})$$

Burada, τ_y iş parçasının akma mukavemeti ve τ_u ise iş parçasının kopma mukavemetidir. Kuvvet analizinde önemli olan bir nokta talaş kalınlığı d_s 'nin zamanla değişmesidir. Frezelemede talaş kalınlığı kesici takım dişlerinin açılal konumu ile talaş kalınlığı değişiklik göstermektedir. Bu durum dinamik olarak göz önüne alındığında kesici takımın kesme esnasında titreşim yapacağını göstermektedir. Ayrıca silindirik frezelemede (örneğin vals freze çakısı) yada parmak freze çakısı ile talaş kaldırırken sistemin geometrik yapısına iş parçasının ilerleme miktarına bağlı olarak kesici ucun kesmeye başlayıp bitişine doğru talaş kalınlığında artma söz konusudur. Bu artış, Şekil II.10'daki t_1 dişi iş parçasından kurtulmadan t_2 dişinin devreye girmesi (bu durum helis açısından kaynaklanmaktadır) ile t_1 dişine ait F_{t1} kuvvetinin y doğrultusundaki bileşeni t_2 dişine ait F_{n2} kuvvetinin y doğrultusundaki bileşeni ile zıt yönlü olup F_{n2} kuvvetini F_{t1y} kadar azaltma yapacaktır. Bu durum işlenen yüzeyin kesici takım eksenine olan paralelliğın bozulmasını bir miktar önleyecektir [16].



Şekil II.10 Parmak Freze ile Talaş Kaldırma İşleminin Geometrik Yapısı

BÖLÜM III. TEZ ÇALIŞMALARI

III.1. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada iki farklı yöntem uygulanmıştır. İlk kısımda deneysel çalışma yapılmıştır ve deney şartları belirlenirken Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır. İkinci kısımda ise, deneysel çalışmada elde edilen verileri değerlendirmek ve optimizasyonu için Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılmıştır.

Kesme hızı ve ilerleme oranı, talaş derinliği ve işleme genişliğinin yüzey kalitesine ve kesme kuvvetlerine etkisi araştırılmıştır. İşlenen parçaların yüzey pürüzlülüğü MARH-Perthometer ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) esas alınarak yapılmış ve sonuçlar Ra'ya göre yorumlanmıştır. Her ölçüm hassasiyeti arttırmak için üç defa tekrarlanmıştır. Kuvvet ölçümü için oluşturulan düzenekteki parçalar; kuartz dinamometre, üç kanallı charge-amplifikatörü, Kistler dinamometreye bağlanabilen uç bağlama aparatı, ölçüm bilgilerinin analizi için program, bilgisayar bağlantısı için ISA tipi A/D kartı ve ara bağlantı kablolarından oluşmaktadır. X,Y ve Z eksenlerinde ölçülen kesme kuvvetleri, DynoWare yazılımı ile bilgisayar ortamında grafiğe dönüştürülmüştür. Ölçülen sonuçlar Taguchi ile optimize edilerek, en etkili faktörler ve etkime dereceleri tayin edilmiştir.

Kesme kuvveti ölçümü için, yine literatürde kullanımı yaygın olan *Dinamometre ile ölçüm yöntemi* tercih edilmiştir. Hazırlanan iş parçası dinamometre üzerine sabitlenerek frezeleme esnasında oluşan kuvvet dataları bilgisayara x, y ve z eksenlerinde grafiksel olarak aktarılmıştır.

III.2. MATERYAL

III.2.1. CNC Freze Tezgahı

Deney düzeneğinde kullanılan CNC tezgahı; üç eksenle lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO format programlama yapabilen FANUC kontrol ünitesi O-M serisi, bir adet Freze tezgahıdır(Şekil III.I). Tablo III.1’de CNC freze tezgahının teknik spesifikasyonları verilmiştir.

Tablo III.1. CNC Freze Tezgahının Teknik Spesifikasyonları

Model No	VMC – 850 / 550+APC
Tabla çalışma yüzeyi	40” x 20” (1000 x 500 mm)
Hareket sınırları	X : 31.5” (800 mm) Y : 20” (500 mm) Z : 17.7” (450 mm)
İş mili motor Gücü	10 HP (30 min.) / 7.4 HP (cnot)
Tabla yükleme kapasitesi	1980 Lbs (900 kg)
Tezgah zemin alanı	92.5” x 98.4” (2350 x 2500)
Makine ağırlığı	12100 Lbs (5500 kg)



Şekil III.1 Johnford VMC – 550 Model CNC Freze Tezgahı

III.2.2. Deneyde Kullanılan İş Parçası Malzemesi (Al 7075) ve Özellikleri

Alüminyum ağırlıkça hafiftir ve alaşımları yapı çeliklerinden daha fazla mukavemetlendirilmişlerdir. Alüminyum iyi elektriksel ve ısı iletkenliğe ve yüksek bir ısı ve ışık yansıtma özelliğine sahiptir. Pek çok hizmet şartlarında korozyon direnci oldukça iyi ve zehirsizdir. Alüminyum dökülebilir ve pek çok şekle getirilebilir ve geniş bir aralıkta yüzey kalitesi verir. Alüminyumun bu üstün özellikleriyle mühendislik malzemesi olarak büyük önem kazanması şaşırtıcı değildir [41].

Al 7075' in kullanımı uzay, uçak ve otomotiv sanayinde her geçen gün artmaktadır.

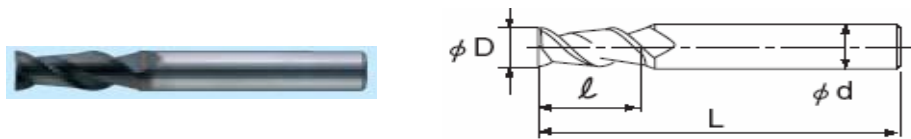
Deneyde kullanılan numuneler dikdörtgen şeklinde olup, 220 mm uzunluğu, 70 mm genişliği ve 50 mm derinliğindedir. Tablo III.2'de Al 7075'e ait kimyasal kompozisyonlar ve mekanik özellikleri sunulmuştur.

Tablo III.2 Al 7075 Alaşım Malzemesinin Mekanik ve Kimyasal (%) Özellikleri

İş parçası	Akma (MPa)	Kopma (MPa)	Uzama (%)	Kimyasal yapı (%)
Al 7075	505	570	11	Al (base); Zn (7.1); Cr (0.06); Cu (1.7); Mn (0.06); Si (0.1); Ti (0.05); Mg (2.8); Zr (0.1); Fe (0.3)

III.2.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar

Kesici takım olarak NACHI firmasına ait 2DLCM List 9330 parmak frezeler kullanılmıştır (Şekil III.2). Bu çalışmada kullanılan kesici takımların tam boyu (L) = 60 mm, $l = 20$ mm, sap çapı (d) = 10 mm, kesici ağız çapı (D) = 9 mm dir.



Şekil III.2 Deneyde Kullanılan Kesici Takım

III.2.4. Deneyde Kullanılan Ölçüm Cihazları

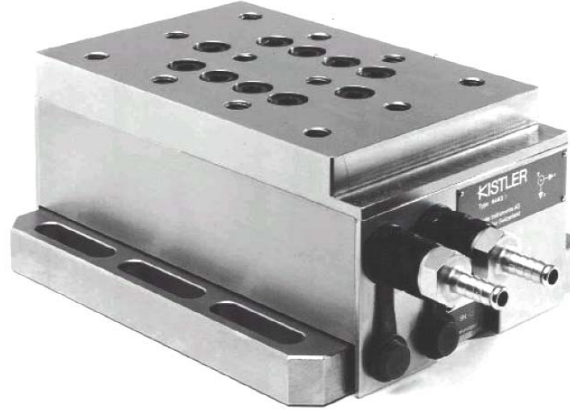
Deneyisel çalışmada kesme kuvveti ölçümünü gerçekleştirmek için oluşturulan düzenekte iş parçasının delinmesi esnasında iş parçasını etkileyen üç- eksenli bileşenlerinin ölçülmesinde ve analizinde kullanılmıştır. Oluşturulan düzenekteki parçalar; üç boyutlu kuartz dinamometre, üç kanallı charge-amplifikatörü, dinamometreye bağlanabilen uç bağlama aparatı, ölçüm bilgilerinin analizi için program, bilgisayar bağlantısı için ISA tipi A/D kartı ve ara bağlantı kablolarından oluşmaktadır.

III.2.4.1. Kuartz Dinamometre

Bir kuvvetin üç eksenli bileşenlerini ölçmede kullanılır, çok rijit bir yapıya sahip olması dolayısıyla yüksek tabii frekansa sahiptir. İki metal plaka arasında monte edilmiş dört adet üç eksenli kuvvet sensörü bulunmakta, her sensörde üç çift kuartz plaka vardır ve bunlardan biri Z yönünde basınca, diğer ikisi X ve Y yönlerindeki kesme kuvvetine hassastır. Bu sensörler dinamometre (Şekil III.3) içinde kendi aralarında uygun şekilde bağlanıp, çıkış sinyalleri 9 uçlu bir soket üzerinden dışarı bağlanmıştır. Kuvvet sensörünün teknik özellikleri Tablo III.3'de verilmiştir. Yük amplifikatörü olarak KISTLER 5019b tipi yük amplifikatörü kullanılmıştır. Bu amplifikatör kuvvet sensöründen üç eksen (x,y,z) gelen voltaj sinyallerini ayrı ayrı değerlendirmektedir. Üç kanallı ve mikroişlemci kontrollü olan bu amplifikatör, dinamometreden gelen sinyalleri yükselterek volt olarak çıkış vermektedir. Bu datalar RS232 C ve IEEE-488 ara yüz çıkışları sayesinde bilgisayara aktarılmıştır.

Tablo III.3. Kuvvet Sensörünün Teknik Özellikleri

ÖZELLİK	SEMBOL	BİRİM	DEĞERLER
Ölçme aralığı	F_x, F_y F_z	kN kN	-15.....15 -10.....30
Aşırı yük	F_x, F_y F_z	kN kN	-20/20 -12/40
Hassasiyet	F_x, F_y F_z	pC/N pC/N	\cong -8 \cong -3.8
Rijitlik	C_x, C_y C_z	kN/ μ m kN/ μ m	\cong 0.8-1 \cong 2
Doğal Frekans	$F_o (x,y)$ $F_o (z)$	kHz kHz	\cong 1.5-1.7 \cong 2.5-2.7
Çalışma sıcaklığı aralığı	----	°C	\leq \pm 0.02 (0-70 °C)
Yalıtım Direnci	----	T. Ω	\geq 10
Bağlantı tipi	----	----	10-32 UNF



Şekil III.3 Kistler Dinamometre

III.2.4.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Pürüzlülük aritmetik ortalaması (R_a): Merkez ortalama çizgisi (CLA) olarak ta bilinen, yükseklik aritmetik ortalaması kalite kontrolünde oldukça sık kullanılan pürüzlülük parametresidir. Şekil III.4'te gösterildiği gibi bir örnekleme boyu üzerindeki ortalama çizgisinin altında ve üstünde kalan mutlak düzensiz pürüzlülüklerin aritmetik ortalamasıdır. Bu parametreyi tanımlamak ve ölçmek çok kolaydır ve yükseklik dağılımları hakkında iyi ve genel bir tanımlama verir. Fakat bu parametre dalga boyu hakkında hiçbir bilgi vermez ve profildeki küçük değişiklikler için hassas değildir. Bu parametrenin matematiksel ifadesi aşağıdaki formüldeki gibidir [46].



Şekil III.4 Yüzey Pürüzlülüğü Aritmetik Ortalaması

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

Deneysel çalışmada, işleme sonrası elde edilen iş parçasının işlenen yüzeyindeki pürüzlülük değeri MARH-Perthometer ile ölçülmüştür.

III.2.4.3. Analiz Programı

KISTLER 5019b yük amplifikatöründen alınan dataların değerlendirilmesi ve grafiksel olarak ifade edilmesi için geliştirilen DynoWare isimli yazılım programı kullanılmıştır. Bu program sayesinde 3 ekseninde de iş parçasına etki eden kuvvetler grafiksel olarak görülmekte ve istenildiği takdirde data olarak Microsoft Office Excel programına aktarılabilir.

III.3. METOT

III.3.1. Taguchi ile Deney Tasarımı

Kesme parametrelerinin daha verimli bir şekilde seçilmesini sağlamak ve harcanan zamanı ve malzemeyi azaltmak için Taguchi tekniği alternatif bir yaklaşım olarak devreye girmektedir. Temel olarak Taguchi Tasarımı, yüksek kalite sistemleri için güçlü bir yöntemdir. Maliyet, kalite ve performans tasarımlarını optimize etmek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Son yıllarda çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Taguchi Tasarımı, bir ürün ya da prosesin mühendislik optimizasyonunu; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı gibi üç adımlık bir yaklaşım içerisinde çözebilmeyi amaçlamaktadır [17].

Sistem tasarımında; temel fonksiyonel bir prototip tasarım üretmek için bilimsel veri tabanı oluşturulur. Sistem tasarımını parametre tasarımı takip eder. Bu tasarımın amacı; kalite karakteristiklerini geliştirmek için proses parametre değerlerinin ayarlarını optimize etmek ve optimal proses parametreleri altında ürün parametre değerlerini tanımlamaktır. Taguchi tekniğinin kullanım sebebi, çıktı değerlerinin hedefte ve minimum varyansla sağlanmasıdır. Bu amaçla sistem

tasarımında ortaya konulan tasarımın uygulanarak, etki eden faktörlerin uygun seviyelerinin belirlenmesi işlemine parametre tasarımı denir [18].

Parametre tasarımı özetle;

1. Kalite karakteristiklerinin (bağımlı parametrelerin, örneğin; takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü) ve tasarım parametrelerinin (bağımsız parametreler, örneğin; kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı vb.) belirlenmesi,
2. Tasarım parametreleri ve etkileşimlerinin seviyelerinin belirlenmesi,
3. Uygun bir lineer grafik ya da ortogonal dizinin belirlenmesi ve bu ortogonal diziye parametrelerin uygun seviyelerinin yerleştirilmesi,
4. Ortogonal diziye yerleştirilen seviyelerde deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesi,
5. Deneysel sonuçları kullanarak S/N oranlarının hesaplanması ve sonuçların analiz edilmesi,
6. Optimal tasarım parametrelerinin seçilmesi,
7. Doğrulama testlerinin yapılması, şeklinde basamaklandırılabilir.

Daha sonraki adımda ise, belirlenen tasarım parametrelerinin uygun seviyeleri belirlenir. Sonraki aşama, uygun bir lineer grafik ya da ortogonal dizi belirlemek ve bu ortogonal diziye parametrelerin uygun seviyelerini yerleştirmektir. Taguchi kısmi faktöriyel deney tasarımlarına “ortogonal dizi” ismini vermiştir. Ortogonal diziler Taguchi taraflardan aşağıdaki gibi kodlanmıştır [18,19].

$$LX(Y^Z) \quad (III.1)$$

Bu kodlamada;

L: Latin kare tabanlı anlamındadır.

X: tasarımdaki deney sayısı,

Y: Deneydeki seviye sayısı,

Z: Deneyde kullanılabilecek max. faktör sayısı.

Bu kodlamanın pratikte (YZ) kısmı pek kullanılmamaktadır. Taguchi tarafından hazırlanan dizilerin listesi aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Tablo III.4). L18 (41x24) tasarımında 41 bir adet dört seviyeli, 24 dört adet iki seviyeli faktör anlamına gelmektedir.

Tablo III.4. Ortogonal Dizin Tipleri

L4(2 ³)	L8(2 ⁷)	L16(4 ⁵)	L16(4 ¹ x2 ¹²)
L12(2 ¹¹)	L20(2 ¹⁹)	L64(4 ²¹)	L16(4 ³ x2 ⁶)
L16(2 ¹⁵)	L32(2 ³¹)	L8(4 ¹ x2 ⁴)	L32(4 ⁹ x2 ⁴)
L9(34)	L12(3 ¹ x2 ⁴)	L25(5 ⁶)	L128(4 ⁴¹ x2 ⁴)
L18(3 ⁷ x2 ¹)	L18(6 ¹ x3 ⁶)	L50(5 ¹⁰ x10 ¹)	L50(5 ¹¹ x2 ¹)
L24(3 ¹ x2 ¹⁶)	L24(3 ¹ x4 ² x2 ¹³)	L49(7 ⁸)	L125(5 ³¹)
L27(3 ¹³)	L36(2 ¹ x6 ² x3 ⁵)	L98(7 ¹⁴ x14 ¹)	L98(7 ¹⁵ x2 ¹)
L36(3 ³ x6 ³)	L54(3 ²³ x2 ¹)	L64(8 ⁹)	L27(9x3 ⁹)
L54(6 ³ x3 ²⁴)	L81(3 ⁴⁰)	L16(8x2 ⁸)	L81(9 ¹⁰)
L81(3 ⁴ x9 ¹)		L121(11 ¹²)	L169(13 ¹⁴)

DeneySEL çalışmaların yapılması parametre tasarımının dördüncü aşamasıdır. Bir sonraki aşamada ise, deneysel sonuçları kullanarak S/N oranlarını hesaplamak ve sonuçları analiz etmektir. Hedef değerlerin sağlanması için deney sonuçlarının ortalamaları; varyasyonun minimize edilmesi için sinyal-hata oranı (S/N) kullanılmaktadır. Sinyal hata 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 kullanmaktadır [18].

Toplam S/N çeşidi sayısı yetmiş kadardır, fakat bunların en çok üç tanesi yaygın olarak kullanılmaktadır: Daha küçük daha iyidir, daha büyük daha iyidir ve nominal daha iyidir şeklindedir. Ancak, bu çalışmada daha küçük daha iyidir kullanılacaktır.

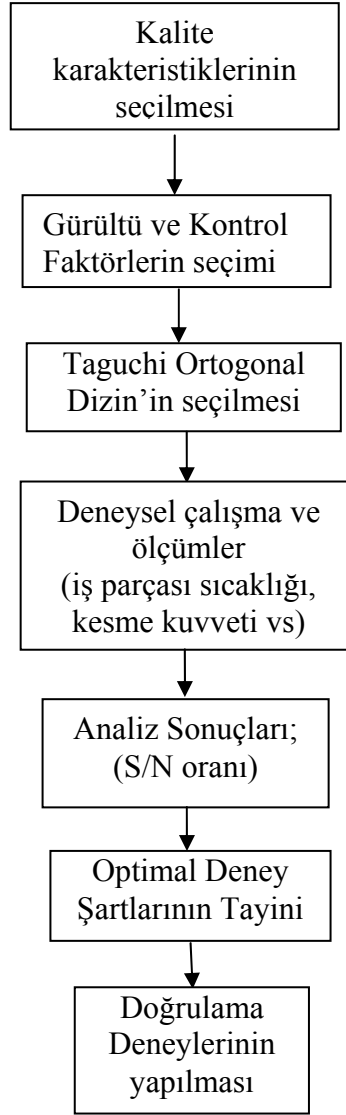
Daha küçük daha iyi (S/N_ç): Ortalamayı ve değişimi olabildiğince küçültmek istenen problemlerde kullanılır. Örneğin, talaşlı imalatta, yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu için kullanılabilir.

III.3.1.1. Çalışmanın Deney Tasarımı ve Optimizasyon için Taguchi Metodu

Bu çalışmada, Deneyin tasarım aşamasında da Taguchi Metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada, Taguchi optimizasyon metodunun basamakları Şekil III.7 deki gibi tasarlanmıştır. Kalite karakteristiğini belirlerken, ölçülecek yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti oranlarının en az olması istendiğinden dolayı, deneyler sonucunda ulaşılması beklenen kalite değerlerinden, en küçük en iyidir prensibi uygulanmıştır [20].

$$S / N(\eta) = -10x \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{i^2} \right) \quad (\text{III.1})$$

Denklem III.1 deki n = deney şartlarında yapılan deney sayısını ve y ise ölçülen karakteristiği (Bağımlı değişkeni) ifade etmektedir.

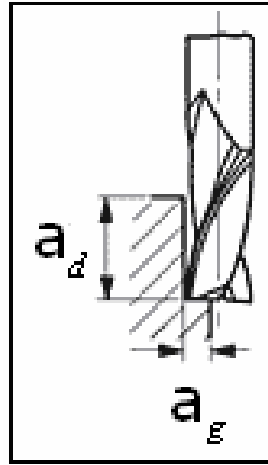


Şekil III.5 Taguchi Optimizasyon Uygulamasının Aşamaları [20]

Bu çalışmanın en önemli amaçlarından biride endüstriyel uygulamalara katkı sağlayarak, reel çözümler üretmektir. Bu amaç dikkate alınarak, faktör seçiminde günümüz imalat sanayinde kullanılan proses parametreleri, işleme koşulları ve kesici takımlar tercih edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda, endüstriyel uygulaması, hafiflik, yüksek mukavemet ve kolay şekillendirilebilirlik gibi özelliklerinden dolayı Alüminyum malzemesinin işlenmesinde kullanılacak parametrelerden; ilerleme oranı, talaş derinliği, iş parçası boyu ve çapı gibi özellikler dikkate alınmıştır. En uygun faktörlerin seçilerek, optimal kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, minimal titreşim ve iş parçasında optimal boyutsal doğruluğun elde edilmesi amaçlanmıştır. Belirlenen faktörler ve bunların seviyeleri Tablo III.5' de sunulmuştur.

Geleneksel deney tasarımının hayli karmaşık, zor ve çok fazla sayıda deney yapılması gereksinimi ortaya çıkmasından dolayı bu çalışmada, Deney tasarımı Taguchi yöntemi ile yapılmıştır[21].

Deneyisel çalışmada kullanılan deney parametreleri ve seviyeleri Tablo III.5 de görülmektedir. Talaş derinliği ölçümü ve işleme genişliği ölçümü sembolik olarak Şekil III.6' da verilmiştir.



Şekil III.6 Talaş Derinliği (a_d) ve İşleme Genişliği (a_g)

Tablo III.5 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kontrol Faktörleri Ve Seviyeleri

Faktörler	(A) Fener mili Hızı, n (dev/dak)	(B) İlerleme oranı, fn (mm/dev)	(C) Talaş derinliği, a_d (mm)	(D) İşleme genişliği, a_g (mm)
Seviye I	1200	0.02	4	2
Seviye II	1700	0.03	8	3
Seviye III	2200	0.04	12	4

Deneyisel çalışmada kullanılan kontrol faktörlerine göre yapılan L_9 deney tasarımı ise Tablo III.6. da sunulmuştur.

Tablo III.6 L₉ Deney Tasarımı

Deney No	(A)	(B)	(C)	(D)
1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
2	A ₁	B ₂	C ₂	D ₂
3	A ₁	B ₃	C ₃	D ₃
4	A ₂	B ₁	C ₂	D ₃
5	A ₂	B ₂	C ₃	D ₁
6	A ₂	B ₃	C ₁	D ₂
7	A ₃	B ₁	C ₃	D ₂
8	A ₃	B ₂	C ₁	D ₃
9	A ₃	B ₃	C ₂	D ₁

III.4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TAGUCHI İLE OPTİMİZASYON

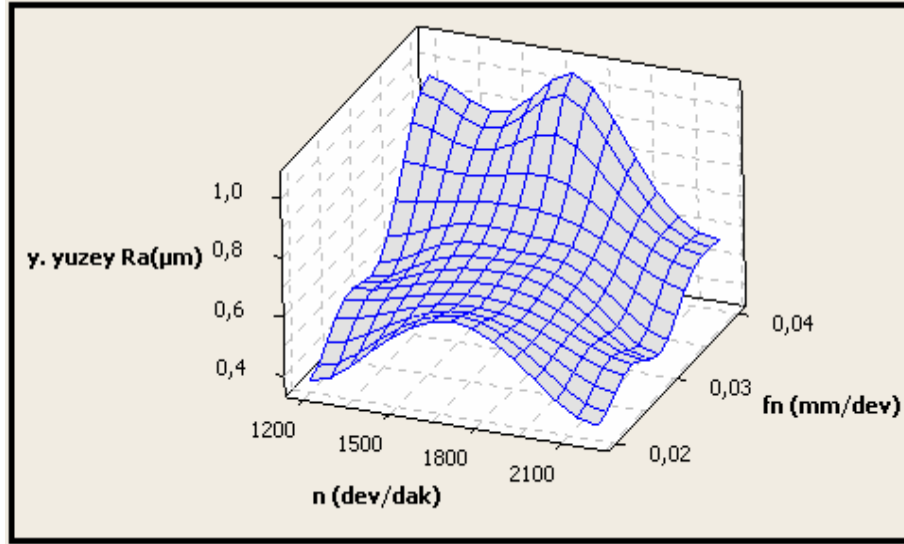
Deneyisel çalışmada, Al 7075 alaşım malzemesinin frezelenmesi sonucunda, yanal yüzeyde oluşan yüzey pürüzlülüğü, F_x (İlerleme kuvveti), F_y (Radyal kuvvet) ve F_z (Eksenel kuvvet) ölçüm sonuçları ve bunların her bir deneydeki sinyal gürültü oranları (S/N oranı) Tablo III.7’de sunulmuştur. Elde edilen bu sonuçlara göre, kontrol faktörlerinin yanıtlara etki etme oranları ve nihai optimal kesme şartlarına ulaşılması hedeflenmektedir.

Tablo III.7 Deneyler İçin Ra Değerleri ve S/N Oranları

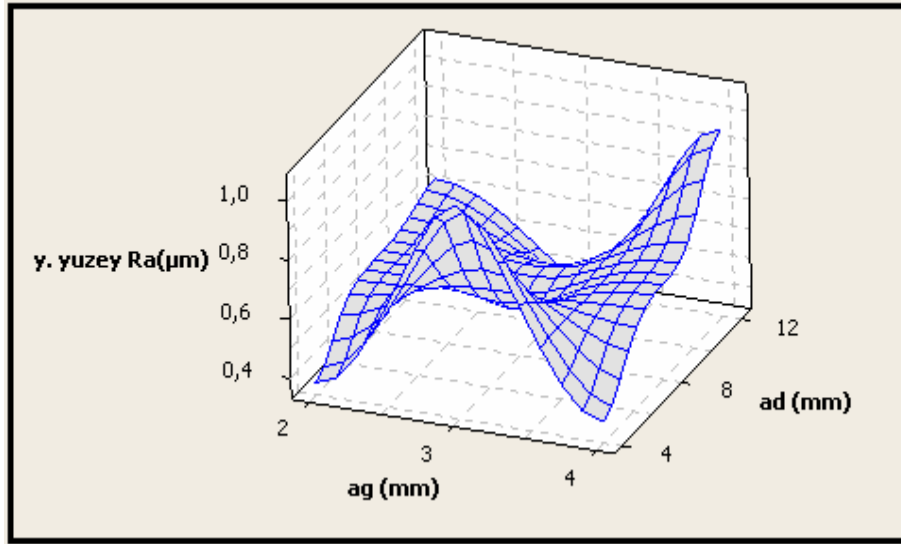
Deney No	Yanal Yüzey Ra (µm)	S/N oranı (dB)	Taban Yüzeyi Ra (µm)	S/N oranı (dB)	F _x (N)	S/N oranı (dB)	F _y (N)	S/N oranı (dB)	F _z (N)	S/N oranı (dB)
1	0,37	8,63	1,811	-5,15	96	-39,64	289	-49,21	117	-41,36
2	0,50	6,02	2,815	-8,98	241	-47,64	488	-53,76	237	-47,49
3	0,96	0,35	3,480	-0,83	514	-54,21	758	-57,59	405	-52,14
4	0,65	3,74	1,443	-3,18	271	-48,65	405	-52,14	216	-46,68
5	0,63	4,01	1,129	-1,05	120	-41,58	396	-51,95	178	-45,00
6	1,05	-0,42	1,443	-3,18	302	-49,60	529	-54,46	221	-46,88
7	0,38	8,40	0,878	1,13	155	-43,80	389	-51,79	194	-45,75
8	0,40	7,95	1,101	-0,83	351	-50,90	400	-52,04	211	-46,48
9	0,57	4,88	2,092	-6,41	136	-42,67	458	-53,21	196	-45,84

III.4.1. Yanal Yüzey İçin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları

Dokuz adet deney neticesinde, 90 derecelik kenar frezelemede yanal yüzeyde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve bu pürüzlülüklerin oluşmasında her bir kontrol faktörünün etkisi Şekil III.7 ve Şekil III.8’de görülmektedir. Şekil III.7’de görüldüğü gibi, maksimum yüzey pürüzlülüğüne, 0.04 mm/dev ilerleme oranı, 1700 dev/dak fener mili hızında ulaşılmıştır. Minimum yüzey pürüzlülüğü ise, daha düşük fener mili hızı (1200 dev/dak), ilerleme (0,02 mm/dev), ile elde edilmiştir. Şekil III.8’de ise talaş derinliği ve işleme genişliğinin, yanal yüzeyde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi görülmektedir. Burada da talaş derinliği ve işleme genişliğinin; yüzey kalitesinde hayli etkili faktörler olduğu görülmektedir.

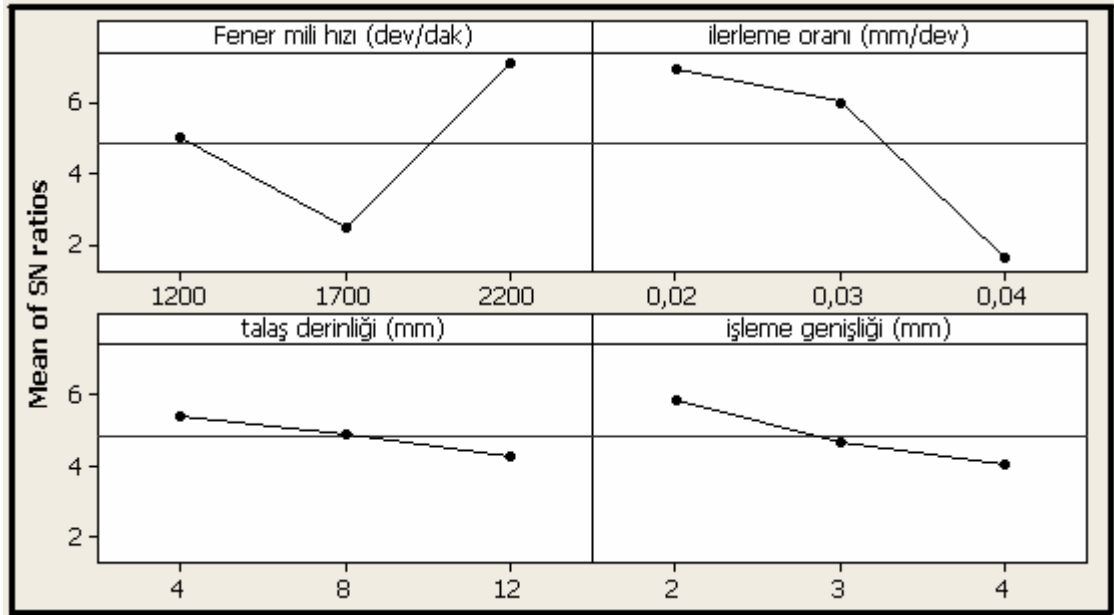


Şekil III.7 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Fener Mili Hızı (n) ve İlerleme Oranına (f_n) Bağlı Olarak Yanal Yüzeydeki R_a Değişimi



Şekil III.8 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Talaş Derinliği (ad) ve İşleme Genişliğine (ag) Bağlı Olarak Yanal Yüzeydeki Ra Değişimi

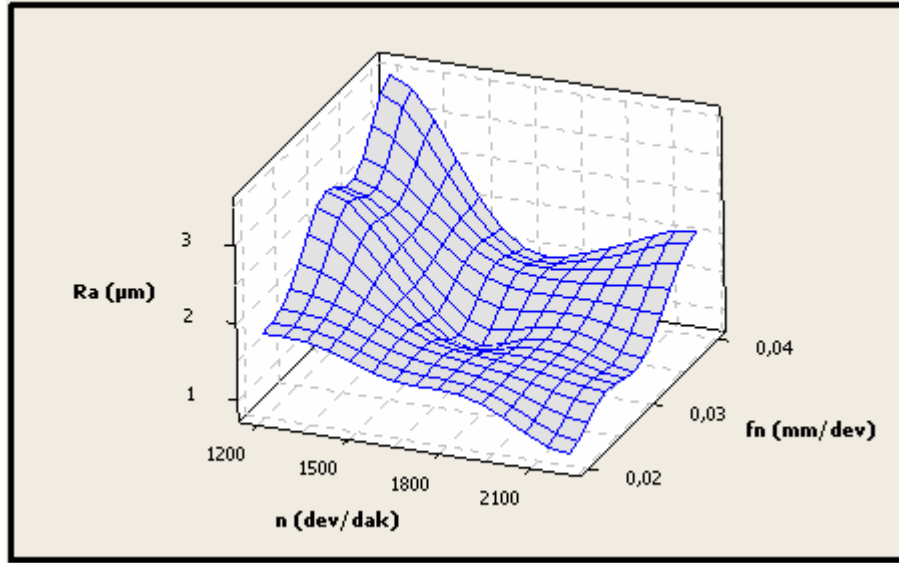
Taguchi ile proses parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü dikkate alınarak optimizasyonu için her bir parametrenin, her bir seviyesi için sinyal gürültü oranlarının değerleri grafik olarak Şekil III.9’da sunulmuştur.



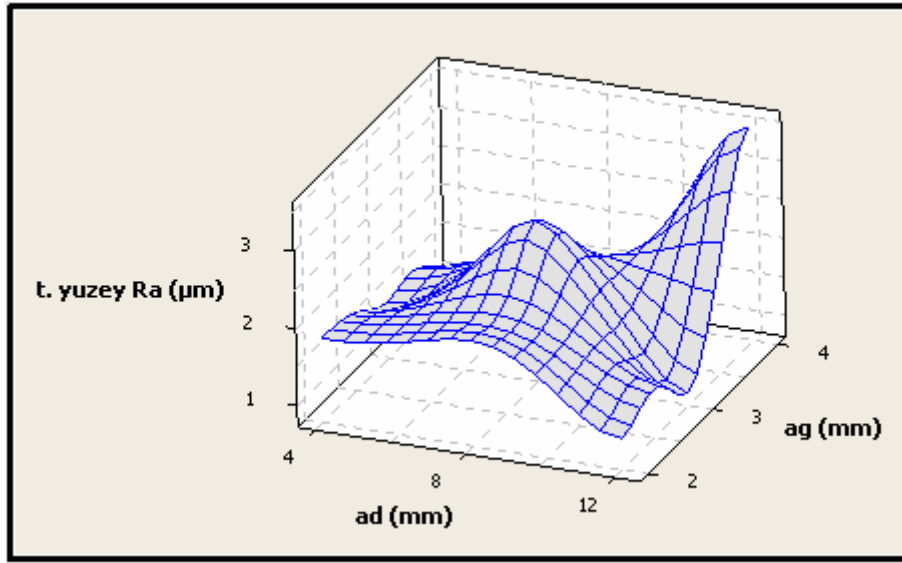
Şekil III.9 Ra İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranlarının Grafikselsunumu

III.4.2. Taban Yüzey için Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları

Frezelemede hem yanal yüzeyden hem de taban yüzeyden aynı anda talaş kaldırıldığı için, bu bölümde taban yüzeyde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri ve etkili olan işleme parametreleri irdelenmiştir. Şekil III.10'da görüldüğü gibi, fener mili hızının azalması ve ilerleme oranının artması ile taban yüzeyde meydana gelen pürüzlülük değeri artmaktadır. Aksi durumda ise, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde ciddi anlamda azalma görülmektedir. Şekil III.11'de ise, talaş derinliği ve işleme genişliğinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi görülmektedir. Talaş derinliğinin ve işleme genişliğinin artması ile maksimum ortalama yüzey pürüzlülüğü değerine ulaşılmıştır. Aksi durumda ise, çok düşük değerlerde ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilmiştir.

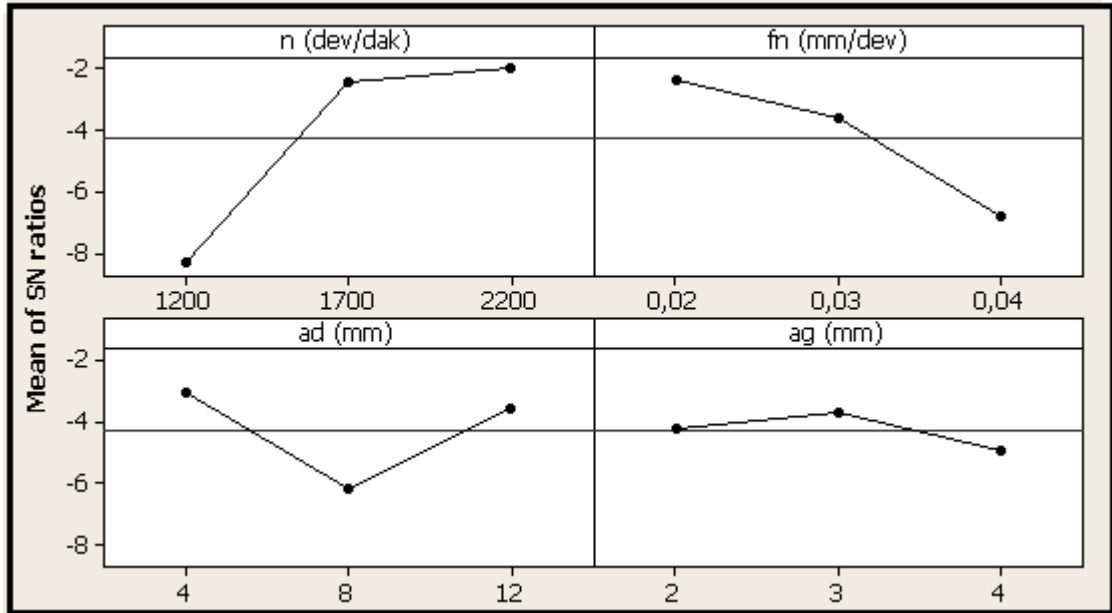


Şekil III.10 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Fener Mili Hızı (n) ve İlerleme oranına (f_n) Bağlı Olarak Taban Yüzeydeki R_a Değişimi



Şekil III.11 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Talaş Derinliği (ad) ve İşleme Genişliğine (ag) Bağlı Olarak Taban Yüzeydeki Ra Değişimi

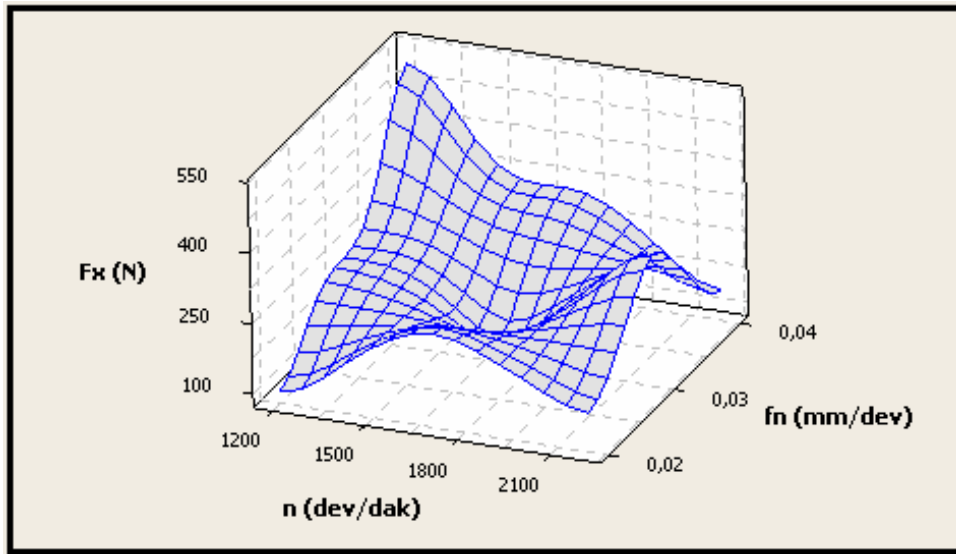
Taguchi ile proses parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü dikkate alınarak optimizasyonu için her bir parametrenin, her bir seviyesi için sinyal gürültü oranlarının değerleri grafik olarak Şekil III.12 'de sunulmuştur.



Şekil III.12 Ra İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranlarının Grafikselsunumu

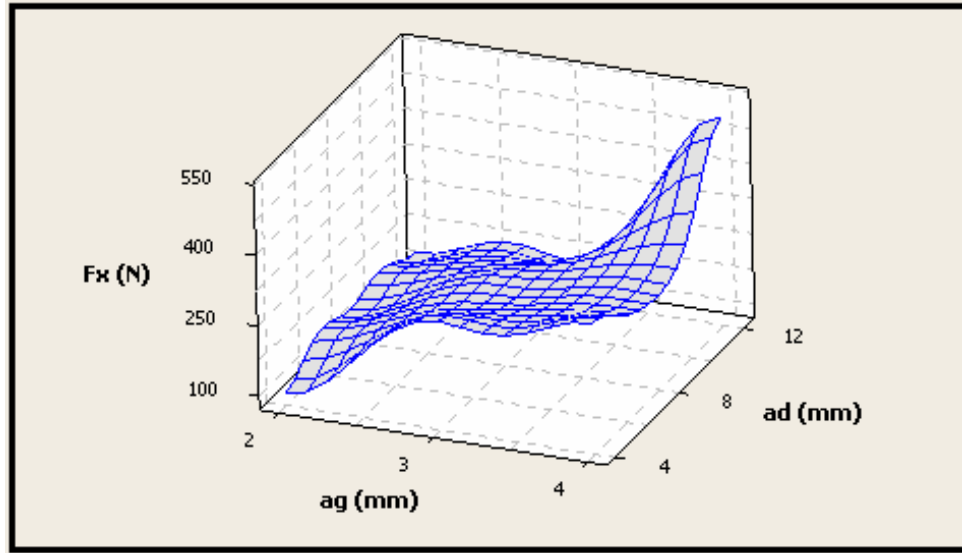
III.4.3. Fx Kuvveti

Yapılan deneysel çalışma sonucunda üç eksen den ölçülen kuvvetler [Fx (İlerleme kuvveti), Fy (Radyal kuvvet) ve Fz (Eksenel kuvvet)] ayrı ayrı irdelenerek yorumlanmıştır. Fx (ilerleme kuvveti) ve bu kuvvetin oluşumunda proses parametreleri ve bu parametrelerin etkiye oranları Şekil III.13 ve Şekil III.14'te görülmektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi, düşük fener mili devrinde ve ilerleme oranında minimum ilerleme kuvveti oluşmaktadır. Aksi durumda, ilerleme kuvveti maksimum olmaktadır.



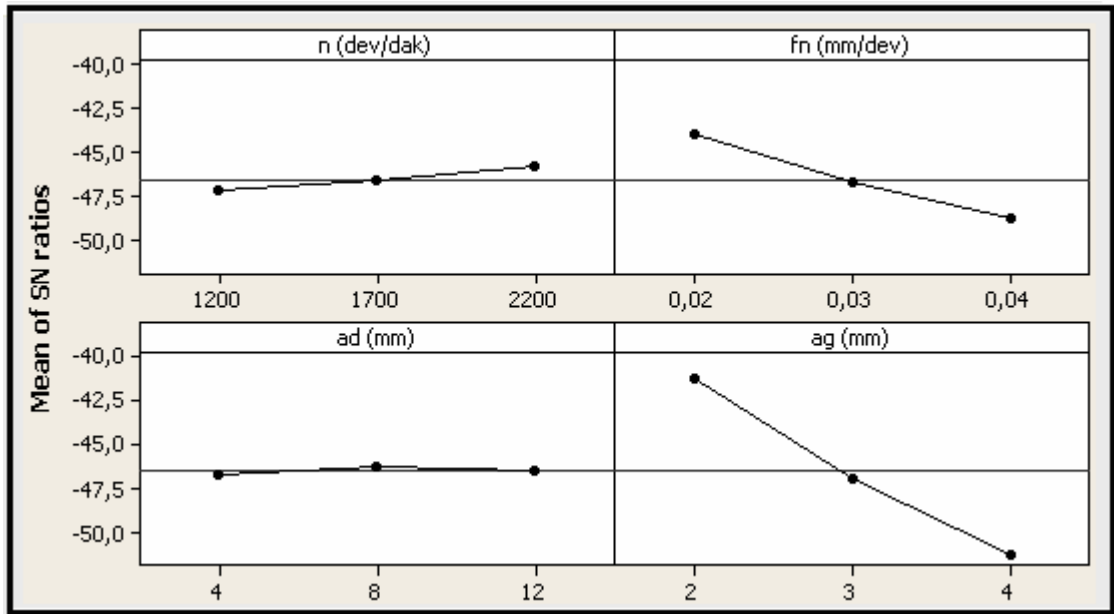
Şekil III.13 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Fener Mili Hızı (n) ve İlerleme Oranına (fn) Bağlı Olarak Oluşan Fx İlerleme Kuvveti

Şekil III.14'te ise, talaş derinliği ve işleme genişliğinin Fx ilerleme kuvvetine etkisi görülmektedir. İşleme genişliğinin ve talaş derinliğinin artması ile ilerleme kuvvetinin arttığı görülmektedir.



Şekil III.14 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Talaş Derinliği (ad) ve İşleme Genişliğine (ag) Bağlı Olarak Oluşan Fx İlerleme Kuvveti

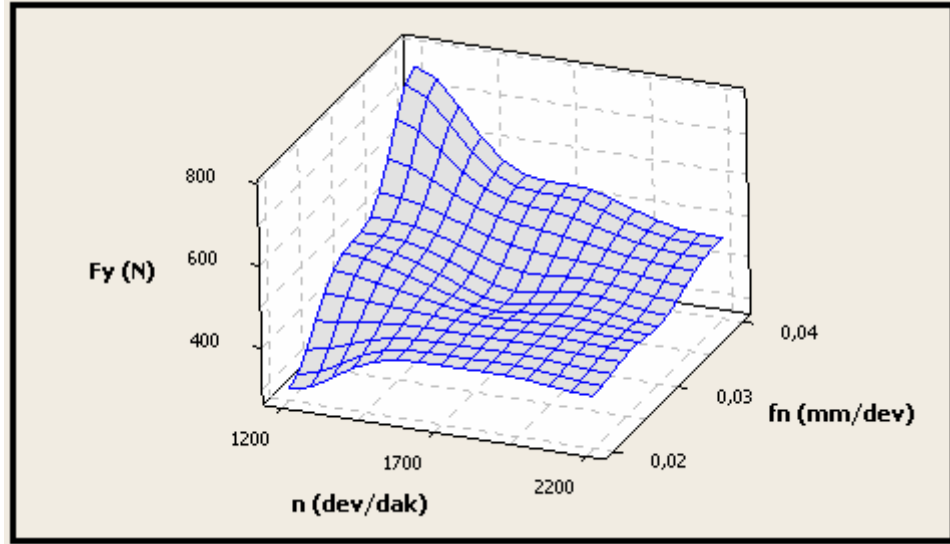
Fx kuvvetinin ölçümünde kullanılan değişkenler ve bu değişkenlerinin seviyelerinin S/N oranları Şekil III.15'te görülmektedir.



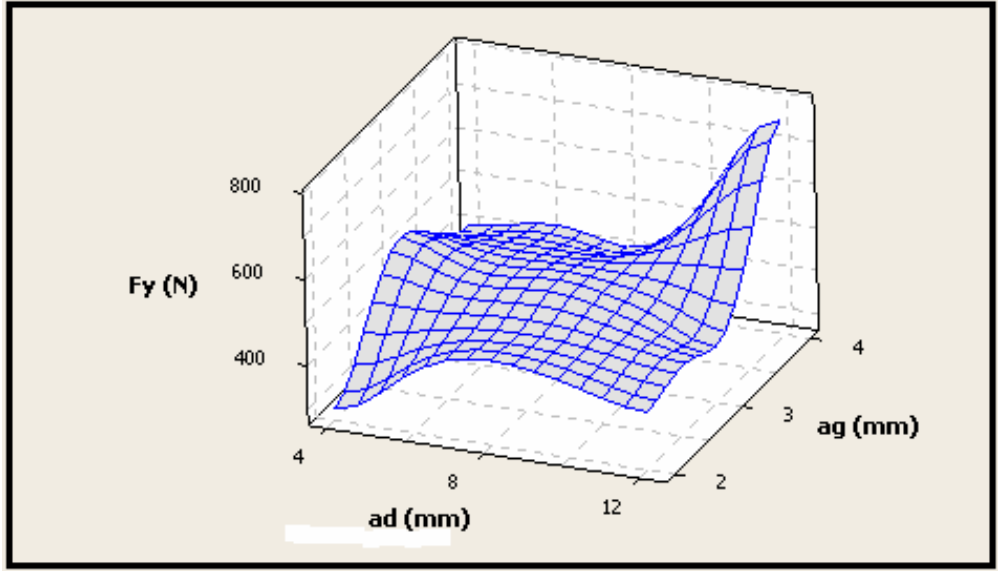
Şekil III.15 Fx İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranlarının Grafikselsunumu

III.4.4. Fy Kuvveti

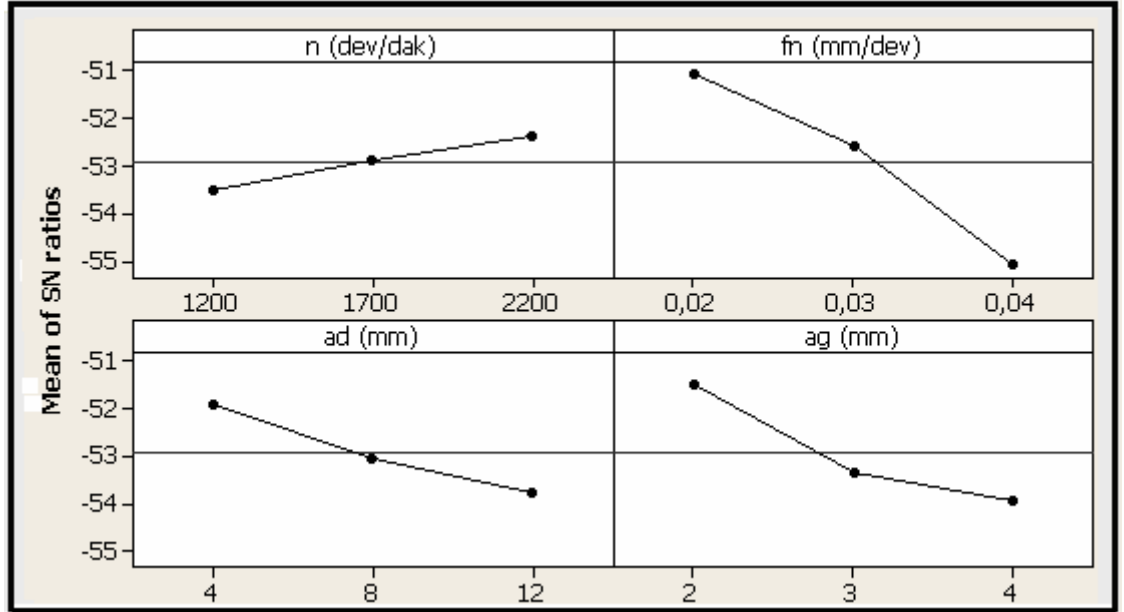
Kesme esnasında oluşan Radyal kuvvetin oluşumunda etkili olan fener mili hızı ve ilerleme oranının etkisi Şekil III.16'da görülmektedir. Ayrıca, Fy'nin (Radyal kuvvet) talaş derinliği ve işleme genişliğine bağlı olarak değişimi Şekil III.17'de görülmektedir. Fx'de olduğu gibi burada da; Fy kuvvetinin oluşmasında dominant faktörün işleme genişliği olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda maksimum Fy kuvvetine, maksimum işleme genişliği olan 4 mm de ve maksimum fener mili hızı ve ilerleme oranında ulaşılrken, minimum Fy kuvvetine 2 mm işleme genişliği ile 0.02 mm/dev ilerleme oranında ve 1200 fener mili hızında ulaşılmıştır. Şekil III.18'de deneysel çalışmada dikkate alınan her bir kontrol faktörünün ve seviyelerinin S/N oranları görülmektedir.



Şekil III.16 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Fener Mili Hızı (n) ve İlerleme Oranına (fn) Bağlı Olarak Oluşan Fy Radyal Kuvvet



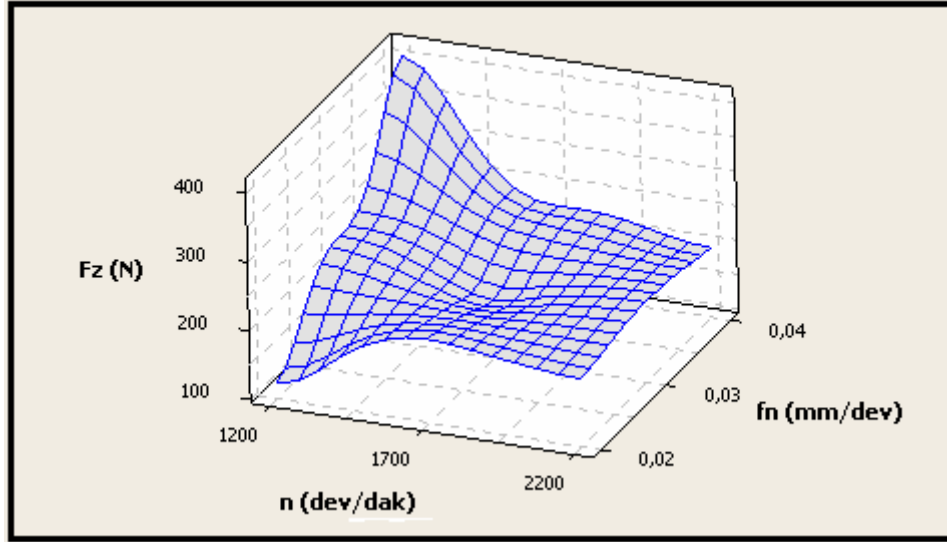
Şekil III.17 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Talaş Derinliği (ad) ve İşleme Genişliğine (ag) Bağlı Olarak Oluşan Fx İlerleme Kuvveti



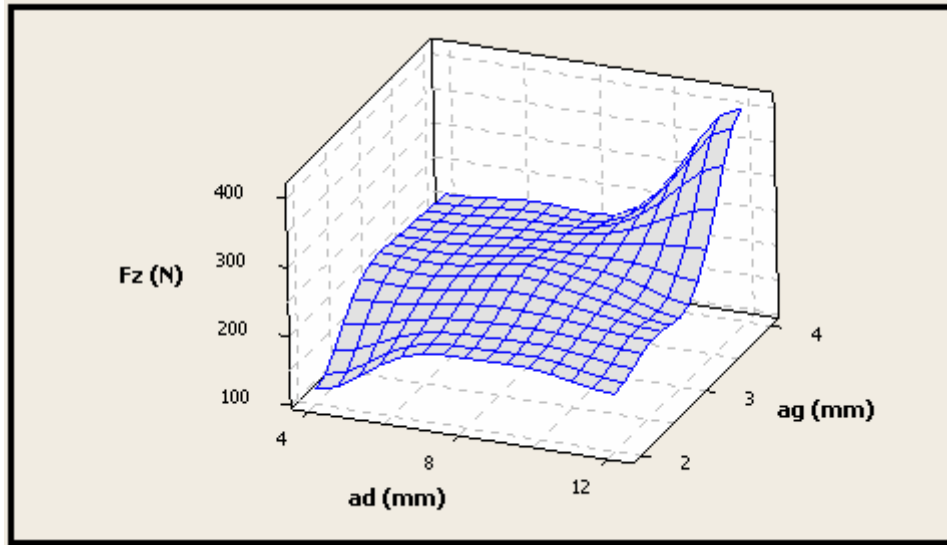
Şekil III.18 Fy İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranlarının Grafikselsunumu

III.4.5. Fz Kuvveti

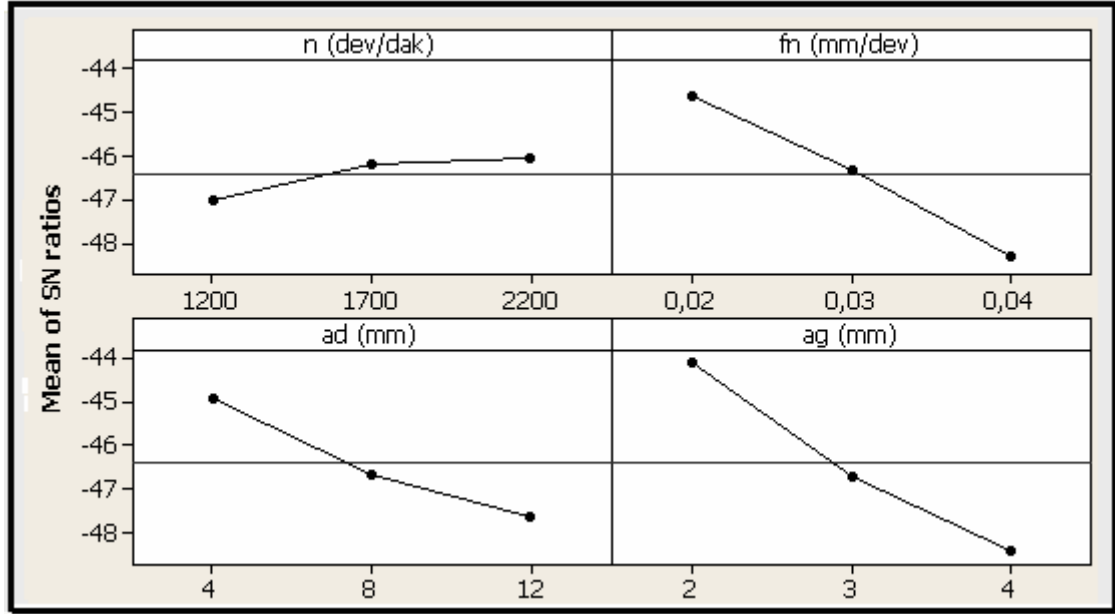
Fz (Eksenel kuvvet) in oluşumunda etkili olan kontrol faktörleri ve bu faktörlere bağlı olarak Fz deki değişim Şekil III.19 ve Şekil III.20’de görülmektedir. Fx ve Fy de olduğu gibi Fz kuvvetini belirleyici olan dominant faktörün işleme genişliği olduğu Şekil III.20’den görülmektedir. Fz için dikkate alınan kontrol faktörlerinin S/N oranları Şekil III.21’de görülmektedir.



Şekil III.19 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Fener Mili Hızı (n) ve İlerleme Oranına (fn) Bağlı Olarak Oluşan Fz, Eksenel Kuvvet



Şekil III.20 90 Derecelik Kenar Frezelemede, Talaş Derinliği (ad) ve İşleme Genişliğine (ag) Bağlı Olarak Oluşan Fz, Eksenel Kuvvet



Şekil III.21 Fz İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranlarının Grafikselsunumu

III.5. TAHMİNİ DEĞERLERİN BELİRLENMESİ

III.5.1. Minimum Ra Değerlerinin Tahmini

Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlardan S/N oranlarına bağlı olarak, yanal yüzey için faktörlerin optimal seviyeleri Tablo III.8’ de ve taban yüzey için de Tablo III.9’da sunulmuştur.

Tablo III.8 Yanal Yüzey İçin Minimum Ra Tahmini

Faktörler	Seviye	Ra yanıt değeri
A	3	0,45
B	1	0,46
C	1	0,60
D	1	0,52

Minitab yazılımı tahminde, Yanal yüzey için minimum Ra değeri 0,21 μm ve S/N oranı ise; 10,71 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar doğrulama deneyi sonuçları ile kıyaslanacaktır. Aynı şekilde taban yüzey için elde edilen minimum Ra tahmin değeri ise 0,50 μm ve S/N oranı ise; 1,65 olarak bulunmuştur.

Tablo III.9 Taban Yüzey İçin Minimum Ra Tahmini

Faktörler	Seviye	Ra yanıt değeri
A	3	1,35
B	1	1,37
C	1	1,45
D	2	1,71

III.5.2. Minimum F Değerlerinin Tahmini

Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlardan S/N oranlarına bağlı olarak, talaş kaldırma esnasında oluşan Fx (İlerleme kuvveti),Fy (Radyal kuvvet) ve Fz (Eksenel kuvvet) kuvvetlerinin optimal seviyeleri Tablo III.10-11 ve 12’de sunulmuştur.

Tablo III.10 Fx İçin Optimal Sonuçlar

Faktörler	Seviye	F yanıt değeri
A	3	214
B	1	174
C	2	216
D	1	117,3

Tablo III.11 Fy İçin Optimal Sonuçlar

Faktörler	Seviye	F yanıt değeri
A	3	415,7
B	1	361
C	1	406
D	1	381

Tablo III.12 Fz İçin Optimal Sonuçlar

Faktörler	Seviye	F yanıt değeri
A	3	200,3
B	1	175,7
C	1	138
D	1	163,7

Minitab ile yapılan minimum kesme kuvvetleri tahminlerinde, Fx için 81 N ve S/N oranı ise -37,87 olarak; Fy için 193 N kuvvet ve -48,04 S/N oranı; Fz için 64,3 N kesme kuvveti ve -40,39 S/N oranı tahmin edilmiştir.

III.5.3. Doğrulama Deneyleri

Yanal yüzeydeki Ra değerlerinin her bir deneysel çalışmada ölçülen sonuçlarına göre çıkarılan S/N oranlarına göre, tahmin edilen optimal S/N oranı ve optimal Ra ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ile bu sonuçların elde edileceği kontrol faktörleri Tablo III.13'te sunulmuştur. Ayrıca, Taban yüzeyin optimal Ra değerleri ise Tablo III.14'te sunulmuştur. Tahmin modelindeki kontrol faktörlerinin seviyelerinin uyduğu deney, yapılan dokuz deney içerisinde olmadığı için, doğrulama deneyi yapılması gerekmektedir. Diğer taraftan, Taguchi yönteminin olmazsa olmazlarından olan doğrulama deneyleri, Taguchi ile işleme performansında optimal koşulların tayini yaklaşımının son aşamasıdır. Böylece, yapılan optimizasyonun doğruluğunun analiz edilme imkanı doğmakta ve hata payı belirlenmektedir. Şartlar elverdiği sürece, doğrulama deneylerinin birkaç kez tekrarı güvenilirliğin sağlanması açısından hayli önem arz etmektedir. Bu durumda, Tablo III.13 ve 14'teki tahmin modelinde kullanılan seviyeler kullanılarak yapılan doğrulama deneyi sonuçları da görülmektedir. Doğrulama deney sonuçları ile tahmini sonuçlar arasında kayda değer farklılık olmasına rağmen, Taguchi optimizasyonun minimum yüzey pürüzlülüğü için işaret ettiği kesme koşullarında, daha önce yapılan dokuz deney sonuçlarından çok daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Bu sonuç, frezelemede yüzey pürüzlülüğü tahmininde Taguchi optimizasyon yönteminin başarı ile uygulandığını göstermektedir.

Tablo III.13 Yanal Yüzey İçin Optimal Ra İçin Proses Parametreleri ve Seviyeleri

	Optimal kuru frezeleme koşulları	
	Tahmin edilen	Doğrulama
deney sonucu		
Seviye	A ₃ B ₁ C ₁ D ₁	A ₃ B ₁ C ₁ D ₁
Ra(μm)	0,21	0,30
Ra için S/N oranı	10,71 dB	15,30 dB

Tablo III.14 Taban Yüzey İçin Optimal Ra İçin Proses Parametreleri ve Seviyeleri

	Optimal kuru frezeleme koşulları	
	Tahmin edilen	Doğrulama
deney sonucu		
Seviye	A ₃ B ₁ C ₁ D ₂	A ₃ B ₁ C ₁ D ₂
Ra(µm)	0.5	0,57
Ra için S/N oranı	1,65 dB	1,88 dB

III.5.4. Fx, Fy ve Fz İçin Optimal Parametrelerin Tahmini

Fx, Fy ve Fz için optimal kesme koşullarının tahmin modelleri ve tahmini sonuçlar sırayla Tablo III. 15, 16 ve 13 de sunulmuştur. Tahmini optimal sonuçlar, yapılan deneysel çalışmada olmadığı için doğrulama deneylerine ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece, Taguchi'nin en küçük en iyidir prensibine göre tasarlanmış olan tahmin modelinin doğruluğu veya hata payı belirlenecektir. Bu durumda aynı tablolarda, tahmin edilen faktör seviyeleri dikkate alınarak deneysel doğrulama deneyleri ile elde edilen sonuçlarda görülmektedir. Taguchi yöntemi ile tahmin edilen Fx, Fy ve Fz kuvvetleri ile doğrulama deney sonuçları birebir örtüşmemekle beraber, tahmini değerlerin hata oranı %10'un altındadır. Bu durumda, yapılan çalışmanın başarılı olduğu söylenebilir. Diğer bir sonuç ise, Taguchi optimizasyon yönteminin, frezelemede başarı ile uygulanabildiği bu çalışmanın sonuçlarından biridir.

Tablo III. 15 Optimal Fx İçin Proses Parametreleri ve Seviyeleri

	Optimal kuru frezeleme koşulları	
	Tahmin edilen	Doğrulama
deney sonucu		
Seviye	A ₃ B ₁ C ₂ D ₁	A ₃ B ₁ C ₂ D ₁
Fx(N)	81	86
Fx için S/N oranı	-37,8779 dB	-37,9651 dB

Tablo III.16 Optimal Fy İçin Proses Parametreleri ve Seviyeleri

	Optimal kuru frezeleme koşulları	
	Tahmin edilen	Doğrulama
deney sonucu		
Seviye	A ₃ B ₁ C ₁ D ₁	A ₃ B ₁ C ₁ D ₁
Fy(N)	193	201
Fy için S/N oranı	-48,0439 dB	-48,3691 dB

Tablo III.17 Optimal Fz İçin Proses Parametreleri ve Seviyeleri

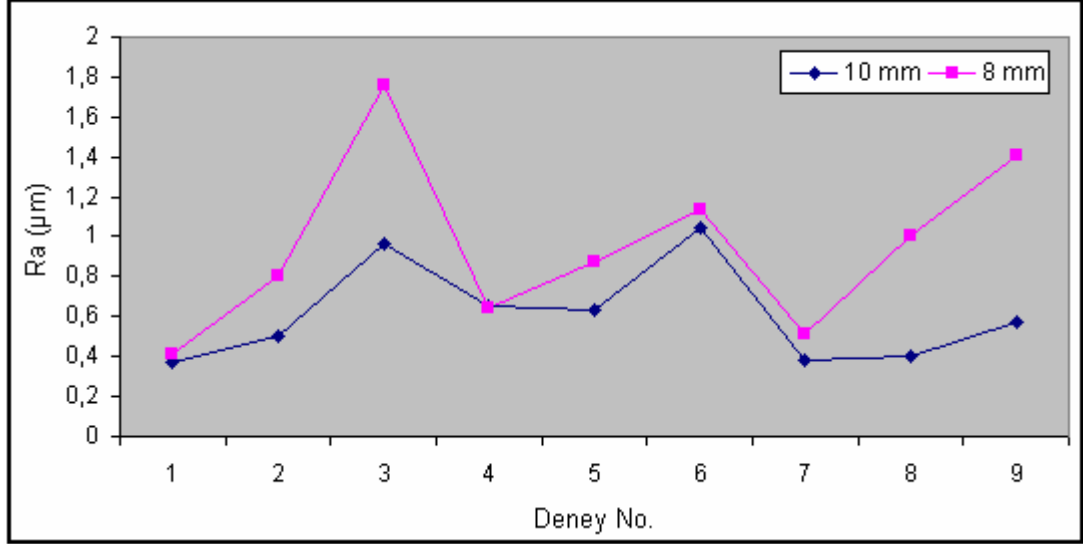
	Optimal kuru frezeleme koşulları	
	Tahmin edilen	Doğrulama
deney sonucu		
Seviye	A ₃ B ₁ C ₁ D ₁	A ₃ B ₁ C ₁ D ₁
Fz(N)	64	80
Fz için S/N oranı	-40,3901 dB	-41,4012 dB

III.6. KESİCİ TAKIM ÇAP DEĞİŞİMİNİN Ra OLUŞUMUNA VE KESME KUVVETLERİ OLUŞUMUNA ETKİSİNİN İRDELENMESİ

Kesici takımın çap olarak büyümesi veya küçülmesinin kesme esnasında meydana gelen titreşimi ve iş parçası üzerinden kaldırılan talaş hacmini etkilemesi nedeniyle; kesme prosesinde kesilen iş parçası yüzeyinde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğüne ve kesme esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerine etkisi olmaktadır. Bu bölümde 10 mm çapında ve 8 mm çapındaki parmak freze ile yapılan frezeleme prosesi sonucunda oluşan Ra değerleri ve Fx, Fy ve Fz değerlerine etkisi irdelenmiştir.

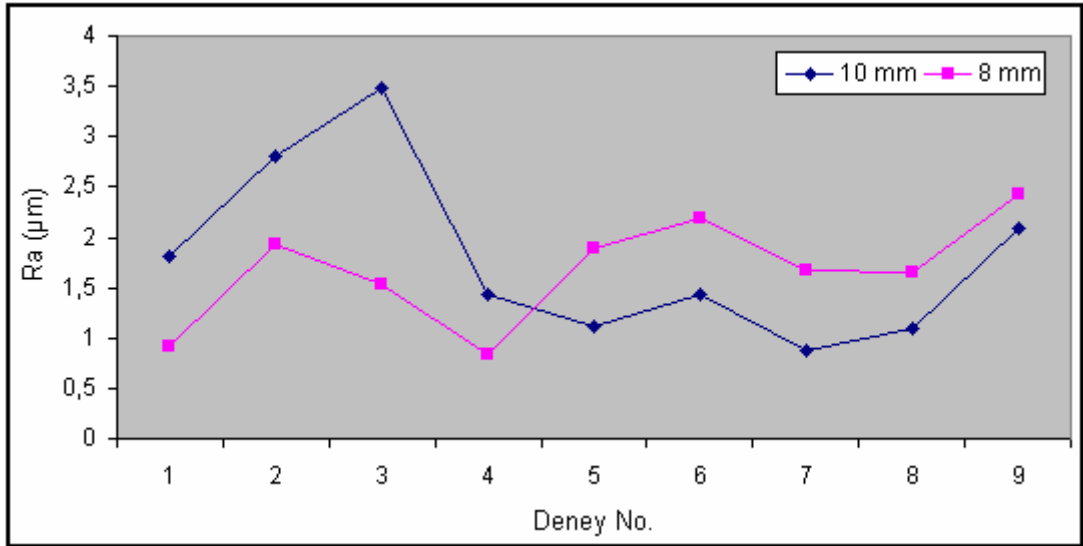
Şekil III.22’de iş parçası yanal yüzeyinde oluşan Ra değerinin oluşumuna kesici takım çap değişiminin etkisi görülmektedir. Her bir deney için çap değişiminin etkisinin görüldüğü şekil de; küçük çaplı kesici takım ile yapılan dokuz deneyde ve dolayısı ile değişik kesme şartlarında; ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin büyük çaplı (10 mm) kesici takım ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerine göre daha fazla çıktığı görülmektedir. Oluşan farklılıkların lineer olmadığı ve kesme parametrelerinin değişiminden etkilendiği görülmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki farklılığın en fazla olduğu deneyler olan 3. ve 9.

deneylerin ortak noktaları; ilerleme oranının (f_n) maksimum değer olan 0,04 mm/dev de yapılmış olmasıdır. Bu durum, kesici takım çap değişiminin, ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından irdelendiğinde en fazla etkiyi yüksek ilerlemelerde gösterdiğinin kanıtıdır.



Şekil III.22 Yanal Yüzeydeki Ra Oluşumuna Kesici Takım Çap Değişiminin Etkisi

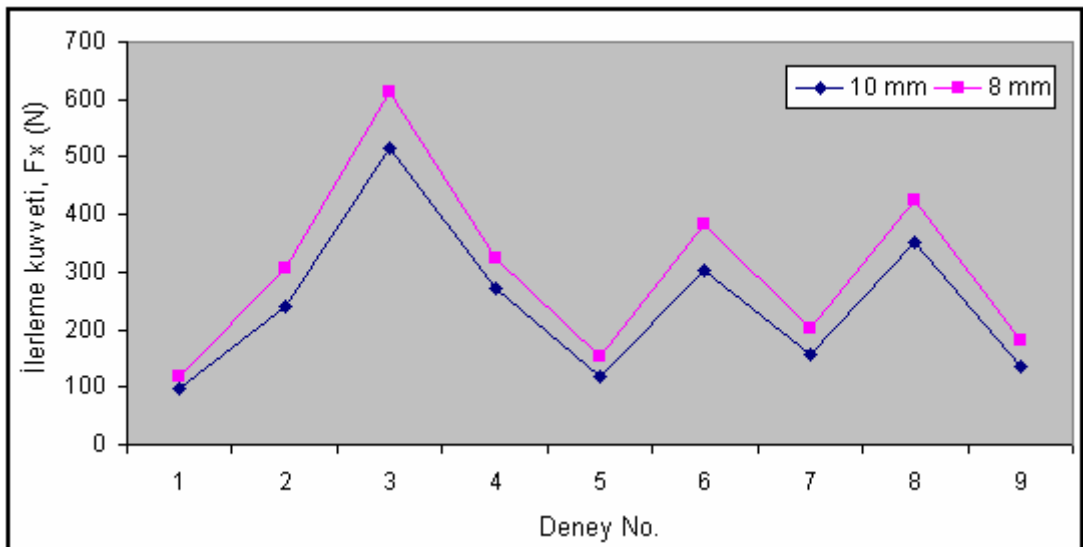
Şekil III.22.'de Al 7075 alaşım malzemesinin parmak freze ile kuru işlenmesinde parmak freze çapının taban yüzeyin işlenme kalitesine etkisini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi, kesici takım çap değişiminin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi açık şekilde görülmektedir. Şekil III.23'te görüldüğü gibi, ilk üç deneyde küçük çaplı parmak freze ile işlenen yüzeyin pürüzlülük değerinin daha az olduğu görülmektedir. Aynı deneylerde 10 mm lik kesici takım ile elde edilen pürüzlülük değeri daha yüksek çıkmaktadır. İlk üç deneyde düşük fener mili devri (1200 dev/dak) ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Ancak, sonraki deneylerde fener mili hızı 1700 dev/dak ve 2200 dev/dak'ya yükseltilmiş bu durumda, titreşim artmış ve küçük çaplı kesici takım ile meydana gelen salınım artarak; işlenen yüzeyin pürüzlülük değeri, büyük çaplı kesici takıma göre daha fazla olmuştur. Taban yüzey pürüzlülüğü farklılığının en az olduğu deneyler ise; 4. ve 9. deneylerdir. Her iki deneyde de işleme genişliği 8 mm dir.



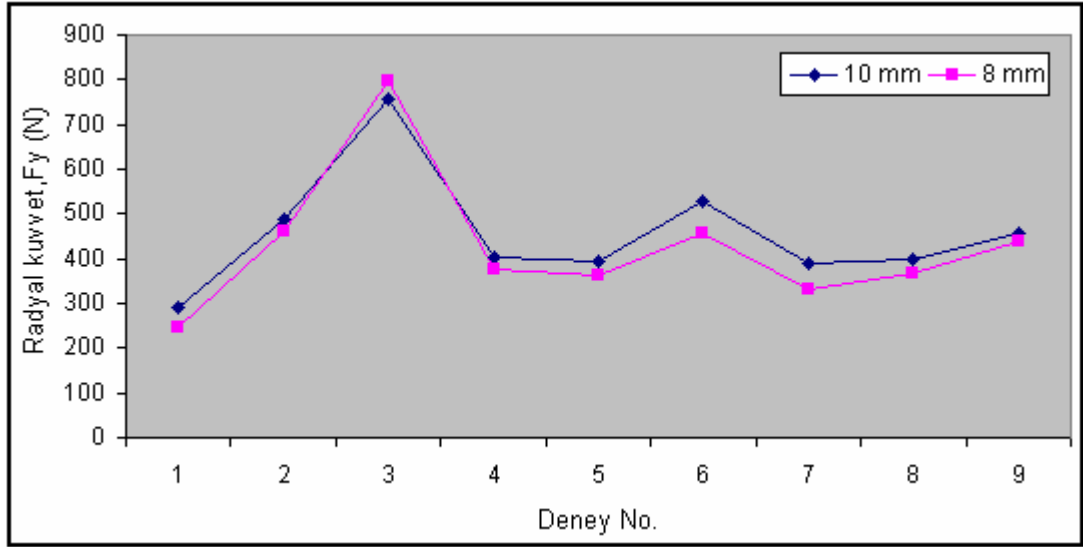
Şekil III.23 Taban Yüzeydeki Ra Oluşumuna Kesici Takım Çap Değişiminin Etkisi

Parmak freze ile frezeleme işlemlerinde, yüksek fener mili hızlarında parmak freze çapının büyümesinin, işlenen yüzeyin kalitesini arttırdığı yapılan çalışma sonucunda ulaşılan önemli bir gözlem olmuştur.

Şekil III.24 'te, diğer tüm işleme şartları aynı alınarak, sadece parmak freze çapının değişiminin; maksimum ilerleme kuvvetindeki (F_x) değişime etkisi görülmektedir. Yapılan tüm deneylerde, büyük çaplı parmak freze ile elde edilen ilerleme kuvveti, küçük çaplı parmak freze ile elde edilene göre küçük çıkmıştır. Aradaki farklılık, ilerleme kuvvetinin düşük olduğu deneylerde daha az, ilerleme kuvvetinin yüksek olduğu deneylerde daha fazla olmuştur.

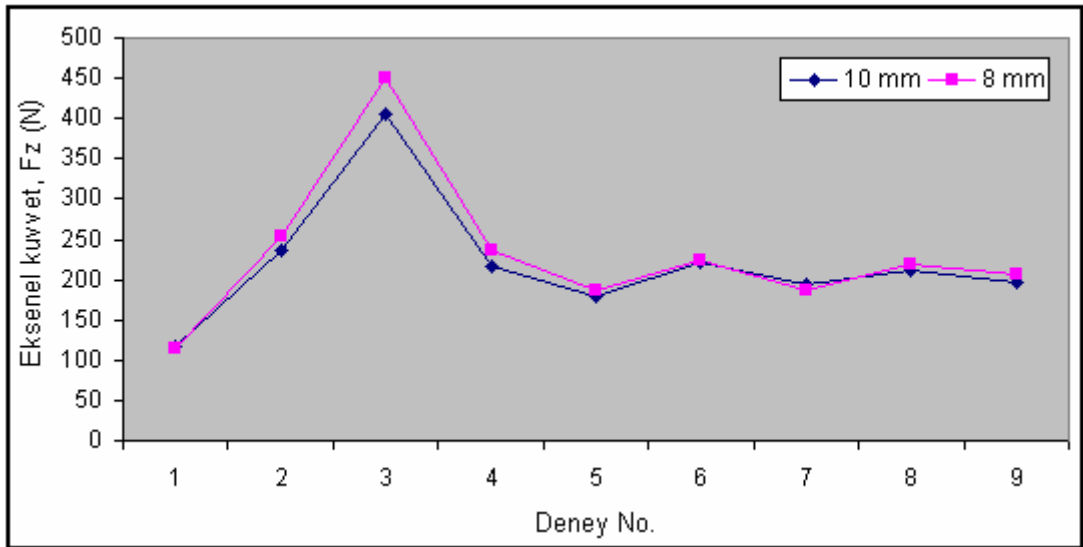


Şekil III.24 Kesme Esnasında İlerleme Kuvveti (F_x) Oluşumuna Kesici Takım Çap Değişiminin Etkisi



Şekil III.25 Kesme Esnasında Radyal Kuvvet (F_y) Oluşumuna Kesici Takım Çap Değişiminin Etkisi

Şekil III.25 ve Şekil III.26'da, parmak freze çapındaki değişimin Radyal kuvvet (F_y) ve Eksenel Kuvvet (F_z) oluşumuna etkisi görülmektedir. Şekillerden de anlaşıldığı gibi, Radyal ve Eksenel kuvvet oluşumunda, parmak freze çapının değişiminin dominant etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, birçok deneyde 8 mm çaplı parmak freze ile daha düşük radyal kuvvet oluştuğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, 10 mm çaplı parmak freze ile de daha düşük eksenel kuvvet oluştuğu yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar arasında sayılabilmektedir.



Şekil III.26 Kesme Esnasında Eksenel Kuvvet (F_z) Oluşumuna Kesici Takım Çap Değişiminin Etkisi

BÖLÜM IV

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Yüksek teknoloji ile donatılmış alet, cihaz ve araçların yapımında tercih edilen Al 7075 alaşım malzemesinin parmak freze ile işlenmesinde optimal yüzey kalitesi ve minimal kesme kuvvetlerine ulaşma amacı ile yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Al 7075 alaşım malzemesinin, herhangi bir soğutucu sıvı kullanmaksızın DLC kaplamalı parmak freze ile işlenmesinde, işlenen iki yüzeyde oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri beklentileri karşılamıştır. Uygun kesme parametrelerinin tayini ile yüzey pürüzlülük değerleri 1 μm 'nin altına indirilebilmiştir. Yanal ve taban yüzeyde, ortalama pürüzlülük değerinin oluşumunda dominant etkiye sahip olan kontrol faktörü ilerleme oranı olmuştur. İlerleme oranının artışına bağlı olarak pürüzlülük değerlerinde artış olmuştur. Ortalama pürüzlük oluşumunda, ikincil etkiye sahip kontrol faktörü ise, fener mili hızı olmuştur. Pürüzlülüğün oluşumunda en az etkiye sahip faktör talaş derinliğidir. Yanal yüzeyde ve taban yüzeyde oluşan ortalama pürüzlülük değerleri; Taguchi optimizasyon tekniğinin kullanılması ile minimal seviyeye indirilebilmiştir. Bu çalışma, parmak freze ile kuru frezeleme prosesinde Taguchi Yönteminin etkin bir optimizasyon yöntemi olarak kullanılabilceğini göstermiştir.
- DLC kaplamalı parmak freze kuru işleme esnasında oluşan, F_x (İlerleme kuvveti), F_y (Radyal kuvvet) ve F_z (Eksenel kuvvet) kuvvetleri dinamometre ile ölçülerek kontrol faktörlerinin bu kuvvetlerin oluşumunda etkisi gözlemlenmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde, F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinin oluşumunda dominant etkiye sahip kontrol faktörlerinin işleme genişliği (a_g) ve ilerleme oranı (f_n) olduğu gözlemlenmiştir. Bu faktörlerdeki değişimin kuvvetler üzerinde etkisi hayli önemlidir. Diğer

taraftan, bu kuvvetlerin oluşumunda minimal etkiye sahip kontrol faktörleri ise talaş derinliği (ad) ve fener mili hızı (n) olmuştur.

- Bu çalışmadan elde edilen diğer bir önemli sonuç ise, parmak freze çapındaki değişimin hem işlenen yüzeylerde ortalama yüzey pürüzlülüğü oluşumuna hem de kuvvetlerin oluşumuna etkisinin gözlemlenmiş olmasıdır. Çap 8 ve 10 mm iki DLC kaplamalı parmak freze ile yapılan deneylerde; düşük fener mili hızlarında küçük çaplı parmak freze ile daha düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü elde edilirken, fener mili hızının yükselmesi ile birlikte, büyük çaplı parmak freze ile hem yanal hem de taban yüzeyde daha düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilmiştir. Diğer taraftan, büyük çaplı parmak freze ile işlemede daha düşük ilerleme kuvveti (Fx) oluşmuştur. Fy ve Fz oluşumunda ise parmak freze çap değişiminin etkisi dominant etkiye sahip değildir.

KAYNAKLAR

- [1] Hüseyinoğlu, M., Tosun, N. : “ 7075 Al Alaşımının frezelenmesinde minimumsoğutma yüzey pürüzlülüğüne etkisi” 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs, Karabük,Türkiye. **(2009)**
- [2] Kagiya, Y., Tsuda, K., Fukui, H., Iyori, H. ve Yamagata, K., “Development of DLC Coating Film (AURORACOAT) and its Application to Tools” Sei Technical Review , No 55, 89-94, **(2003)**
- [3] Ingram, D.C.: “Diamondlike Carbon (DLC): Its Fabrication, Analysis And Modification By Ion Beams”, Materials Science Forum, Cilt 52-53, 475-494, **(1990)**
- [4] Aisenberg, S., Kimock, F. M.: “Ion Beam and Ion-Assisted Deposition of Diamond-Like Carbon Films” , Materials Science Forum, Cilt 52-53, 1-40, **(1990)**
- [5] Vandeveld, T. C. S., Vandierendonck, K., Van Stappen, M., Du Mong, W., Perremans, P.: “Cutting Applications of DLC, Hard Carbon and Diamond Films” Surface and Coatings Technology, Cilt 113, No 1, 80–85, **(1999)**
- [6] Trava-Airoldi, V. J., Bonetti, L. F., Capote, G., Santos, L.V., Corat,E.J., “A comparison of DLC film properties obtained by r.f. PACVD, IBAD, and enhanced pulsed-DC PACVD”, Surface and Coatings Technology, Cilt 202,Sayı 3, 549–554,**(2007)**
- [7] Ueng, H. Y., Guo, C. T., Dittrich, K.H., “Development of A Hybrid Coating Process For Deposition Of Diamond-Like Carbon Films on Microdrills”, Surface & Coatings Technology, Cilt 200, 2900– 2908, **(2006)**
- [8] Chen W.-C.; Tsao C.-C.”Cutting Performance Of Different Coated Twist Drills” Journal of Materials Processing Technology, Cilt 88, No 1, 203-207, **(1999)**
- [9] Lee, S. K., Ko, S.L.: “Improvement of The Accuracy in The Machining of A Deep Shoulder Cut By End Milling”, Journal of Materials Processing Technology, Cilt 111, No 1-3,244-249, **(2001)**

- [10] Law, K.M.Y., Geddam, A.: “Error Compensation In The End Milling Of Pockets: A Methodology”, Journal of Materials Processing Technology, Cilt 139, No 1, 21-27, **(2003)**
- [11] Law, K., M. Y., Geddam, A.: “Prediction Of Contour Accuracy In The End Milling Of Pockets”, Journal of Materials Processing Technology, Cilt 113, No 1-3, 399-405, **(2001)**
- [12] Kurt, M., Bagci, E., Kaynak, Y.: “Application Of Taguchi Methods In The Optimization Of Cutting Parameters For Surface Finish And Hole Diameter Accuracy In Dry Drilling Processes”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Cilt 40, No 5-6, **(2009)**
- [13] Veeramani, D., Gau, Y.S.: “Selection Of An Optimal Set Of Cutting-Tool Sizes For 21/2D Pocket Machining”, Computer-Aided Design, Cilt 29, No 12, 869-877, **(1997)**
- [14] Yang, J.L., Chen, J. C.: “A Systematic Approach for Identifying Optimum Surface Roughness Performance in End-Milling Operations”, Journal of Industrial Technology, Cilt 17, No 2, 1-8, **(2001)**
- [15] Tekeli, A. ve Budak, E.: "Maximization Of Chatter-Free Material Removal Rate In End Milling Using Analytical Methods", Machining Science And Technology, Cilt 9, No 2, 147-167, **(2005)**
- [16] Yang, J.L., Chen, J. C.: “A Systematic Approach for Identifying Optimum Surface Roughness Performance in End-Milling Operations”, Journal of Industrial Technology, Cilt 17, No 2, 1-8, **(2001)**
- [17] Davim, J.P.: “A Note On The Determination Of Optimal Cutting Conditions For Surface Finish Obtained In Turning Using Design Of Experiments”, Journal of Materials Processing Technology, Cilt 116, No 2, 305-308, **(2001)**
- [18] Roy, R. K., “A Primer On The Taguchi Method”, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan, 7-80 **(1990)**
- [19] Danacıoğlu, N. ve Muluk, Z.: “Taguchi Teknikleri”, İstatistik Konferansı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 261-272, **(1999)**
- [20] Kurt, M., Bagci, E., Kaynak, Y., “Application Of Taguchi Methods In The Optimization Of Cutting Parameters For Surface Finish And Hole Diameter Accuracy In Dry Drilling Processes”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Cilt 40, No 5-6, 458-469, **(2009)**

ÖZGEÇMİŞ

Yalçın SEYMEN

KİMLİK BİLGİLERİ

Doğum tarihi : 07.01.1978

Doğum yeri : İstanbul

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lise : Bahçelievler Teknik Lisesi Makine Bölümü - 1996

Lisans : M.Ü.Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstr. Öğrt. – 2001

Yüksek Lisans : M.Ü.F.B.E. Makine Eğitimi Anabilmi Dalı_ 2009

Halen Çalıştığı Kurum: KAS Kayalar Pres

Yabancı Dil : İngilizce

Çalışma Alanı : AR-GE, İmalat

E-posta : seymenylcn@hotmail.com