

**DELİK DELME İŞLEMLERİNDE KESME PARAMETRELERİNE
BAĞLI OLARAK OLUŞAN SICAKLIĞIN MODELLENMESİ**

Ramazan ÇAKIROĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2011

ANKARA

Ramazan ÇAKIROĞLU tarafından DELİK DELME İŞLEMLERİNDE KESME PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK OLUŞAN SICAKLIĞIN MODELLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Adem ACIR
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Adem ACIR
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. İhsan KORKUT
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç. Dr. Tayfun FINDIK
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih 16/05/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ramazan ÇAKIROĞLU

**DELİK DELME İŞLEMLERİNDE KESME PARAMETRELERİNE BAĞLI
OLARAK OLUŞAN SICAKLIĞIN MODELLENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Ramazan ÇAKIROĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mayıs 2011

ÖZET

Bu çalışmada, Al6061 malzemesinin kuru kesme şartlarındaki delme performansı araştırılmıştır. Performans göstergesi olarak kesme hızı, ilerleme oranı ve kesici takım giriş parametreleri olarak belirlenmiştir. Çıkış parametresi olarakta kesme kuvveti ve takım talaş ara yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri analiz edilmiştir. Deneyler üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak deney çalışmasında deney seti Taguchi L_{18} (2^*1-3^*2) ortogonal dizini esas alınarak deney düzeneği hazırlanmıştır. İkinci olarak kaplamasız ve kaplamalı (TiN/TiAl/TiCN) kesici takımlarda üç farklı ilerleme oranı (0,1-0,2-0,3 mm/rev) ve kesme hızı (170-200-230 m/min) kullanılarak deneyler yapılmıştır. Kesme kuvvetleri Kistler 9257 B model dinamometre yardımıyla, takım talaş ara yüzeyinde oluşan sıcaklık da K tipi ısı çifti ile eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda kesme kuvvetlerinin ortalaması, sıcaklıkların ise maksimum değerleri alınmıştır. Üçüncü aşama olarak; elde edilen deney verileri kullanılarak Taguchi, Regresyon, ANOVA (varyans analizi) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri ile optimizasyon yapılarak yeni modeller geliştirilmiştir. Taguchi Metodu yardımıyla en uygun kesme parametreleri bulunmuştur. İstatistiksel yöntemlerle kesme kuvveti ve sıcaklık için I. ve II. derece regresyon denklemleri ile modellenmiştir.

Modelde faktörlerin etkinliği ANOVA ile tespit edilmiştir. YSA modeli ile de kesme parametrelerinin seçimini optimize eden modeller geliştirilmiştir. Deney sonuçları ile tahmin değerlerinin karşılaştırılmasında en iyi sonuç YSA modeliyle elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 708.1.094
**Anahtar Kelimeler : Delme, kesme kuvvetleri,
kesme sıcaklığı, Taguchi, ANOVA, Regresyon, YSA**
Sayfa Adedi : 96
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Adem ACIR

**MODELLING OF THE TEMPERATURE GENERATED BASED ON THE
CUTTING PARAMETERS IN DRILLING OPERATIONS**

(M.Sc. Thesis)

Ramazan ÇAKIROĞLU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

May 2011

ABSTRACT

In this study, Al6061 material drilling performance has been investigated in dry cutting conditions. Cutting speed, feed rate and cutting tool were determined for input parameters. Cutting forces and temperatures values were analysed for output parameters. Experiments were performed in three step. In the first degree, in the first step, the experimental equipment were prepared according to the Taguchi L_{18} (2^*1-3^*2) orthogonal index. In the second step, drilling tests were carried out using three different cutting speeds (170-200-230 m/min) and three different feed rates (0,1-0,2-0,3 mm/rev) with uncoated and coated (TiN/TiAl/TiCN) cutting tools. Cutting forces and temperatures were measured in synchronous with Kistler 9257 B dynamometer and K-type thermocouple. After the measure, average cutting forces and maximum temperature values have acquired. In the third step, new models have been developed by optimization with Taguchi, regression and ANN models. The most appropriate cutting parameters were found with the help of Taguchi Method. First and second degree regression equation for cutting force and temperature were modelled with statistical methods. The effectiveness of the factors in the model was determined by ANOVA.

ANN models were developed to optimize the selection of cutting parameters in the model. The best results were obtained with ANN model from the comparison of estimated values.

Science Code : 708.1.094

Key Words :Drilling, Cutting forces, Cutting temperature, Taguchi, ANOVA, Regression ,ANN

Page Number : 96

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Adem ACIR

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danıőmanım Doç. Dr. Adem ACIR'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım değerli hocalarım Yrd. Doç Dr. Yakup TURGUT, Yrd. Doç. Dr. Alaatin KAÇAL, Arő. Gör. Gültekin UZUN'a, deneysel çalıőmalarımda katkı sağlayan değerli arkadaőım, Uzman Selçuk YAĞMUR'a ve maddi, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkür ederim.

Ayrıca 07/2010-24 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na da teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLERix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	.xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİxiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	.xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	.xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. TALAŞ KALDIRMA VE DELİK DELME.....	15
3.1. Matkaplar.....	16
3.2. Matkap Kuvvetleri.....	18
3.2.1. Kesme kuvveti.....	18
3.2.2. İlerleme kuvveti.....	19
3.3. Talaş Kaldırma Esnasında Oluşan Isı ve Sıcaklık Dağılımı	21
3.3.1. Talaş kaldırma esnasında oluşan ısı	22
3.3.2. Isı iletim genel denklemini	24
3.3.3. Kesme hızının sıcaklık üzerine etkisi	25
3.4. Sıcaklık Ölçümünde Kullanılan Veri Kaydediciler ve Isıl Çiftler.....	26
3.4.1. Veri kaydedici	26
3.4.2. Isıl çift.....	27

Sayfa

3.5. Alüminyum ve Alaşımlarının İşlenebilirliği	30
4. DENEYSEL TASARIM VE MODELLEME TEKNİKLERİ	31
4.1. Taguchi Metodu	32
4.1.1. Sistem tasarımı	32
4.1.2. Parametre tasarımı.....	33
4.1.3. Tolerans tasarımı.	34
4.1.4. Taguchi'nin Sinyal/Gürültü oranları.....	35
4.1.5. Uygun ortogonal düzenin seçilmesi.....	36
4.1.6. Varyans analizi.....	37
4.1.7. Doğrulama deneylerinin yapılması.....	38
4.2. Yapay Sinir Ağları	38
4.2.1. Yapay sinir ağı hücresi	40
4.2.2. Yapay sinir ağlarını oluşturan temel elemanlar.....	41
4.2.3. Girdiler.....	41
4.2.4. Ağırlıklar.....	41
4.2.5. Toplama fonksiyonu.....	41
4.2.6. Aktivasyon fonksiyonları.....	42
4.3. Yapay Sinir Ağları Topolojisi.....	43
4.4. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi.....	45

Sayfa

5. MALZEME VE METOT	46
5.1. Deneyde Kullanılan İş Parçası Malzemesi ve Özellikleri	46
5.2. Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar.....	47
5.3. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi	48
5.4. Deneyde Kullanılan Sıcaklık Ölçüm Cihazları	48
5.5. CNC Freze Tezgahı.....	49
5.6. Kesme Parametreleri	49
5.7. Deney Düzeneği	50
5.8. Ölçüm Sonuçları	53
6. DENEY VE MODEL SONUÇLARI.....	54
6.1. Delme Esnasında Matkap Yüzeyinde Oluşan Sıcaklığının Değerlendirilmesi.....	54
6.2. Delme Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	57
6.3. Sonuçların Taguchi Metodu ile Analiz Edilmesi ve Değerlendirilmesi.....	60
6.3.1. ANOVA ile parametrelerin değerlendirilmesi.....	62
6.3.2. Regresyon modeli ile kesme kuvveti ve sıcaklığın tahminsel denklemi	64
6.3.3. Doğrulama deneyleri ve sonuçları	65
6.4. Deney Sonuçlarının YSA İle Analizi ve Değerlendirilmesi	67
6.5. Deney sonuçlarının YSA ve Regresyon İle Karşılaştırılması.....	75
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	96

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.2. K değerleri.....	20
Çizelge 3.3. Bazı ısı çift çeşitleri.....	28
Çizelge 3.4. Isıl çiftlerin eleman çaplarına göre sıcaklık dağılımı.....	29
Çizelge 5.1. Alüminyum 6061 alaşımının kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)	47
Çizelge 5.2. Deneyleerde kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri	48
Çizelge 5.3. Deneyleerde kullanılan tezgahın teknik özellikleri	49
Çizelge 5.4. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri.....	50
Çizelge 5.5. Deneyle faktörleri ve seviyeleri	51
Çizelge 5.6. Taguchi L_{18} deneyle düzeni	51
Çizelge 5.7. Deneyleysel çalışmadaki girdilere bağılı olarak elde edilen çıktılar	53
Çizelge 6.1. Taguchi L_{18} Deneyle Tasarımına göre deneyle sonuçları ve S/N oranları	61
Çizelge 6.2. Kesme kuvveti değerlerine göre ANOVA sonuçları	63
Çizelge 6.3. Sıcaklık değerlerine göre ANOVA sonuçları	63
Çizelge 6.4. Kesme kuvveti için optimal seviyeler	66
Çizelge 6.5. Sıcaklık için optimal seviyeler	66
Çizelge 6.6. Kaplamasız matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri	71
Çizelge 6.7. Kaplamalı matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri	72
Çizelge 6.8. Kaplamasız matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri	73
Çizelge 6.9. Kaplamalı matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri	79

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.10. Deney sonuçları üzerinde YSA ve Regresyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	76
Çizelge 6.11. Test için ayrılan deney sonuçları ile tahmin sonuçları.....	78
Çizelge 6.12. Kaplamasız takımda kesme kuvveti için YSA ve Regresyon modeline ait istatistiksel veriler.....	82
Çizelge 6.13. Kaplamalı takımda kesme kuvveti için YSA ve Regresyon modeline ait istatistiksel veriler.....	83
Çizelge 6.14. Kaplamasız takımda sıcaklık için YSA ve Regresyon modeline ait istatistiksel veriler.....	83
Çizelge 6.15. Kaplamasız takımda sıcaklık için YSA ve Regresyon modeline ait istatistiksel veriler.....	84

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Takım modeli ve ortogonal kesme.....	15
Şekil 3.2. Delik delme işlemi	16
Şekil 3.3. Helis matkaplar	17
Şekil 3.4. Matkap takımının geometrisi	17
Şekil 3.5. Matkabın tezgâha bağlanmış alttan görünümü	18
Şekil 3.6. Takım ucunu etkileyen kuvvetler	18
Şekil 3.7. Talaş kaldırma işleminde oluşan ısı üretim bölgelerinin gösterilmesi	21
Şekil 3.8. Metal işlemede oluşan ısı dağılımı ve sıcaklık bölgesi.....	21
Şekil 3.9. Kesme kuvvet diyagramı.....	22
Şekil 3.10. Düzlemsel yüzeylerde dV diferansiyel kontrol hacmi	24
Şekil 3.11. Isıl çiftlerde sıcak ve soğuk nokta sıcaklığının önemi	27
Şekil 4.1. Basit bir sinir hücresi.....	38
Şekil 4.2. Sinir sisteminde bilgi akışı	39
Şekil 4.3. Temel yapay sinir ağı hücresi	40
Şekil 4.4. Tam bağıntılı çok katmanlı ağ yapısı	44
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	52
Şekil 6.1. Her bir kesme hızı için ilerlemeye bağlı olarak sıcaklık değişimi.....	55
Şekil 6.2. Her bir ilerleme oranı için kesme hızına bağlı olarak sıcaklık değişimi	55
Şekil 6.3. Her bir kesme hızı için ilerlemeye bağlı olarak kuvvet değişimi	59

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. Her bir ilerleme oranı için kesme hızına bağlı olarak sıcaklık değişimi.....	59
Şekil 6.5. Kesme kuvveti için kontrol faktörlerinin S/N oranları	61
Şekil 6.6. Sıcaklık için kontrol faktörlerinin S/N oranları	62
Şekil 6.7. Kaplamasız takım için ağ yapısı.....	68
Şekil 6.8. Kaplamalı takım için ağ yapısı	68
Şekil 6.9 Kaplamasız takım için ağ yapısı	69
Şekil 6.10. Kaplamalı takım için ağ yapısı	69
Şekil 6.11. Kesme parametrelerine göre Deney, YSA ve Regresyon kuvvet sonuçları.....	77
Şekil 6.12. Kesme parametrelerine göre Deney, YSA ve Regresyon sıcaklık sonuçları.....	77
Şekil 6.13. Kesme kuvveti test sonuçları.....	79
Şekil 6.14. Kesme sıcaklığı test sonuçları	79
Şekil 6.15. Kesme kuvveti için deney sonucu, YSA, Regresyon eğitim ve test sonuçları	81
Şekil 6.16. Kesme sıcaklığı için deney sonucu, YSA, Regresyon eğitim ve test sonuçları.....	82
Şekil 6.17. Kesme kuvvetinin YSA ve Regresyon performansı	85
Şekil 6.18. Sıcaklık için YSA ve Regresyon performansı	85

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. KISTLER 9272 tipi dinamometre.....	48
Resim 5.2. Soğutma delikleri boyunca ısı çift yerleştirilmiş matkap.....	49
Resim 5.3. Deney düzeneğinin fotoğrafik gösterimi	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
a_p	Kesme derinliği (mm)
A	Talaş kesiti (mm^2)
b	Talaş genişliği (mm)
d	Matkap çapı (mm)
f	İlerleme (mm/dev)
F_{pi}	Eksenel kuvvet (N)
F_r	Radyal kuvvet (N)
F_z	Kesme kuvveti (N)
F_v	İlerleme kuvveti (N)
F_s	Kayma düzlemine paralel kuvvet (N)
F_n	F_s 'ye dik kuvvet (N)
h1	Teorik talaş kalınlığı (mm)
h2	Deformasyona uğramış talaş kalınlığı (mm)
K_c	Özgül kesme kuvveti (N/mm^2)
Kr	Yanaşma açısı ($^\circ$)
L	İşleme kurs boyu (mm)
M_z	Toplam kesme momenti (Nm)
n	Devir sayısı (mm/dev)
r	Matkap uç yarı çapı (mm)
P_c	Kesme gücü (Kw)
P	Tezgah için gerekli güç (Kw)
P_m	Tezgah gücü (Kw)
t_h	Esas işleme zamanı (dak)
V	Kesme hızı (m/dak)
Vf	Nüfuziyet Hızı
α	Boşluk açısı ($^\circ$)

Simgeler**Açıklama**

β	Kama açısı ($^{\circ}$)
ϵ	Kayma açısı ($^{\circ}$)
γ	Talaş Açısı ($^{\circ}$)
ψ	Uç açısı ($^{\circ}$)
ϕ	Enine kesici kenar açısı ($^{\circ}$)
θ	Helis açısı ($^{\circ}$)
η	Verim
ω	Açısal hız (mm/dev)

Kısaltmalar**Açıklama**

CMM	Koordinat Ölçme Cihazı (Coordinate Measuring Machine)
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Denetim (Computer Numerical Control)
Co	Kobalt
DLC	Karbon Benzeri Elmas (Diamond Like Carbon)
DIN	Alman Enstitüsü (Deutsche Industrie Norm)
FEM	Sonlu Elemanlar Metodu (Finite Element Method)
HSS (YHÇ)	Yüksek Hız Çeliği (High Speed Steel)
HRc	Brinell Sertlik (Brinell Hardness)
IEC	International Electrotechnical Commission
NC	Sayısal denetim (Numerical Control)
MQL	Minimum Yağlama Miktarı (Minimum Quantity Lubrication)
PVD	Fiziksel Buhar Çökeltme (Physical Vapour Deposition)
SEM	Tarama Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrit
TS	Türk Standartları
TiN	Titanyum Nitrür
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Matkapla delik delme, imalat sektöründe tornalama ve frezeleme gibi oldukça yaygın olarak kullanılan talaşlı üretim türlerinden biridir. Bütün talaşlı imalat türlerinde yapılan araştırmalarda olduğu gibi, matkapla delik delmede de uygun kesme şartlarının ve kesici takım ömrünün belirlenmesi vardır. Araştırmalarda, matkapla delinen parçanın malzeme özelliği, kesici takımın cinsi/malzemesi, kesme derinliği, ilerleme oranı, devir sayısı gibi özellikler önem arz etmektedir. Bu faktörlere bağlı olarak ortaya çıkan bir başka önemli değerde sürtünme sonucu ortaya çıkan sıcaklıktır. Sıcaklık burada oldukça önemli bir faktördür; çünkü sıcaklık delinen parçanın yapısına ve kesici takımın ömrüne etki eder. Bu da istenmeyen bir durumdur.

Talaş kaldırma işlemi; elastik ve plastik şekil değişikliğine dayanım, sürtünme ve ısı oluşumu, talaş oluşumu ve talaş kırılması, iş malzemesi yüzeyinin sertleşmesi, kesici takım ucunun aşınması ve kırılması gibi olayların meydana geldiği karmaşık bir fiziksel olaydır [1].

Kesici takımda özellikle matkap ucunda meydana gelen aşınma başlangıçta yavaş, zamanla ivme kazanarak artan bir süreçtir. Aslında, kesici takım işleme başladığı andan itibaren aşınma sürecine girmiş olur. Aşınma ilerledikçe kesici kuvvetler artar; daha fazla ısı ortaya çıkar, sonuç olarak aşınma hızlanır [2].

Kesici takımın daha uzun süre kullanılabilmesi ve iş parçasının istenilen kalitede üretilerek hammadde israfını önlemeye yönelik olarak, kesme performansı ve şartlarını optimize etme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle talaşlı imalatın bir parçası olan delme işleminde yapılan iyileştirmeler imalat maliyetinin düşürülmesi ve rekabet edebilme şansının doğması açısından önemlidir. Yapılan her bir iyileştirme talaşlı imalatta sonuca en kısa yoldan ulaşma anlamına da gelmektedir. Bu da rekabet ortamında üreticilerin rekabet edebilme şanslarını arttıracak ve malzeme israfını önlemiş olacağından ülkemiz ekonomisine katkı sağlamış olacaktır [3].

Günümüzde bilgisayar teknolojisi her alanda olduğu gibi talaşlı üretimin tasarımdan, üretimine ve satışına kadar geçen süreçte etkin olarak kullanılmaktadır. Üretim şartlarının bilgisayar ortamında tasarımı, analizi ve bilgisayar kontrollü tezgahlarda son ürünün en hassas biçimde imal edilmesi gibi aşamaların tümünde en iyi üretim şartlarını elde etmek amacı ile bilgisayarların hesaplamadaki hızlarından faydalanılmaktadır. Gelişen Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Taguchi optimizasyonu talaşlı üretimde son on yılda önemli bir yer almış olup, tasarım ve analiz programlarının geliştirilmesinde, işleme şartlarının optimizasyonunda ve simülasyonunda, işleme anında gelişen problemlerin izlenmesinde ve önlenmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Talaşlı imalatta işleme şartlarının çok karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkiler içinde olması, matematiksel teorilerin gelişim sürecini güçleştirmektedir. Ancak YSA ve Taguchi Metodu daha kısa sürede bu karmaşık ilişkilere en iyi çözümler üretebilme özelliği, talaşlı imalatta yapılan çalışmalarda yoğun olarak tercih edilmesine sebep olmuştur. Delik delme kullanılan kesici takımın; dış geometrisi ve kesme ağızlarının geometrisine bağlı olarak, aynı anda birçok noktadan kesme işlemi gerçekleştiği için, oldukça karmaşık bir kesme geometrisine sahiptir.

Bu çalışmada bir delik delme işleminde kesici türünün, kesme parametrelerinin ve işlenen malzeme türünün delik delme performansına etkileri, işleme esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve ortaya çıkan sıcaklıklar incelenmiştir. Gerekli verileri elde etmek için yapılan deneyde AI6061 deney numunesi, 14 mm çapında kaplamasız ve kaplamalı karbür iki farklı matkap, üç farklı ilerleme ve üç farklı kesme hızı kullanılmıştır. Farklı her durum için oluşan kuvvet ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Bu şekilde takım türü, iş parçası malzemesi ve kesme parametrelerinin delik delme performansına etkileri incelenmiştir.

Deneysel sonuçlarda elde edilen kesme kuvvetleri ve sıcaklık değerleri Taguchi, Regresyon, ANOVA ve YSA optimizasyonu yardımıyla elde edilen tahmin sonuçları ile deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Talaşlı imalatta ürün kalitesini düşürmeden üretim girdilerini ve dolayısı ile de maliyeti azaltmak için işleme parametrelerinin uygun düzeyde tutulmasını sağlamak amacıyla yıllardır çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda bilimsel çalışmalara bakıldığında; imalatta en uygun işleme yönteminin, işleme parametrelerinin belirlenmesi bunlara etki eden kesme kuvvetlerinin, takım aşınmasının ve kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar vb. incelenmekte olduğu görülmektedir.

Rivero, değişik kaplamalı matkapların kuru delmedeki performansını araştırmıştır. Rivero, yaptığı deneysel çalışmada Termokupl (ısıl çift) yöntemini kullanmıştır. Sıcaklık ölçümünü gerçekleştirmek için iş parçası içerisine ısıl çift yerleştirerek matkap uçuna 0.2 mm kadar yaklaşmayı başarmıştır. Diğer bir sıcaklık ölçüm metodu olan pirometre ile de sıcaklık ölçümünü gerçekleştirmiştir. Rivero ayrıca değişik kesme parametrelerinin sıcaklık değişimine tesirini de araştırmıştır. Tüm bu deneylerde kullanılan matkapların kaplama malzemesi olarak ise Balinit Hardlube ve Balinit Triton DLC kullanmışlardır [4].

Q'Sullivan, işlenebilirlikte oluşan takım talaş arasındaki sıcaklığın, takım malzemesi ve iş parçasının niteliklerine bağlı olarak sonuçlandığını ve takım aşınmasında önemli bir rol oynadığını deneysel olarak gözlemiştir. Bu çalışmasında kesici takım kuvvet bileşenleri tanımlanarak kuvvet sonucu oluşan enerji, takım-talaş ve iş parçası malzemesine bağlı olarak ısıya dönüştüğü ve takım aşınmasının kesme kuvvetleri ile bağlantılı olduğu belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar için kuvvet ve sıcaklık ölçümü simülasyonu yapılmıştır. Deneylerde gömme ısıl çift ve kızıl ötesi termal kamera yöntemleri kullanmışlardır [5].

Thangaraj ve arkadaşları, delik delme sürecinde iki kenarlı matkaplarda oluşan sıcaklık dağılımı metalografik ve mikro-sertlik teknikleri yardımıyla incelemişlerdir. Yaptıkları deneylerde ani-durdurma düzeneği kullanarak matkabın talaş yolundan

talaş akış düzenini kontrol edip, matkaptaki aşınma durumunu talaş akışı ve sıcaklığı bilgisinden yola çıkarak değerlendirmişlerdir. Matkap performansının iyileştirilmesi için optimum matkap geometrisinin yanında, malzeme sertliği, tokluğu ve sıcaklığa karşı davranışının da dikkate değer bir önem arz ettiğini vurgulamışlardır [6].

Nouari, alüminyum alaşımı kuru delmede kesici takım aşınmasının deneysel olarak analizini ve optimizasyonunu yapmıştır. Kesme parametrelerinin delik kalitesine tesirini inceleyerek, alüminyum malzeme için optimal kesme hızını belirlemiştir. Deliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünü, çapak boyunu ve sapmalarını da kesme parametrelerine bağlı olarak incelemiştir. Ayrıca değişik kaplama türlerinin delik kalitesine tesirini de inceleyen Nouari, kaplamaların işleme kalitesini ciddi mahiyette etkilemediğini ortaya koymuştur [7].

Bağcı ve Özçelik, delik derinliği, iş mili devri ve ilerlemenin matkap ucundaki sıcaklığa tesirini incelemişlerdir. AISI 1040 ve Al 7075-T651 iş parçası delinerek yapılan araştırmada, sıcaklık ölçüm yöntemi olarak ise spiral matkapta termokupl yöntemini kullanmışlardır. Ayrıca kademeli ve sürekli delme yaparak bunun matkap uç sıcaklığına etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmalarda matkap sabitlenerek iş parçası döndürülmüştür [8].

Grzesik, kesme bölgesindeki sıcaklık dağılımını belirlemek için termal analitik ve simülasyon modelini kaplamalı ve kaplamasız karbür uçlarda kullanmıştır [9].

Zeilmann, Ti6Al4V iş parçasının delinmesi esnasında karbür matkabın ulaşabileceği maksimum sıcaklığı Termokupl yöntemini kullanarak araştırmıştır. Zelimann deneyinde değişik kaplamalı (TiAlN, CrCN ve TiCN) karbür matkapları kullanmıştır. Çalışmasındaki temel gayenin, minimum yağlama miktarı (MQL) şartlarında değişik kaplamaların sıcaklığını değerlendirmek olduğunu belirtmektedir [10].

Usta, çalışmasında AISI 1050 ve GG40 malzemelerin CNC ve üniversal torna tezgahlarında delinmesi esnasında oluşan sıcaklığı ve kesme kuvvetlerini ölçmüştür. Sıcaklık ölçümü için K tipi esnek ısı çifti kullanmıştır. Isıl çiftleri matkap soğutma kanallarına yerleştirmiştir. Kuvvet ölçümü için ise KISTLER 9272 dinamometre kullanmıştır. Sonuç olarak kesme parametrelerinin hem sıcaklık hem de kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemiştir [11].

Yağmur, AISI 1050 malzemelerin delinebilirliğini araştırmıştır. delik delme biçimleri (delik tipi, uygulama biçimi ve delik boyu), kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme miktarı) ve kesici takım tipi (kaplamasız ve TiN/TiAl/TiCN kaplamalı solid karbür) girdileri baz alınarak; kesme kuvvetleri, moment, talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklık ve delik kalitesi (ölçü tamlığı, yüzey kalitesi) açısından değerlendirmiştir. Matkap talaş yüzeyi boyunca meydana gelen kesme sıcaklıkları kaplamalı ve kaplamasız matkapların soğutma kanalları içerisine yerleştirilmiş ısı çiftleri yardımıyla ölçülmüştür. Sıcaklık ve kesme kuvvetleri ölçümleri sırasıyla; K tipi ısı çifti uygulaması ve Kistler 9257 B model dinamometre yardımıyla gerçekleştirmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara bağlı olarak delinebilirlik; kesme kuvvetleri ve momenti, kesme sırasında oluşan sıcaklık, takım aşınması ile delik kalitesi çıktılarıyla değerlendirilerek ve bulguların ekonomik analizleri yapmış ve çalışmasında elde edilen bulgular doğrultusunda optimum delme şartlarının belirlemiştir [12].

DeVries, ise kesici ağız boyunca oluşan sıcaklığı tahmin için bir analitik model geliştirmiştir. DeVries'in yaptığı bu çalışma Agapiou ve DeVries tarafından tekrar irdelenerek spiral matkap ucunda (kesici ağız ve talaş yüzeyindeki) geçici sıcaklık dağılımının analitik modelini geliştirmişlerdir. Bu model, takım talaş ara yüzündeki talaşın sıcaklığının hesaplanması temeline dayanmaktadır. Elde ettikleri bu sonuçları deneysel çalışmalarında elde ettikleri verilerle karşılaştırmışlardır. Analitik yöntemle hesaplanan sıcaklıkların, deney yöntemiyle elde edilen sıcaklıklara oldukça yakın olduğu tespit etmişlerdir [13].

Agapiou ve Stephenson, yeni bir model geliştirmiştir. Bu modelde geçici ve sürekli sıcaklık dağılımı gelişigüzel nokta geometrisinde hesaplanmıştır. Burada genel olarak; takımı, yarı sonsuz yapı davranışı olarak kabullenmek vasıtası ile ısı akışı ve sıcaklık dağılımı analitik olarak modellenmiştir. Bu modeller farklı matkap uçlarındaki sıcaklığı hesaplamakta kullanılmış ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır [14].

Kelly ve Cotterell, çalışmalarında değişik kesme sıvılarını minimum seviyede kullanarak ve kullanmadan kuru delme yapmışlardır. alışmasında iş parçası olarak Alüminyum alaşımı ve sıcaklık ölçümünde ise termokupl kullanmıştır. Termokuplu alüminyum malzemeye gömerek, kesici takımın dış çapına yaklaşık 0,2 mm kadar yaklaşmış ve delme esnasında kesici takım dış çapında oluşan sıcaklığı, iş parçası sıcaklığını değerlendirmişlerdir. Ayrıca finiş yüzeyini ve delinmiş deliğin doğruluğunu da incelemişlerdir [15].

Kim ve Ahn; yaptıkları çalışmada, Al 2024 malzemenin delinmesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Deneyslerde iki ağızlı matkaplar kullanılmıştır. Deneysel çalışmada iki farklı matkap çapı (6.35, 9.5mm), 118° uç açısı ve 55° kesici kenar açısına sahip matkaplar kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda matkap performansını artırmaya yönelik olarak belirlenen delme şartlarının uygun olduğu grlmştir [16].

Zaquini; delme işleminde kaplamasız ve DLC (Elmas benzeri karbon) kaplamalı matkaplar kullanarak %7 Si içeren alüminyum ve pirinç (Cu-Zn38Pb2) malzeme üzerinde delme işlemleri gerçekleştirmiştir. Kesme kuvvetleri Kistler 9271 dinamometre ile llmştir. Bu çalışmaya göre araştırmacılar DLC kaplamalı takımın eksenel kuvvetlerinin ortalamasının kaplamasız matkaptan ortalama 2.5 kat daha düşük olduğunu gözlemlemiştir [17].

Fernandes ve Cook, deneysel çalışmalarında, karbon kompozit malzemeyi delme esnasında kuvvet ve torkun delik kalitesi ve aşınmaya etkisini incelemişlerdir. Ayrıca takım aşınması ve iş parçası kalınlığının kesme süresi boyunca kesme kuvveti ve

torka tesirini araştırmışlardır. Bu alışma sonucunda aynı matkap ucuyla delinen delik sayısı artıkça aksnel kuvvetinin (F_z) arttığı, fakat torkun çok fazla etkilenmediğini gözlemlemişlerdir. Sonuç küçük bir iş parçası kalınlığının dahi büyük oranlarda aksnel kuvvete neden olduğunu dolayısı ile de iş parçası kalınlığının kesici takım aşınmasında önemli rol oynadığını, ifade etmişlerdir [18].

Onwubolu ve arkadaşı, yaptığı çalışmada yüzey tesir metodolojisi (Response surface methodology) yöntemini temel alarak, kesme hızı, ilerleme ve matkap çapı gibi delme kontrol parametrelerinin aksnel kuvvet ve torka etkisini tahmin etmek için matematiksel model geliştirmiştir. Matematiksel modeli geliştirmek için Microsoft Excel regresyon analiz modülünü kullanmıştır. Sonuç olarak da bu parametrelerin delmede optimal kullanımı ile aksnel kuvvet ve torkta önemli ölçüde azalma meydana geleceğini vurgulamamışlardır [19].

Strenkowski, helisel matkap ile delik delme esnasında oluşan kesme kuvveti ve torku tahmin etmek için analitik sonlu elemanlar tekniği geliştirmiştir. Bu yaklaşım; kesici uçtaki kesme kuvvetlerini, eğik kesme davranışı gösteriyor olarak kabul etmekte ve radyal bölgedeki kesme davranışını ise dik kesme davranışı olarak kabul etmektedir. Her iki kısımdaki kesme kuvveti ve torklar birleştirilmiş ve böylece toplam kuvvet belirlenmeye çalışılmıştır. Tahmin edilen ve ölçülen, kesme kuvveti ve torklar arasındaki fark oldukça azdır. Bu alışmada AISI 1020 eliği değişik çaplarda, değişik kesme hızlarında ve ilerlemelerde delinmiştir. Ayrıca bu çalışmada matkabin sıcaklığının tahmini de izah edilmiştir. Dik (Orthogonal) kesmede talaş açısı değerleri; -30, -15, 0, 10,20 ve 30 tercih edilmiştir. Tüm takımların kesici ağız serbest açısı 10° seçilmiştir. Eğik (Oblique) de ise talaş açısı sıfır derece ama eğim açısı ise 5, 15, 25, 35 ve 45 seçilmiştir. Strenkowski'nin çalışmasından elde ettiği datalar incelendiğinde; Talaş açısı arttığı zaman, kesme kuvvetinin azaldığı ve matkap çapı arttığı zaman ise delmedeki itme kuvvetinin arttığı görülmektedir [20].

Wiriyacasol ve arkadaşı, delik işlemedeki kesme mekaniğini, kuvvet ve moment tahmini yapmak için incelemişlerdir. Kesme mekaniğini kesicinin kenar, uç ve

açılarının etkisini analiz ederek yorumlamaktadırlar. İki tür deney numunesi malzemesini üç farklı ilerleme ve kesme hızı oranı ve matkap teknik özelliklerini göz önüne alarak test edip kesme modelinde tahmin ettiği kuvvet ve momentleri yaptığı deneyde elde ettiği verilerle karşılaştırmışlardır [21].

Hamade ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada kesici kenar genişliği, kesme kuvveti, ilerleme ve uç açısını incelemiştir. Delik delme işlemlerinde kesme kuvveti katsayılarını çıkarabilmek amacıyla çalışma yapmışlardır. Çalışmada; alüminyum AI 6061-T6 malzeme kullanılmakta, hem teorik hem de deneysel inceleme yapılmaktadır. Bazı deliklerde ön delik delinmiş ve momenti ve ilerleme kuvveti üzerindeki etkisi de yorumlanmaktadır [22].

Lazoğlu ve Pirtini, çalışmalarında delme işleminin mekanik ve dinamik hareketi esas alarak, kesme kuvvetleri ve delik kalitesinin tahmini için matematik model geliştirmişlerdir. Yapısal dinamik modüllerle iş mili (spindle) ve modele entegre edilen kesici takımın sisteminin titreşimlerini, delik kalitesini tahmin etmek için ölçmüşlerdir. Kesme kuvvetleri tahmin edilmesinin yanında delinmiş deliğin 3D modelinin belirlenmesi ve görülmesini sağlamışlardır. Geliştirdikleri model üzerinde imalat ve tolerans limitlerini en uygun şekilde seçmişlerdir. Teorik model sonuçları ile ölçülen kuvvetleri ve CMM delik profilini doğrulamak için çok sayıda deney yapmışlardır. Sonuç olarak model üzerinden tahmin edilen geometrik bilgiler ile CMM ölçümleri arasında ciddi farklılık çıkmadığını ifade etmişlerdir [23].

Kıvak T.; yaptığı çalışmada Inconel 718'in delinebilirliği için kuru kesme koşulları altında optimum delme şartlarını tespit etmiştir. Deneysel çalışmalarda, 5 mm çapında kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplı karbür matkaplar kullanılarak kuru kesme şartlarında CNC dik işleme merkezinde talaş kaldırılmıştır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (10, 12.5, 15, 17.5 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0,05; 0,075; 0,1 mm/dev) kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve dairesellikten sapma ölçülmüş ve bu ölçümler ışığında kesici takımlar arasında mukayese yoluyla bir değerlendirme yapılmıştır. Inconel 718'in kuru kesme

şartlarında delinmesinde en iyi performans kaplamasız takımlardan alınırken en kötü sonuçlar ise TiAlN kaplı takımlardan alındığı gözlenmiştir. Yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında takım performansı ve delik kalitesinin düştüğü görülmüştür [24].

Çakır, Al 7075 ve Al 6013 alüminyum malzemelerin delme operasyonları esnasındaki kesme parametrelerini incelemiştir. HSS ve Karbür matkaplar kullanılarak yaptığı bu çalışmada; sıcaklık, titreşim, kesme kuvvetleri ve momentlerini incelemiştir. Çalışma tam faktöriyel tertibinde yapılmış ve sonuçlar varyans analizi ile yorumlamıştır. Sonuç olarak, Fz maksimum kuvvetlerine iş parçası malzemesinin kesici, kesme hızı ve ilerleme kadar etkili olmadığı belirlemiştir. Ayrıca Mz momentlerine malzeme ve kesme hızının, kesici ve ilerleme kadar etkili olmadığını belirlemiştir [25].

Meral, delme işlemlerinde kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, delik çapındaki değişim, dairesellikten sapma ve silindiriklikten sapma deneysel olarak araştırmıştır. Deneysel olarak, işlenebilirlik özellikleri iyi bilinen AISI 1050 çelik malzemeyi referans almıştır. Deneysel olarak 6, 8, 10 mm çaplarında kaplamasız ve PVD methodu ile TiAlN kaplanmış kaplamalı HSS matkapları kullanmıştır. Deneysel olarak üç farklı kesme hızı (20, 30, 40 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0.05, 0.1, 0.15 mm/dev) değerinde kuru delme şartlarında CNC dik işleme merkezinde yapmıştır. Delik uygulama biçimi olarak boydan boya 17 mm uzunlukta delikler delmiş, deliklerde ölçü tamlığı, delik dairesellikleri, delik giriş ve çıkış ağzı arasındaki aksenal kaçıklık, delik boyunca oluşan yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri ölçmüştür. Sonuç olarak, kaplamalı matkapların, kaplamasız matkaplara göre; tüm değerlendirme kriterleri için olumlu sonuçlar sergilediği, İlerleme kuvveti üzerinde ilerleme hızının kesme hızına göre daha etkili bir parametre olduğu, yüzey pürüzlülük değerleri artan kesme hızı değerlerine bağlı olarak azalırken, ilerleme hızındaki artışla arttığı belirlenmiştir [26].

Kaplan, dik işleme merkezinde delik delme süreci esnasında farklı parametrelerin ilerleme kuvveti, moment, titreşim, aşınma, yüzey pürüzlülüğü ve çapak oluşumuna

etkisi incelemiştir. Çalışmalarında; iki farklı sertlikteki (20 HRc ve 28 HRc) soğuk iş takım çeliğini (AISI D2 ve AISI D3) iki farklı çaptaki ($\varnothing 8$ mm ve $\varnothing 10$ mm) ve iki farklı uzunluktaki HSS kesici takımları kullanmıştır. Deneylede üç farklı kesme hızı (5 m/dak, 10 m/dak, 15 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0,04 mm/dev, 0,05 mm/dev, 0,06 mm/dev) değeri kullanmıştır. Her bir deneye yeni bir kesici takımla başlamış ve her kesici takımla uzunluğu 50 mm olan boydan boya 20 adet delik delmiştir. Deneyle tam faktöriyel tertibinde yapmış, sonuçları MATLAB-R2008 paket programında çizilen grafikler ve SAS 9.0 programında yapılan varyans ve regresyon analizleriyle yorumlamıştır. Ayrıca deneysel çalışmalar sonlandıktan sonra matkapların SEM analizini yaparak aşınmalar yorumlamıştır. Çalışma sonucunda, malzeme sertliğinin, matkap çapının, matkap boyunun, kesme hızının, ilerlemenin ve delik sayısının ilerleme kuvveti, moment ve titreşime etkili olduğu, ayrıca matkap çapı haricindeki diğer deney parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve çıkış çapağı oluşumuna etkili olduğunu görmüştür [27].

Heinemanna ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, derin delik delme işlem sırasında oluşan çok düşük seviyedeki yağlamanın (MQL: minimum quantity lubrication) takım ömrüne olan etkisini araştırmışlardır. Bu işlem için iş parçası malzemesi olarak adi karbonlu çelik, kesici olarak 1.5 mm çapında helisel iki ağızlı matkap, oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek için bir deney seti kullanmıştır. Yaptıkları deneyde; kesici uçta yeteri kadar yağlama yapılamamsı durumunda oluşan ısı ile birlikte matkap ucunda ani bozulmaların (takım ömrü) olduğunu tespit etmişlerdir [28].

Mohan, çalışmasında cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin delinmesi esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve momente etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada Taguchi optimizasyon metodolojisini kullanarak cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler için kesme parametrelerini optimize etmiştir. Modan çalışmasında dataları toplamak ve analiz etmek için MINITAB14 yazılımını kullanmıştır. Çalışmadan elde ettiği verilere dayanarak; delmede momente etki eden en önemli parametrelerin iş parçası kalınlığı ve matkap çapı olduğunu ifade etmiştir [29].

Yang ve Tarng, yaptıkları çalışmada, kalite optimizasyon tasarımında güçlü bir yöntem olan Taguchi metodunu tornalama operasyonlarında optimal kesme parametrelerinin bulunmasında kullanmışlardır. Araştırmacılar, Taguchi metodunun alt bölümleri olan, ortogonal bir diziyi, sinyal-gürültü (S-N) oranını ve varyans analizini uygulayarak S45C çelik çubuğun tungsten karbür kesici takımla işlenmesinde kesme karakteristiklerini tespit etmişlerdir. Deneysel çalışmalarda, P10 kalitesinde tungsten karbür uç kullanılmıştır. Giriş kesme parametreleri olarak $V=210$ m/dak, $f=0,20$ mm/dev ve $d=1,1$ mm seçilmiştir. Yapılan bu çalışmayla sadece tornalama operasyonları için optimal kesme parametreleri belirlenmemiş, aynı zamanda bu kesme parametrelerinin kesme performansı üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Seçilen giriş kesme parametrelerinden optimal kesme parametreleri elde edilerek takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü % 250 oranında geliştirilmiştir [30].

Kopač ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; soğuk haddelenmiş C15 E4 çeliğinin işlenmesinde kesme hızı, kesici takım malzemesi, iş parçası malzemesi, kesme derinliği ve farklı talaş derinliklerinde kesmenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Taguchi metodu ile araştırılmıştır. Çalışmada aynı zamanda kontrol parametrelerinin ana etkilerinin yanı sıra etkileşimlerinin etkisi de araştırılmıştır. Çalışma iki seviyeye ve 13 serbestlik derecesine sahip olduğu için $L_{16}(2^{15})$ ortogonal tasarım seçilmiştir. S-N oranlar “daha küçük, daha iyi” kalite belirleyicisine göre hesaplanmıştır. Yapılan Taguchi değerlendirmeleri sonucunda, $V=400$ m/dak kesme hızı ve 0,3 mm kesme derinliğinde TiN kaplı sermet kesici takımlar ile işleme yapıldığında en iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edileceği rapor edilmiştir. Kaplamalı takımların yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Kesme hızı en büyük etkiye sahip kontrol parametresi olmuş ve daha yüksek kesme hızlarında daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Talaş derinliğinin ise üçüncü derecede etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir [31].

Choudhury ve Bartarya, takım aşınmasının tahmin edilmesinde deneysel tasarım ve sinir ağları olarak adlandırılan iki teknik üzerinde odaklanmışlardır. Yapılan çalışmada, EN24 çelik malzemede kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği giriş

parametresi alınarak, tornalama sırasında kesme bölgesinde oluşan ısı, yüzey pürüzlülüğü ve yan kenar aşınma oranları belirlenmiştir. Kesici takım olarak % 10 kobalt içerikli yüksek hız çeliği (HSS) takım kullanılmıştır. Kesme parametreleri ise; $V= 20$ ile 35 m/dak, $f=0,075$ ile $0,125$ mm/dev ve $d= 0,4$ ile $0,8$ mm aralığında seçilmiştir. Choudhury ve Bartarya, giriş değişkenlerinin deneysel tasarımda ve sinir ağları yönteminde kullanılmasıyla belirlenen bu üç yanıt üzerinde ilişkiler kurularak tahminsel modeller elde etmişlerdir [32].

Hans Raj ve arkadaşları takım aşınmasını tahmininde YSA'yı kullanmışlardır. Geri yayımlı YSA modelinde kullanarak, giriş değişkeni olarak kesme sırasında oluşan kuvvetleri kullanmışlardır [33].

Choudhury ve arkadaşları, tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünü tahmininde kurdukları yapay sinir ağları modelini Taguchi deney tasarım yöntemi ile elde edilmiş verilerin regresyon analizi sonucu elde edilen pürüzlülük, takım aşınması ve kesme sıcaklığı sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğini giriş katmanını oluşturduğu modelde de ölçülen pürüzlülük, takım aşınması ve kesme sıcaklığı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Deneysel veriler ve kurulan model karşılaştırıldığında yan yüzey takım aşınması %5.66 ortalama hataların karesi (MSE) hassasiyetinde tahmin edilmiş olup, bu hassasiyet kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğünde %2 seviyesindedir. Bu çalışmada EN-24 çeliği ve HSS kesici uç kullanılmıştır. Her çıkış fonksiyonu için ayrı ayrı kurulan yapay sinir ağları modelinde 3 giriş neronu, 7 gizli nöron ve 1 çıkış neronu bulunmakta olup takım aşınması için oluşturulan model yaklaşık 120 dakika süren iterasyon sonrasında çıkış nöronlarının toplam kareler hatası 0.01 olduğunda durdurulmuştur [34].

Sanjay ve arkadaşları; takım aşınmasının yapay sinir ağları metodu ile modellenmesi ve istatistiksel analizinin yapılması için 8 mm çapında matkap ile iki farklı kesme hızı ve ilerleme oranı kullanılarak deneyler yapılmış. Çalışmada geri yayımlı YSA ile regresyon analizleri kullanılmıştır. Matkap çapı, ilerleme, kesme hızı, zaman, kuvvet ve tork değerleri girdi, takım aşınması ise çıkış parametresi olarak kullanılmıştır. Takım aşınmasının tahmini için en iyi ağ yapıları 6-2-1 ve 6-10-1 olarak elde

edilmiştir. Yapılan modellemeler sonucu elde edilen tahmin değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılmasında sonuçların uyumluluğu görülmüştür [35].

Paulo Davim ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada sementit karbür uç kullanılarak makine çeliğinin işlenmesi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Deneyler Taguchi L₂₇ ortogonal dizisine göre yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre YSA ile modeller geliştirilmiştir. İlerleme oranı, kesme hızı ve kesme derinliği girdi, yüzey pürüzlülüğü çıktı olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü azaltmak için geliştirilen YSA modelleri sonucunda en fazla etkiye kesme hızı ve ilerleme oranı en düşük etkiye ise kesme derinliği sahiptir. Yüzey pürüzlülüğü, kesme hızının artması ve ilerleme oranının azalmasıyla doğru orantılı olarak azalma eğilimindedir. En az yüzey pürüzlülüğü düşük ilerleme oranı ve yüksek kesme hızının birleşimi ile elde edilmiştir. Oluşturulan tahmini modeller sonucu elde edilen değerler ile gerçek deney sonuçları arasında uyum saptanmıştır [36].

Tsao ve Hocheng yaptıkları çalışmada farklı uç açıları ile farklı kesme şartlarında karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozit (CFRP) malzemesinin delinmesi sonucunda elde edilen delik çapları incelenmiştir. Çalışmada Taguchi ve ANOVA analizleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmada ilerleme oranı ve matkap çapının delme performansında en önemli faktör olduklarını ortaya koymuştur. Çalışmada kullanılan Taguchi ve ANOVA analizleri sonucunda yapılan doğrulama deneyleriyle gerçekler deney sonuçları arasındaki hatanın %8 olduğu görülmüştür [37].

Muthukrishnan ve Paulo Davim tarafından yapılan çalışmada değişik kesme şartları altında PCD ile tornalanan Al-SiC (20P) malzemenin yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Deneysel veriler, ANOVA ve yapay sinir ağları ile yorumlanmıştır. Kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme girdi parametreleri olarak kullanılarak çok katmanlı modeller geri yayılım algoritması ile inşa edilmiştir. Deneysel çalışmada çıkış parametresi olarak işlenmiş parçanın yüzey pürüzlülüğü seçilerek ANOVA ve

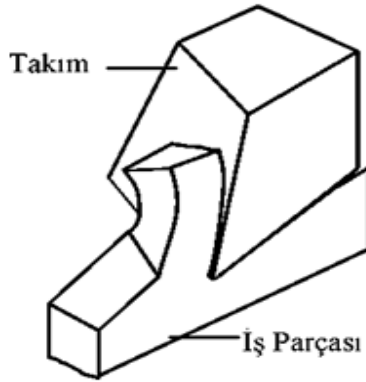
YSA sonuçlarının doğruluğu kontrol edilip farklı koşullar altında sistem davranışlarının tahmini sağlamıştır [38].

Bağcı ve Özçelik tarafından yapılan çalışmada Al 7075-T651 malzemenin kuru delinmesinde kesme parametrelerinin delme sıcaklığı ve tork kuvveti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Delme sıcaklığı TİN/TİAIN kaplı karbür matkapların soğutma kanallarına yerleştirilen ısı çiftleri ile ölçülmüştür. Delme parametreleri Taguchi metodu kullanılarak belirlenmiştir. Ortogonal dizi, S/N oranı ve varyans analizi delme parametrelerinin etkisini analiz etmede kullanılmıştır. Delme sıcaklığı ve tork kuvveti ile devir sayısı, delme derinliği, ilerleme ve delme metodları arasında çoklu regresyon analizleri kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Çalışma sonucu Taguchi metodunun tam faktöriyel tasarımı ile karşılaştırıldığında minimum denemeler ile problemleri çözdüğü görülmüştür [39].

Bu çalışmada kullanılacak yöntem için literatür araştırmaları sonrasında Bağcı ve Özçelik' in çalışmalarından yola çıkılarak bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Çalışmalarda Al6061 malzemelerin dik işleme merkezinde sabit matkap/dönen iş parçası yöntemiyle kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla, çapının üç katı (3D) boyunda delinmesi esnasında oluşan kesme sıcaklığı ve kesme kuvvetleri incelenmiştir. Sıcaklık ölçümü için ısı çift yöntemi, kuvvet ölçümü için ise dinamometre kullanılmıştır. Ölçüm sonucunda kesme kuvvetlerinin ortalaması, sıcaklıkların ise maksimum değerleri alınmıştır. Elde edilen deney verileri kullanılarak Taguchi, Regresyon, ANOVA (varyans analizi) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri ile optimizasyon yapılarak yeni modeller geliştirilmiştir. Taguchi Metodu yardımıyla en uygun kesme parametreleri bulunmuştur. Modelde faktörlerin etkinliği ANOVA ile tespit edilmiştir. YSA modeli ile de kesme parametrelerinin seçimini optimize eden modeller geliştirilmiştir.

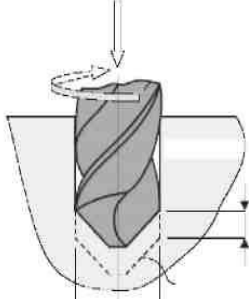
3. TALAŞ KALDIRMA VE DELİK DELME

Talaş kaldırma işlemi Şekil3.1’de görüldüğü gibi ucu (ağzı) keskin bir takım ile iş parçası üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. Bu şekilde kaldırılan malzemeye talaş denilir. Talaş kaldırma işlemi, takım ile parça arasındaki izafi hareketlerin bir sonucudur. Takım ile parça arasında kesme, ilerleme ve ayar olmak üzere üç türlü hareket vardır. Kesme hareketi esas talaş kaldırma hareketidir. İlerleme hareketi parçanın uzunluğu veya genişliği boyunca belirli bir kısmının işlenmesini sağlayan harekettir. Yardımcı hareketler ise takımın parçaya yaklaşma hareketi, ilerleme hareketi bittikten sonra takımı başlangıç noktasına geri getirme gibi çeşitli ayar hareketlerini kapsar. Genellikle kesme hareketi dönme veya ötelenme, ilerleme ve yardımcı hareketler ise ötelenme şeklindedir. Bu hareketlerin parça veya takım tarafından yapılması çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirir [40].



Şekil 3.1. Takım modeli ve ortogonal kesme

Delme esas olarak, kesici takımla iş parçası arasında bağıl bir hareketle talaş kaldırmak suretiyle yapılan işlemdir(Şekil3.2). Bu işlem sırasında matkap veya iş parçası ya da ikisi birden döner. Delme işlemi hızlı ve ekonomik olmakla beraber, kesme hareketi zor ve verimsizdir. Delme işleminde talaş çıkışı ve kesme sıvısı akışı sınırlı olduğundan zor bir işleme yöntemidir.

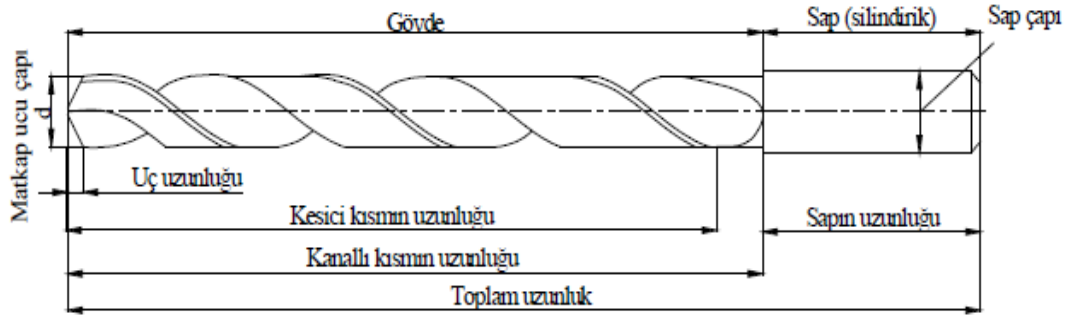


Şekil 3.2. Delik delme işlemi [41]

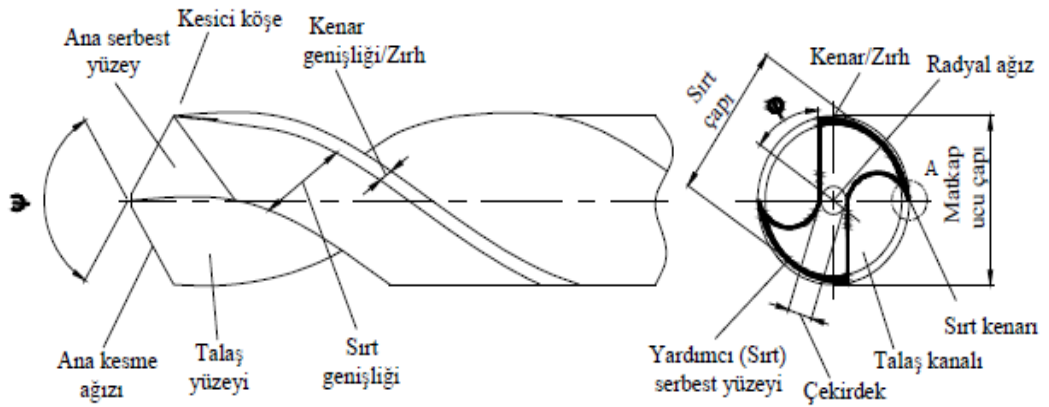
3.1. Matkaplar

Delme işlemlerinde kullanılan kesici takımlara genel olarak matkap denir. Matkaplar talaşlı üretimde en çok kullanılan kesici alet gruplarından biridir. Bir matkap kendi eksenini etrafında dönerek ve aynı zamanda eksenini doğrultusunda ilerleyerek iki kesici ağzı ile kesme yapar. Metallerin işlenmesinde birçok çeşitten matkaplar kullanılır. Her matkap türü bir gereksinimden ortaya çıkmıştır. Bir delme takımı bir veya daha fazla kesici kenara ve helisel veya düz kanala sahip, dönen bir takımdır. Tüm delme takımları için ortak problemler kesme hızının merkezde sıfır, çevrede maksimum olmasından kaynaklanan problemlerdir. İşlem sırasında delik içerisinde oluşan talaşlar işlenen yüzeye zarar vermeden, kolaylıkla kesme bölgesinden uzaklaştırılacak bir şekle sahip olmalıdırlar. Takım seçimi; delik çapı, delik derinliği, sağlanması gereken toleranslar, iş parçası malzemesi, üretim hacmi ve mevcut tezgâh gibi çeşitli parametrelerce belirlenir [40].

Delme işlemlerinde kullanılan matkaplar genellikle zırh ve helisel oluklar ve kesici uçtan oluşur. Kesici uç parçada yuva açarak matkabın kolayca ilerlemesini sağlarken helisel oluklar ise kesici ağzı tarafından koparılan talaşın dışarı atılmasını sağlar. Ayrıca helisel oluklar vasıtasıyla esas kesme ağzlarına talaş açısı verilmiş olur. Şekil 3.3 ve 3.4’ de bir helisel matkap geometrisi ve kısımları gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Helis matkaplar



Şekil 3.4. Matkap takımının geometrisi

Tornalama işleminde olduğu gibi, matkabın dakikadaki devir sayısı (dev/dak) olarak ifade edilir. Matkap tezgâhında verilen matkap için doğru devir sayısını belirlemede;

- Delinecek malzeme cinsi,
- Malzeme için tavsiye edilen kesme hızı,
- Matkap malzemesinin cinsi bilinmelidir.

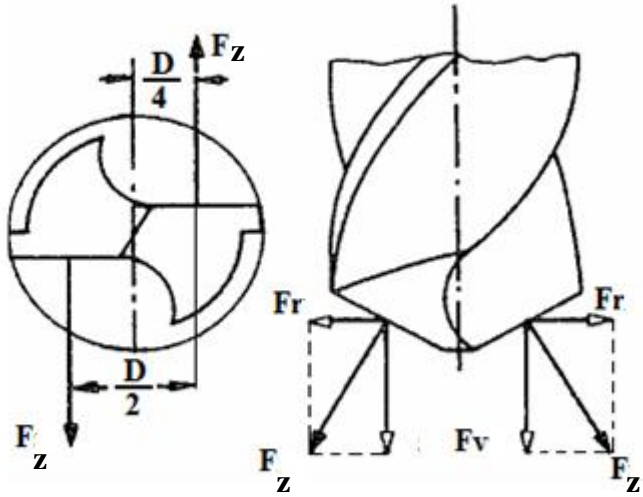
Malzeme için tavsiye edilen kesme hızı (V) ve matkap çapına göre (d) devir sayısının(n) hesaplanması denklem 3.1’de gösterilmiştir.

$$V_c = \pi \cdot d \cdot N / 1000 \quad (3.1)$$

formülü ile kesme hızı hesaplanır.

3.2. Matkap Kuvvetleri

Delme sırasında bir ağza karşılık gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleri Şekil 3.6.'da gösterilmiştir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi ağızların konumu itibariyle her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir.



Şekil 3.6. Takım ucunu etkileyen kuvvetler[42]

Şekil 3.6'daki kesici ağızlardan bir tanesi ele alınıp incelendiğinde, bu bölgenin;

F_v : İlerleme kuvvet,

F_r : Radyal kuvvet,

F_z : Kesme kuvvet

olmak üzere üç ayrı kuvvetin tesiri altında olduğu görülür. Kesici ağızları etkileyen radyal kuvvet veya kesme kuvveti kesici kenarın her noktasında farklı değer taşır. Bu sebeple kuvvet hesabında ortalama kesme kuvveti dikkate alınır [42].

3.2.1. Kesme kuvveti (F_z)

Matkabın tek ağzına gelen kesme kuvveti düzeltme faktörleri de göz önüne alınarak;

$$F_z = k_s \cdot A \cdot k_p \cdot k_u = k_s \cdot \left(\frac{f \cdot d}{2 \cdot z} \right) \cdot k_p \cdot k_u \quad (3.2)$$

Kesici ağız sayısı ($z=2$) olduğundan denklem (3.4) yerine yazılırsa;

$$F_z = k_s \left(\frac{f \cdot d}{4} \right) k_p \cdot k_u \quad (3.3)$$

elde edilir. Burada;

k_s : Özgül kesme kuvveti (N/mm^2)

F_z : Esas kesme kuvveti(N)

k_u : Aşınma faktörü

k_p : Takım gereç faktörü

<u>Aşınma Faktörü</u>	<u>k_u</u>
Kılavuz deliksiz işlem için	1-1,05
Kılavuz delikli işlem için	0,95

<u>Takım Gereç Faktörü</u>	<u>k_p</u>
Yeni bilenmiş matkap uçlarında	2
Aşınmış, yıpranmış takımlarda ve döküm gereçlerde	5
Aşınmış, yıpranmış takımlarda ve çelik gereçlerde	4

3.2.2. İlerleme kuvveti (F_a)

Eksenel kuvvet F_a ilerlemeyi sağlayan elemanları ve özellikle yatakları (rulmanları) zorlamaktadır. Tezgâhın konstrüksiyonu sırasında bu elemanlar, belirli bir eksenel kuvvete (F_{a-max}) göre hesaplanır. Çalışma sırasında $F_a > F_{a-max}$ olursa, ilerlemeyi sağlayan elemanlar ve özellikle rulmanlar çabuk bozulur. Ayrıca F_a kuvveti takımı burkulmaya zorlar. F_{a-max} 'in değeri tezgâh katalogunda verilir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar, F_a ilerleme kuvvetinin deneysel yollarla tespit edilebildiğini göstermiştir. F_a 'nın değerinin hesaplanmasında gerçeğe daha yakın değerlere veren (3.6) denkleminin kullanılması tavsiye edilir [42].

$$F_a \approx K.(s.d)^{0.8} \quad (3.4)$$

Çizelge 3.2 Formüldeki K değerleri [42]

Delinen Gereç Cinsi (Genel)	K (N/mm^2)
Çelikler	1650
Döküm gereçler	800
Hafif metal alaşımları	900

3.3. Talaş Kaldırma Esnasında Oluşan Isı ve Sıcaklık Dağılımı

Talaş kaldırmak için uygulanan kuvvetlerden oluşan mekanik enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüşür. Kesici takım-talaş ara yüzeyi ve takım-iş parçası arasında talaş kaldırmak için harcanan enerjiden dolayı kesici takım üzerinde yüksek sıcaklıklar meydana gelir. Bu sebeple kesme bölgesinde oluşan ısı ve sıcaklık talaş kaldırma işleminde önemli bir faktördür. Bu faktör kesici takım performansını ve iş parçası yüzey kalitesi açısından önemlidir. Yüksek sıcaklıklar; öncelikle yüksek kesme hızlarında sınırlamalara ve takım ömrünün azalmasına sebep olur [43].

Talaş kaldırma işleminde kesici takımla iş parçasında oluşan sürtünmeden dolayı oluşan sıcaklık, takım aşınmasında, iş parçası ve kesici takım malzeme özelliklerine bağlı olarak büyük rol oynar. Genel olarak çevresel etki, kesme hızı, ilerleme oranı, takım geometrisi gibi faktörlerin işlenebilirlik sıcaklığını artırdığı ve takım aşınmasına neden olduğu bilinmektedir.

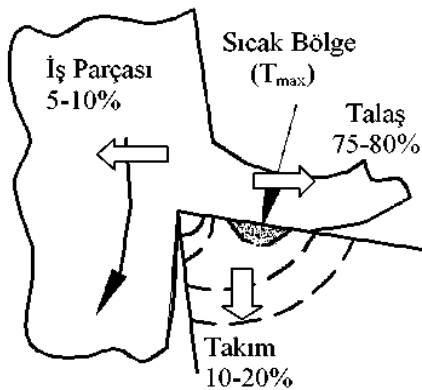
Talaş kaldırma işleminde ısı oluşumu üç bölgeye ayrılmaktadır. Bunlar;

- Kayma bölgesi,
- Takım-Talaş ara yüzeyi temas bölgesi,
- Takım-İş parçası ara yüzeyi (Kesici kenarın serbest yüzeyi)



Şekil 3.7. Talaş kaldırma işleminde oluşan ısı üretim bölgelerinin gösterilmesi [5,43]

Kesme bölgesinde, iş parçası ve takım arasında talaş oluşumu sırasında sürtünmeden dolayı kesme işlemi süresince ısı üretimi olmaktadır. Kesme işlemi sırasında oluşan ısı dağılımı ve ısı üretimi Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Birinci ısı bölgesinde kesme işlemi süresince takım, kayma bölgesinde çok fazla ısı üretimine neden olmakta ve ısının bir kısmı iş parçası içine yayılırken, geri kalan kısmı ise çıkan talaşla uzaklaştırılmaktadır.



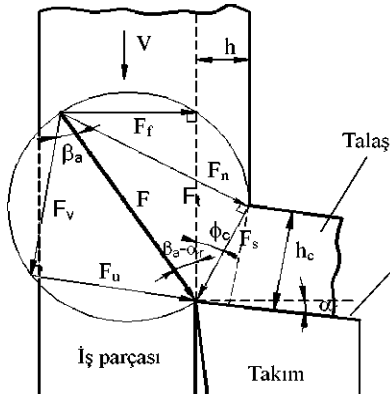
Şekil 3.8. Metal işlemede oluşan ısı dağılımı ve sıcaklık bölgesi [43]

Şekil 3.8’de gösterildiği gibi ikinci ısı bölgesinde, kesici takım ile işlenen malzeme temas yüzeyinde maksimum sıcaklık (T_{max}) vardır. Bu sebeple, takım ve talaş arasındaki oluşan ısı, takımın performansını ve işlenen malzemenin yüzey kalitesini etkilemektedir. Kayma bölgesinde, oluşan sürtünme, işlenen malzemenin mekanik özelliklerine tesir etmekte ve takım, talaş-takım ve iş parçası temas alanında meydana gelen ısıdan dolayı takım aşınmasına neden olmaktadır [5] Oluşan bu ısı (%75-80) talaş tarafından kesme bölgesinden uzaklaştırılmakta ve sadece (%5-10)’luk ısı akısı iş parçasına ve yaklaşık (%10-20)’lik üretilen ısı takım üzerine nüfuz etmektedir [5,43].

Takım talaş arasındaki sürtünme, kesici takım yüzeyinde yüksek sıcaklık dağılımına neden olmaktadır. Şekil 3.8’de gösterilen, kesici takım yüzeyindeki, talaşın ayrılma noktasındaki küçük bölge sıcak bölge olarak isimlendirilmektedir. Kesici takım yüzeyinde oluşan bu sıcak bölge takım ömrünü ve kesme performansını etkileyen önemli bir faktör olup, kesici takımlarda aşınma, çatlama, kırılma ve çeşitli deformasyonlar oluşturmaktadır. Kesme anında oluşan termal özellikler, takım ömrü ve aşınma ile sonuçlanacağından son derece önemlidir [44].

3.3.1. Talaş kaldırma esnasında oluşan ısı

Ortaya çıkan ısı miktarı, Şekil 3.9’da gösterilen bir çok parametreye bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 3.9. Kesme kuvvet diyagramı [45]

Burada, F_s kayma kuvvetidir. $F_f, \tau_s = \frac{F_s}{A_s}$ bu kuvvetin etkisiyle takım talaş ara yüzeyinde meydana gelen sürtünme kuvveti, V kesme hızı, V_s kesici takım ilerleme hızı ve V_c talaş akış hızlardır. Şekil 3.9'da gösterilen birinci ve ikinci bölgelerdeki üretilen ısı, kesme bölgesindeki kayma gerilmesi (τ), kayma açısı (ϕ_c), kesici takımın talaş açısı (α_r) ve sürtünme açısına (β_a) bağlı olarak da aşağıdaki (3.7) ve (3.12) nolu formüllerle belirlenebilir [23].

$$Q_s = F_s V_s = \frac{\tau_s b h V \cos(\alpha_r)}{\sin(\phi_c) \cos(\phi_c - \alpha_r)} \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte,

$$F_s = \tau_s b \frac{h}{\sin \phi_c}, \quad (3.6)$$

$$V_s = V \frac{\cos \alpha_r}{\cos \phi_c - \alpha_r}, \quad (3.7)$$

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s} \text{ ve} \quad (3.8)$$

$$A_s = b \frac{h}{\sin \phi_c} \text{ olarak alınır.} \quad (3.9)$$

$$Q_f = F_f V_c = \frac{\tau b h V \sin(\beta_n)}{\cos(\phi_n + \beta_n - \alpha_n) \cos(\phi_n - \alpha_n)} \quad (3.10)$$

$$V_c = r_c V = \frac{\sin \phi_c}{\cos(\phi_c - \alpha_r)} V \quad (3.11)$$

$$Q_s = \dot{m} c_s (T_s - T_\infty), \dot{m} c = \rho b h V (kg / s) \quad (3.12)$$

Kesme derinliği başına, kesici takım içerisinde ortalama sıcaklık artışı $\Delta \bar{T} = (T_s - T_\infty)$ aşağıda Oxley'in eşitliği ile verilmektedir [45].

$$\Delta \bar{T} = \dot{Q}_s \frac{(1-\psi)}{\rho c_s b h V} \quad (3.13)$$

Bu eşitlikte; Q_s kesilen talaş derinliği başına birinci bölgede üretilen ısı miktarı, ψ termal sayısına (R_t) ve kayma açısına (ϕ_c) bağlı olarak belirlenen boyutsuz değer, ρ (kg/m^3), yoğunluk, c_s (J/kgK), özgül ısı kapasitesi, anlık kesilmemiş talaş kalınlığı $h = s \cdot \sin \theta$ ve k_s (W/mK) kesilen talaşın iletkenlik katsayısıdır [45].

$$\psi = 0,5 - 0,35 \log_{10}(R_t \tan(\phi_c)) \quad (3.14)$$

$$0,004 \leq R_t \tan(\phi_c) \leq 10$$

$$\psi = 0,3 - 0,15 \log_{10}(R_t \tan(\phi_c)) \quad (3.15)$$

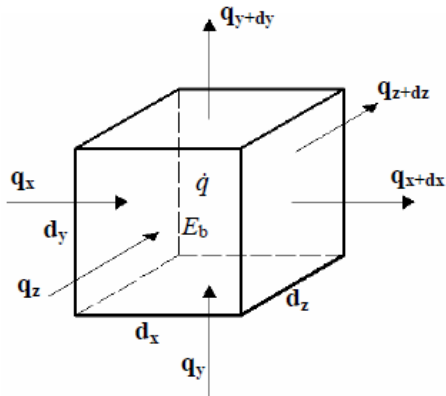
$$R_t \tan(\phi_c) \geq 10$$

Termal sayısı: $R_t = \frac{hV}{\alpha}$, ısı yayılım katsayısı:

$$\alpha = \frac{k_s}{\rho \cdot c_s} (\text{m}^2 / \text{s}) \quad (3.16)$$

3.3.2. Isı iletim genel denklemi

Şekil.3.10' da birim hacimdeki ($dv=dx dy dz$) bir düzlemsel diferansiyel kontrol elemanı gösterilmektedir. Kontrol hacmine, birim zamanda enerjinin korunumu kanunu uygulanırsa; birim hacim ve birim zamanda: *sisteme giren enerji + sistemden çıkan enerji + sistemde üretilen enerji = sistemde biriken enerji* şeklinde yazılabilir [46].



Şekil 3.10. Düzlemsel yüzeylerde dV diferansiyel kontrol hacmi [46]

$$A_x \cdot q_x + A_y \cdot q_y + A_z \cdot q_z - A_x \cdot q_{x+dx} - A_y \cdot q_{y+dy} - A_z \cdot q_{z+dz} + q dx dy dz = E_b \cdot dx dy dz \quad (3.17)$$

Buradan x, y, ve z koordinatları için sırasıyla alanlar $A_x = dy \cdot dz$, $A_y = dx \cdot dz$,

$A_z = dx \cdot dy$, Fourier ısı iletim denklemi;

$$\dot{q}_x = -k \frac{\partial T}{\partial x}, \quad \dot{q}_y = -k \frac{\partial T}{\partial y}, \quad \dot{q}_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad \text{ve} \quad (3.18)$$

$$\text{Biriken enerji } E_b = \rho \cdot c_s \frac{\partial T}{\partial t} \text{ olara yazılır.} \quad (3.19)$$

\dot{q}_{x+dx} , \dot{q}_{y+dy} ve \dot{q}_{z+dz} için Taylor seri açılımının ilk iki terimini göz önüne alıp yüksek mertebelerdeki terimleri ihmal edilirse;

$$\dot{q}_{x+dx} \approx \dot{q} + \frac{\partial \dot{q}_x}{\partial x} dx, \quad \dot{q}_{y+dy} \approx \dot{q} + \frac{\partial \dot{q}_y}{\partial y} dy \quad \text{ve} \quad \dot{q}_{z+dz} \approx \dot{q} + \frac{\partial \dot{q}_z}{\partial z} dz \text{ şeklinde ifade}$$

yazılabilir.

Bu değerleri eşitlik 3.14' de yerine yazarsak;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \text{ ısı iletiminin genel denklemi elde edilir.} \quad (3.20)$$

3.3.3. Kesme hızının sıcaklık üzerine etkisi

Talaş kaldırma işlemine etki eden en önemli parametrelerden biri kesme hızı olduğundan dolayı takım sıcaklığı üzerine kesme hızının etkisi incelenmeye değer bir faktördür.

Talaşların sıcaklığını gösteren en önemli özellikleri renkleridir. Bir çelik malzeme kuru ortamda ve yüksek bir hızda işlendiği zaman talaşın uzaklaştıktan birkaç saniye sonra kahverengi veya mavimsi bir renge doğru dönüştüğü görülür. Bu sıcaklık renkleri çeliğin yüzeyinde bulunan ince bir oksit tabakadan meydana gelir ve sıcaklık $250 \sim 350^\circ C$ olur. Çok düşük hızlarda talaş renk değiştirmez ama bu durumda da talaşın takıma yapışma durumu ortaya çıkar [43].

Birçok istisnai durumda, yüksek hızlarda tamamen sertleştirilmiş çelik ve nikel alaşımları işlendiğinde talaş takımı kırmızı olarak terk eder. (sıcaklık $650^{\circ}C$ nin üstündeyken). Ama bir çok durumda çelikler delinirken talaşta oluşan sıcaklık $200\sim 350^{\circ}C$ arasında kalır [47].

Kesme esnasında üretilen ısı, talaş, iş parçası ve takım arasında dağılır. Yine şekle dikkat edildiğinde ısıdan en az etkilenen bölge iş parçasıdır.

3.4. Sıcaklık Ölçümünde Kullanılan Veri Kaydediciler ve Isıl Çiftler

Talaş kaldırma işlemlerinde kesme işlemi esnasında kesici ile iş parçası ara yüzeyinde sıcaklık artışı meydana gelir. Sağlıklı bir kesme işlemi için meydana gelen bu sıcaklığın kontrol edilmesi büyük önem taşır. Sıcaklığın kontrol edilememesi kesici takım ömrünü azaltıp iş parçasının da kimyasal yapısında istenmeyen değişikliklere sebep olur. Delik delme işlemi için de bu bahsedilen olaylar tamamen geçerlidir.

Kesme esnasında oluşan sıcaklığın ölçülmesi için ısı çiftleri ve ısı çiftlerinin bağlandığı bilgisayara bağlı veri kaydediciler (Datalogger) yaygın olarak kullanılır.

3.4.1. Veri kaydedici

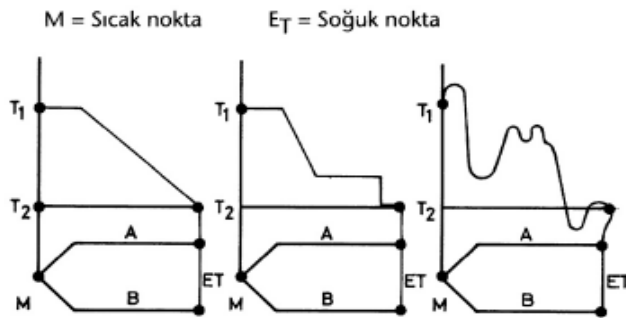
Veri Kaydedici belirli zaman aralıkları ile yapılan sıcaklık, nem, akım, gibi değerlerin ölçümlerini kaydeden cihazlardır [48].

Standart bir termometre ile veri kaydediciler arasındaki temel fark zaman içerisinde karşılaşılan koşulların kaydedilerek gözden kaçmasının engellenebilmesidir. Bu da kullanıcıya raporlama ve geriye dönük olarak koşullardaki değişimlerin analiz edilmesi imkanını sağlayarak aksaklıkların kaynağının bulunması ve düzeltilmesi imkanını vermektedir [48].

3.4.2. Isıl çift

Sıcaklık ölçümleri giderek artan oranda önemli bir konu haline gelmiştir. Çok çeşitli fiziksel özellikleri etkileyen bir parametre olması nedeniyle ölçülmesi gereken önemli bir değişkendir. Sıcaklık ölçümü için çok çeşitli yöntemler vardır. Bunlar içinde elektronik dünyasının en çok kullandığı sensörlerden birisi ısıl çifttir. Isıl çiftlerle -200°C ' ye kadar ölçüm yapılabilir [48].

Isıl çift iki farklı alaşım ucunun kaynaklanması ile oluşturan basit bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak anılır. Isıl çift ile ölçme, sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Isıl çiftlerin sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim, sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına orantılıdır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Isıl çiftlerde sıcak ve soğuk nokta sıcaklığının önemi [48]

Isıl çift endüstride sıcaklık ölçümlerinde çok geniş uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Isıl çift aslında iki farklı metal veya alaşım tel olmasına rağmen genelde ortama çıplak olarak daldırılmazlar. Çeşitli mekanik darbeler, fiziksel ve kimyasal aşındırıcı özellikler göz önüne alınarak belli özel koruyucu kılıflar içinde kullanılırlar. İki farklı eleman teli farklı kutuplarda oldukları için birbirlerinden izolatör yardımıyla izole edilirler. İzolatörlerin seçiminde yine ortam şartlarının,

sıcaklık limitlerinin önemi büyüktür. Gerek eleman tellerinin gerekse koruyucu tüplerin cinsleri ısı çiftlerinin ömürlerine direkt etki etmektedir.

Isıl çift teli tipleri

-200°C'den 2320°C'ye kadar çeşitli sıcaklık aralıklarında en çok kullanılan DIN 43710 ve IEC 584 standart ısı çift telinin çeşitlerinden bazıları Çizelge 3.3' te verilmiştir [48].

Çizelge 3.3. Bazı ısı çift çeşitleri[49]

Cu-Const (CuNi)	Bakır-Konstantan
Fe-Const (CuNi)	Demir-Konstantan
Cr-Al	Kromel-Alümel
NiCr-Ni	Nikelkrom-Nikel
Nikrosil-Nisil	NikelkromSilikon-Nikelsilikonmagnezyum
Pt% 13Rh-Pt	Platin Rodyum-Platin (% 13)
Tn-Tn% 26Re	Tungsten-Tungsten % 26 Renyum

Isıl çift tellerinin sıcaklık limiti

Isıl çift tellerinin dayanabileceği sıcaklık limitleri eleman tel çapına bağlıdır. Çap kalınlaştıkça çıkabileceği maksimum sıcaklık arttığı gibi, kalın çaplı tel inceye nazaran daha uzun ömürlü olabilecektir. Isıl çiftlerde kullanılan tellerinin çapları seçilirken şüphesiz kullanılan kılıf çapları da göz önüne alınır. Ayrıca Çizelge 3.4' de görüleceği üzere Cu-Const, Fe-Const, NiCr-Ni gibi eleman telleri 0.5 mm, 1 mm, 1.6 mm, 2 mm, 3 mm gibi çaplarda üretilirken PtRh-Pt eleman telleri en kalın 0.5 mm çapta olabilmekte, yaygın kullanılan çap 0.35 mm olmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 3.4' te ısı çift eleman çaplarına göre sıcaklık dağılımı verilmiştir [48].

Çizelge 3.4. Isıl çiftlerin eleman çaplarına göre sıcaklık dağılımı [48]

ELEMAN CİNSİ	SÜREKLİ °C	MAX °C	TEL ÇAPI
Cu-Const	300	600	0.2 mm
	300	600	0.5 mm
	300	600	1 mm
Fe-Const	400	600	0.5 mm
	600	800	1 mm
	600	800	1.5 mm
	700	900	2 mm
	700	900	2.5 mm
	700	900	3 mm
NiCr-Ni	600	800	0.5 mm
	800	1000	1mm
	900	1100	1.38 mm
	900	1100	1.5 mm
	1000	1200	2 mm
	1000	1200	2.5 mm
	1000	1200	3 mm

Koruyucu kılıflar

Isıl çift uygulamalarında dış koruyucu kılıfların önemi büyüktür. Eleman tellerinin proses içinde mekanik darbeler, kimyasal veya fiziksel aşınmalara karşı belli bir ömre sahip, dayanıklı olmaları için ortam şartlarına göre çeşitli kılıflar kullanılır. Isıl çift tel uçları kaynaklı ve izolatörlü bu kılıflar içine monte edilir. Genel olarak 1200°C' ye kadar metal, 1200°C' nin üzerinde seramik koruyucu kılıflar kullanılır. Bazı özel uygulamalarda 1200°C' nin altında seramik kılıflar kullanıldığı gibi 1200°C' nin biraz üstüne kadar olan uygulamalarda da özel alaşımlı metal kılıflar kullanılabilir [48].

3.5. Alüminyum ve Alaşımlarının İşlenebilirliği

Talaşlı imalat alanında kullanılan alüminyum malzemelerin birçoğu alaşımlıdır. Saf alüminyumun oldukça zayıf ve sünek bir malzeme olmasından dolayı kullanım alanı sınırlıdır [50]. Genellikle saf alüminyumun işlenmesi, çoğu alüminyum alaşımlarından daha zordur. Saf alüminyumun işlenmesinde uzun tel tel talaşlar çıkar ve onun abrasive özelliği nedeniyle, kesici takım üzerindeki talaştan daha serttir. Çoğu alüminyum alaşımları, yüksek kesme hızlarında işlenerek, iyi yüzey kalitesi ve uzun takım ömrü verirler. Genellikle, sertleştirilmiş ve temperlenmiş alaşımlar tavllanmış alaşımlardan daha kolay işlenir ve daha iyi yüzey meydana getirirler. Silisyum içeren alaşımları işlemek daha zordur, çünkü talaş kaymadan ziyade yırtılır ve bu nedenle kötü yüzey elde edilir [51].

Alüminyum alaşımları iyi bir işlenebilirliğe sahiptir. Takım ömrü, yüzey kalitesi ve talaş oluşumuna bağlı olarak işlenebilirlik genellikle iyidir. Kesme kuvvetleri düşüktür. Dövme ve döküm alaşımlar temperlenmiş halde tavllanmış hale göre daha iyi işlenirler. İşleme sıcaklıkları genelde düşüktür ve yüksek kesme hızlarının kullanımı söz konusudur. Kesme işlemi keskin, pozitif geometriler gerektirir ve genellikle alüminyum için özel geliştirilmiş takımlarla gerçekleştirilir, ancak alüminyum alaşımlarının birçoğunun modern, genel amaçlı takımlarla uygun şekilde işlenmesi de mümkündür. Doğru bir kayma işleminin gerçekleştirilmesi ve yığma kenar oluşumunun önüne geçilebilmesi için büyük talaş açlarına gereksinim vardır [50].

Saf Al işlendiğinde talaş sıvanması oluşmaz. Fakat çok yüksek kesme hızı dışında kötü yüzey kalitesi oluşur. Çoğu Al alaşımlarında birden fazla faz ihtiva ettiğinden düşük hızlarda BUE meydana gelir. Yüksek hızlarda, örneğin 60-90 m/dak üzerinde BUE oluşmaz. BUE'nin oluştuğu yerde takım kuvvetleri düşük, talaş ince fakat yüzey pürüzlülüğünün kötü olma ihtimali vardır. BUE elmas takımlar kullanılarak azaltılabilir veya yok edilebilir.

4. DENEYSEL TASARIM VE MODELLEME TEKNİKLERİ

Herhangi bir deneyde amaç, kesin çıkarımlarda bulunmak ya da üzerinde çalışılan konuya ilişkin bazı hipotezler hakkında bilgi vermektir. Kararlar kesin olmayışlığın ışığı altında verilir. İstatistik, kesin olmayışlığın ışığı altında karar verebilmek için kullanılan bir araç olarak adlandırılır. Kesin olmayışlık hiçbir bilgi olmadığını değil yalnız kesin sonucun tam olarak önceden kestirilmediğini belirtir. İstatistiksel teknikler deney yapısında kullanıldığında, karar verirken göz önüne alınacak riskin büyüklüğü belirlenebilir. Karar verme, istatistiksel yöntemlerin kullanımına dayandığında veri toplamayı gerektirir. Bu nedenle verinin toplanma yöntemi büyük önem kazanır. Bir deneyin tasarlanması, basit olarak deneyde izlenecek sıra (yol, düzen) olarak tanımlanır. Deneysel tasarımlar veri toplamadaki hatayı azaltmaya yardım ederler. Deneysel olarak çalışılacak bir projede, tasarım ve çözümleme evresindeki her bir aşamanın dikkatlice uygulanması gerekir [52].

Deneysel bir çalışmadan en iyi çıktı sistematik bir yaklaşım dikkate alındığı zaman elde edilir. Farklılıklar olmasına rağmen genel olarak deneysel bir çalışma; problemin tanımı, bağımlı ya da yanıt değişkenlerinin seçimi, bağımsız değişkenlerin seçimi, bağımsız değişkenlerin seviyelerinin belirlenmesi ve etken düzeylerinin nasıl birleştirileceği basamaklarını içermektedir. Deneysel tasarım; alınan gözlemlerin sayısı, deney sırası, kullanılacak rasgeleleştirme yöntemi ve deneyi tanımlayan matematiksel model temel bileşenlerinden oluşmaktadır. Çözümleme ise; veri toplama ve işleme, deney istatistiklerinin hesaplanması ve sonuçların yorumlanmasını içerir.

Bu çalışmada delme işlemlerinde optimum kesme şatlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan teknikler, Taguchi Metodu ve YSA' dır.

4.1. Taguchi Metodu

Kesme parametrelerinin daha verimli bir şekilde seçilmesini sağlamak ve harcanan zamanı ve malzemeyi azaltmak için Taguchi metodu alternatif bir yaklaşım olarak devreye girmektedir. Temel olarak Taguchi metodu, yüksek kalite sistemleri için güçlü bir yöntemdir. Maliyet, kalite ve performans tasarımlarını optimize etmek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Taguchi son yıllarda çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Taguchi metodu, bir ürün ya da prosesin mühendislik optimizasyonunu; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı gibi üç adımlık bir yaklaşım içerisinde çözebilmeyi amaçlamaktadır [53].

4.1.1. Sistem tasarımı

Sistem tasarımı aşaması Taguchi Metodunun ilk adımını oluşturmaktadır. Bu aşamada tasarımcı tarafından üründen beklenen fonksiyonların elde edilebilmesi için gerekli olan üretim teknolojileri tasarlanır ve ürün için en uygun olanı seçilir. Fakat bu işlemler tam müşteri tatminini sağlayacak olan hedef değerden minimum sapma ile yapılmalıdır. Üretilmesi düşünülen ürünle ilgili olarak öncelikle mevcut pazarın tanımlanması, yeniliklerin değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Ayrıca bu aşamada ürün ağacındaki parçaların, malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesinde gerekli olan karakteristiklere ilişkin bir takım kararlar verilir.

Herhangi bir ürün için sistem tasarımı süreç aşamasında da gerçekleştirilir. Süreç, ürünü etkileyebilecek faktörlere karşı minimum duyarlı hale getirilir. Amaç, ürünü en ideal kalitede ve mümkün olduğunca minimum maliyetle belirlenen tolerans limitleri dahilinde, üretebilecek bir üretim sistemini tasarlamaktır [54].

Sistem tasarımı yeni ürün ve süreç gelişiminin evrensel safhasıdır. Kavramlar önceki deneyimleri, bilimsel temelleri, mühendislik bilgileri, yeni gelişimleri ve bunların

tümünün uygun kombinasyonlarını temel almaktadır. Sistem tasarımının arkasındaki strateji; yeni fikirler almak ve bunları çalışır hale getirmektir [55].

4.1.2. Parametre tasarımı

Taguchi Metodunun ikinci adımı olan parametre tasarımı hem ürün hem de süreç tasarımı için ürün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapıldığı aşamadır.

Ürün parametre tasarımı, ürün parametreleri, malzeme formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey örnekleri gibi kriterlerin optimal değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Ürün parametre tasarımı ve süreç parametre tasarımında amaç, üründe ve süreçte, varyasyon (hedef değerden farklılık yani kalitesizlik) yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek, ürün ve süreçteki varyasyonu en aza indirmektir. Taguchi bu amaçla gerçekleştirilen ürün ve süreç tasarımına sağlam (robust) tasarım demektedir. Burada belirtilen sağlam tasarım, kontrol edilemeyen nem, toz, ısı, gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız ürün ve süreç tasarımı anlamında kullanılmaktadır. Sağlam tasarımda, kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka faktörlerin ayarlanması sonucu azaltılmaktadır. Deney tasarımı bu amaçla kullanıldığı zaman, maliyeti arttırmadan kaliteyi geliştirmek mümkün olmaktadır [56].

Ürün ve süreç parametre tasarım aşamalarında, optimal değerlerinin belirlenmesi gereken birbiriyle ilişkili çok sayıda kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktör vardır. Bu faktörlerin, ürün ve ürünün performansına olan etkilerinin belirlenebilmesi için en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Deney tasarımı aracılığıyla bir çok faktörün ürün üzerindeki etkisini ekonomik olarak belirlemek ve varyasyon yaratan faktörlere karşı önlemleri tasarım aşamasında almak mümkün olmaktadır [56].

4.1.3. Tolerans tasarımı

Parametre tasarımında, tasarım parametreleri için gerekli olan hedef değerler ayarlanır. Üretim sırasında olabildiğince bu hedef değerlere ulaşılmaya çalışılır. Fakat üretim sürecinde her zaman bir değişim söz konusu olduğundan bir tolerans aralığı verilmesi gerekir. Tolerans tasarımı, parametre çalışmaları sonucu istenilen hedefe varılamadığı takdirde yapılacak süreç veya ürün parametreleri için en iyi toleransları belirleme çalışmalarını ifade etmektedir. Bu aşamada gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur ve bu sapmalar azaltılır.

Sistem tasarımını tamamlayıp, sistemi oluşturan elemanların parametrelerinin optimal değerleri belirlendikten sonra oluşacak kalite kaybı katlanılacak kalite maliyeti ile birlikte değerlendirilerek, her bir parametre (faktör) için tolerans elde edilir. Tolerans sınırları daraldıkça üretim maliyetleri artacağı için ürün de daha maliyetli olarak üretilir. Üretim maliyetlerindeki artışın nedeni üretim hattının daha sıkı kontrol edilmesi, daha dar toleransla çalışan teknolojik açıdan daha pahalı tezgahlara ihtiyaç duyulmasıdır. Aksi takdirde, tolerans sınırları genişledikçe, ürünün ilgilenilen fonksiyonunun hedef değerden sapmaları da büyüyecektir. Bunun sonucu olarak kalite kayıpları artacaktır. Tolerans tasarım adımında en ekonomik tolerans belirlenir. Belirlenen bu toleranslar ile hedef değerden kabul edilebilir sapmalara göre ürün maliyeti minimize edilmektedir.

Üretim sürecindeki değişimler olabildiğince azaltılsa bile amaç hala hedef değere ulaşmaktır. Ne yazık ki bazı durumlarda değişkenlik çok büyük olmakta ve değişkenliği düşürmek için toleransların küçültülmesi gerekmektedir. Tipik olarak her bir kontrol parametresinin yaklaşık olarak katkısını belirleyebilmek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmakta böylece tolerans daraltmada, gelişmiş malzeme kullanma durumunda veya diğer yüksek maliyetle kaliteyi geliştirmeye degecek faktörler tanımlanmış olmaktadır. Üretici daha düşük malzeme özellikleri kullanarak bir üründen daha fazla kar elde etmek amacıyla ürün karakteristiklerinin tolerans

limitlerinin uç noktalarına yaklaşılmamasına izin vermemelidir. Tasarım parametreleri seçilirken toplam ürün maliyeti ile müşteri maliyetinin toplamı göz önüne alınmalıdır. Tolerans değerleri, ürün karakteristiklerinin hedef değerden olan sapmalarının oluşturduğu toplumsal kayıpla, ürün karakteristiklerinin tolerans dışına çıktığında üreticinin bunu düzeltmek amacıyla yaptığı harcamaları dengeleyecek bir biçimde seçilir. Toleransların uygun seçilmesi önemli bir ekonomik konu olması kadar önemli bir kalite konusudur [57].

Tolerans tasarımında üç tür kalite değişkeni vardır;

- *En büyük en iyi:* Bu tip tolerans çalışmalarında kalite değişkeninin bir üst sınırı yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçü büyüdükçe verimlilik de artacaktır.
- *En küçük en iyi:* Bu tip toleranslar üretim sürecindeki hurda yüzdesi gibi amaç değerinin sıfır olduğu toleranslardır. Tolerans azaldıkça sistemin verimliliği artacaktır.
- *Hedef değer en iyi:* Sapmaların iki yönde de oluşabildiği tolerans tipidir.

Tolerans tasarımı kalite geliştirme sürecinin bir adımı olmasının yanında aynı zamanda bir kalite değerlendirme faaliyetidir.

4.1.4. Taguchi'nin Sinyal/Gürültü Oranları

Taguchi, varyasyonu azaltmak amacıyla deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirmiştir. Taguchi, uygulamadaki problemleri hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü (S/N)oranı tanımlamıştır.

En Küçük-En İyi

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni y 'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanabilir.

$$S / N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4.1)$$

En Büyük-En İyi

Bu durumda y 'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanır.

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

Hedef Değer-En İyi

Bu tür problemlerde, y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda,

$$S / N = 10 \log \mu^2 / \sigma^2 \quad (4.3)$$

Her üç tip problemde de, amaç S/N oranını maksimize etmektir. Taguchi'ye göre, S/N oranlarının maksimize edilmesi, bir yandan sinyali arttırırken, diğer yandan da değişkenliği azaltmaktadır.

4.1.5. Uygun Ortogonal Düzenin Seçilmesi

Ortogonal dizinin kullanımı sadece Taguchi'ye mahsus değildir. Ancak Taguchi, kullanımları basitleştirmiştir. Ortogonal dizinin ilk kullanılması, 1930'lu yıllarda,

İngiltere’de Fisher tarafından olmuştur. Ortogonal dizi, dengelenmiş dizi anlamında kullanılmaktadır [58].

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

- d: Toplam deney sayısı,
- a: Faktörlerin düzey sayısı
- k: Faktör sayısı
- L: Ortogonal diziyi olmak üzere,

$$L_d(a)^k \text{ ya da } L_d \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Genel olarak kullanılan diziler 2 seviyeliler için L_4 , L_8 , L_{16} ve L_{32} ve 3 seviyeliler için L_9 , L_{18} ve L_{27} dizileri olmaktadır. Dizilerin seçimi düzey sayısı ve toplam serbestlik derecesine göre yapılmaktadır.

4.1.6. Varyans Analizi

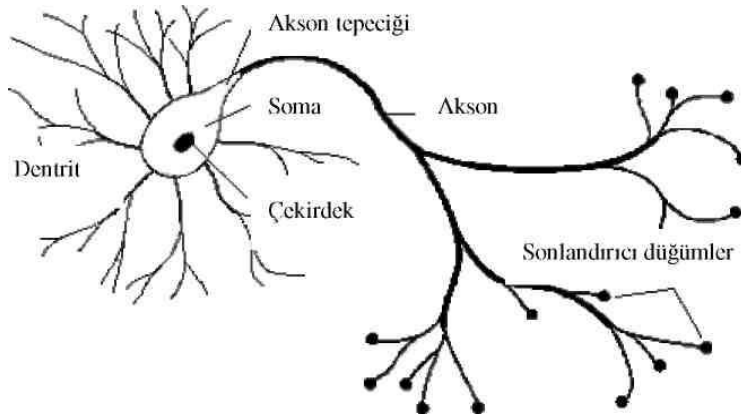
Test yapmanın amacı ürün veya proses değişimini kontrol etmek ve performansı etkileyen faktörleri bulup problemin çözümüne ilişkin karar vermektir. Varyans analizi (Analysis of Variance: ANOVA) test edilen parça gruplarının performansları arasındaki farklılığı göstermek için Çizelge oluşturulur. Varyans analizine F testi de denmektedir. Varyans analizi çizelgesi oluşturulduktan sonra, F testi hangi faktörlerin önemli olduğunu gösterir.

4.1.7. Doğrulama deneylerinin yapılması

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

4.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Biyolojik sinir ağının temel inşa bloğu olan basit bir sinir hücresi, nöron olarak adlandırılır. Şekil 4.1’ de şematik diyagramı gösterilen tipik sinir hücresi üç ana bölümden oluşur. Soma olarak adlandırılan hücre gövdesi, akson ve dendritler. Dendritler, dendritik ağaç biçimindedir ve nöron gövdesi civarında uzun çalılar görünümündedirler. Dendritler üzerinden girişler alınır ve soma tarafından girişler işlenir. Nörondaki sinyalleri taşıyan uzun bir sinirsel bağlantı halindeki akson ise işlenen girişleri çıkışa aktarır. Akson dendrit bağlantısı ise “synapse” olarak adlandırılır (Şekil 4.1). Synapse nöronlar arasında elektrokimyasal bağlantıyı sağlamaktadır.



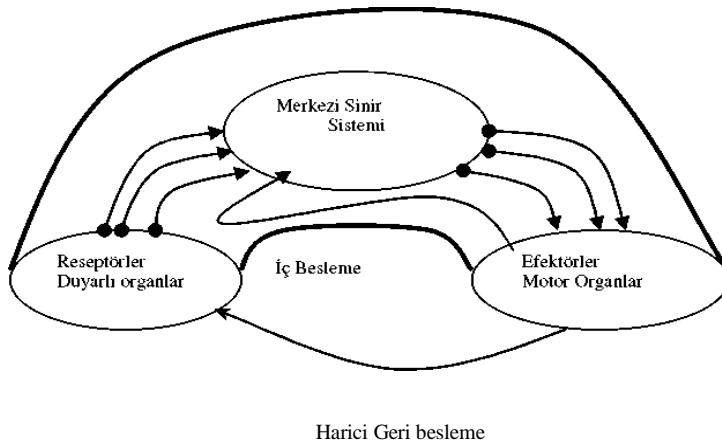
Şekil 4.1 Basit bir sinir hücresi [59].

Bir insanın beyin korteksinde yaklaşık 10 milyar nöron ve yaklaşık 60 trilyon synapse veya bağlantının bulunduğu tahmin edilmektedir. Sonuçta beyin son derece

verimli bir yapıdır. Beyin son derece kompleks, doğrusal olmayan ve paralel bir bilgisayardır [59]. Beynin, nöronları organize etme yeteneği böylece kesin hesaplamaları gerçekleştirmesi (örüntü tanıma, algılama gibi) bugünün en hızlı sayısal bilgisayarlarından daha hızlıdır. Diğer taraftan bir sinir hücresinin tepki hızı günümüzün bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte, duyuşal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir.

Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir.

Bir hipoteze göre nöronlar birbirleriyle elektriksel sinyaller aracılığıyla haberleşmektedir. Ayrıca nöronlar kimyasal bir ortamda çok yoğun beyinsel faaliyetleri yerine getirmektedirler. Böylece beyin biyokimyasal işlemlerin gerçekleştiği son derece yoğun bir elektriksel ağ gibi düşünebilir. Çok büyük sinir ağı çok karmaşık ve ayrıntılı bir yapıyla birbirine bağlıdır. Ağa giriş duyarlı algılayıcılar (reseptörler) ile sağlanır. Reseptörler uyarıyı gövdeye götürürler. Uyarılar elektriksel sinyaller biçimindedir. Nöron ağının içine bilgi taşınması ve merkezi sinir sisteminde bilginin işlenmesi sonucu efektörler kontrol edilir. Bundan sonra insan cevabını çeşitli eylemler şeklinde verir. Yukarıda belirtildiği gibi sinir sisteminde bilgi akışı üç ana kısımda oluşmaktadır: Reseptörler, Sinir ağı ve Efektörler (Şekil 4.2).



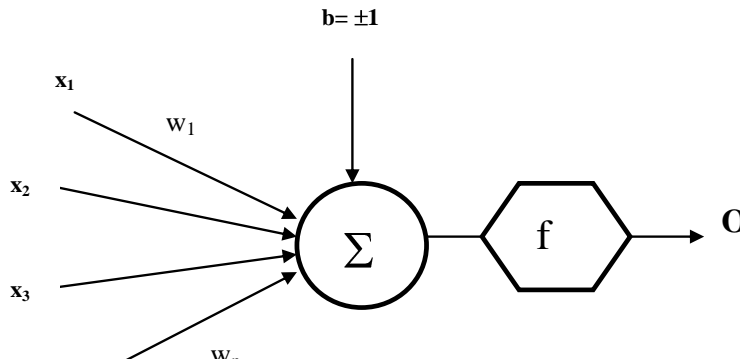
Şekil 4.2 Sinir sisteminde bilgi akışı [59].

Şekil 4.2' de görüldüğü gibi, bilgi işlenmekte, değerlendirilmekte ve merkezi sinir sisteminde depolanan bilgiyle karşılaştırılmaktadır

Gerekli olduğunda komutlar o yerde üretilir ve motor organlara iletilir. Motor organlar eylemi doğrulayan geri beslemeli bağlantılarla merkezi sinir sistemini yönetir ve denetlerler. İç ve dış geri beslemeli kontrolün ikisi de komutlarla gerçekleştirilir.

4.2.1 Yapay sinir ağı hücresi

Temel bir Yapay Sinir Ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. Yapay Sinir Ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan yada diğer nöronlardan alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır (Şekil 4.3). Dış ortamdan alınan veri, ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar. Net giriş, girişlerle bu girişlere karşılık gelen ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan (nonlinear) bir fonksiyondur. Şekilde görülen b bir sabittir ve aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır. Nöronun matematiksel modeli Şekil 4.3' de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Temel Yapay Sinir Ağı hücresi [59].

$$\text{Çıkış, } o = f(W.X + b)$$

(4.5)

şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki W ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir.

4.2.2. Yapay Sinir Ağlarını Oluşturan Temel Elemanlar

Yapay bir nöron (proses elemanı) beş temel öğeden oluşur. Bunlar girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon formülü ve çıktılarıdır.

4.2.3. Girdiler

Proses elemanın dış ortamdan bilgileri (verileri) alan elemanlarıdır. Veriler bu safhada bir işleme tabi tutulmadan aynen iletilirler.

4.2.4. Ağırlıklar

Bir nörona eş zamanlı birçok veri girişi olabilir. Bu veriler nörona gelirken kendine ait olan ağırlık değeriyle çarpılır. Ağırlık değerleri pozitif, negatif ya da sıfır olabilir. Ağırlık değerleri kullanılan birçok öğrenme kurallarına ve ağın mimarisine göre değişebilmektedir. Girdilerin toplama fonksiyonu üzerindeki etkileri ağırlıkları miktarınca olur.

4.2.5. Toplama Fonksiyonu

Proses elemanında girdiler ağırlıklarla çarpıldıktan sonra toplama fonksiyonuna gönderilirler. Girdiler ve ağırlıklar, aktivasyon fonksiyonuna gitmeden önce birçok şekilde bütünleştirilebilirler. Genel olarak girdiler ve ağırlıkların çarpılmasıyla bulunan değerler toplanmak suretiyle aktivasyon fonksiyonuna gönderilir. Kimi zaman kullanıcının tercihine göre bu değerlerin en büyüğü, en küçüğü ya da kümülatif toplamı vb. kullanılabilir. Hangi problemde hangi toplama fonksiyonunun kullanılacağına dair henüz bulunmuş bir formül yoktur. Her nöron aynı toplama fonksiyonunu kullanabileceği gibi ayrı ayrı fonksiyonlarda kullanabilir.

4.2.6. Aktivasyon Fonksiyonları

Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili seçilebilir. Aşağıda, hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan çeşitli aktivasyon fonksiyonları tanıtılmıştır.

a) Doğrusal fonksiyon

$$F_{(o)} = k \cdot o \quad (4.6)$$

b) Adım fonksiyonu

$$F_{(o)} = \begin{cases} u \geq 0 \Rightarrow 1 \\ u < 0 \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (4.7)$$

c) Rampa fonksiyonu

$$F_{(o)} = \begin{cases} u < 0 \Rightarrow 0 \\ u = 0 \Rightarrow u/k \\ u > 0 \Rightarrow 1 \end{cases} \quad (4.8)$$

d) Sigmoid fonksiyonu

$$F_{(o)} = \frac{1}{1 + e^{-\sum x_j \cdot w_j}} \quad (4.9)$$

$$F_{(o)} = \begin{cases} u > 0 \Rightarrow 1 \\ u = 0 \Rightarrow 0 \\ u < 0 \Rightarrow 1 \end{cases} \quad (4.10)$$

e) Fermi fonksiyon

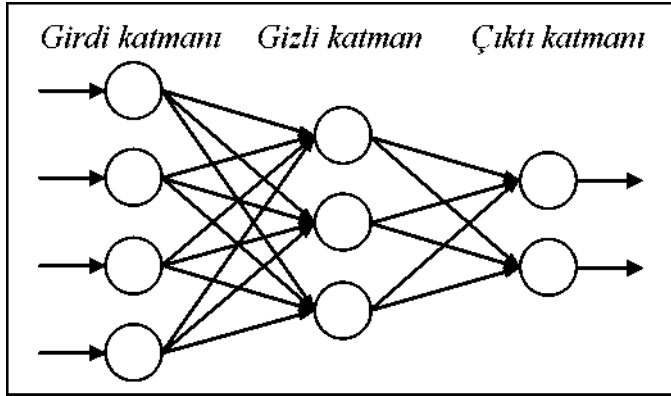
$$f) F_{(o)} = \frac{1}{1 + e^{-4 \left(\sum_{i=1}^n I_i \cdot w_i - 0,5 \right)}} \quad (4.11)$$

4.3. Yapay Sinir Ağları Topolojisi

YSA, birbirlerine bağ ağırlıkları ile bağlı, katmanlar halinde düzenlenmiş ve kendine ait çıkış değerini belirlemek için toplama ve eşik fonksiyonu gibi işlemler gerçekleştiren ve işlem elemanı denilen yapılardan meydana gelir. Her işlem elemanının bilgi toplama ve bunu işleyerek diğer elemanlara gönderme özelliği vardır. YSA, gerçekleşen örnekleri kullanarak öğrendiği için kullanılan örneklerin, bilgisayarın öğrenmesi istenen ilişkileri doğru şekilde temsil etme özelliklerinin olması gerekmektedir. Ağı oluşturan işlem elemanları birbirleri ile bağlıdır. Her bağlantının bir değeri vardır. Bu değerler ağın olay hakkında sahip oldukları bilgiyi temsil eder. YSA'nın fonksiyonlarını gerçekleştirmede, sahip oldukları fiziki yapının da rolü vardır. Birbirinden farklı yaklaşık 30 civarında farklı yapılanma veya topolojiden (modelden) bahsedilmekte ve bu sayı her geçen gün artmaktadır[64]. YSA temel olarak, basit yapıda ve yönlü bir çizge biçimindedir. Bir YSA modeli, sahip olduğu birleşme fonksiyonu, transfer fonksiyonu, mimarisi, kullanılan öğrenme kuralı ve öğrenme stratejisi ile tanımlanır. İşlem elemanlarının bir grubu, katman olarak isimlendirilen bir yapıyı oluşturur. İşlem elemanları bağlantılarla birbirlerine bağlanıp katmanlar elde edilerek bir ağ oluşturur. Bir ağın yapısı, ağın bağlantı tarzı ve işlem elemanlarının katman yapısına bağlı olarak tanımlanır.

YSA'lar işlem elemanlarının katman yapısına bağlı olarak *tek* ve *çok katmanlı ağlar* olmak üzere iki grupta tanımlanırlar [60]. *Tek Katmanlı Ağlar*: Verilerin ağa sunulduğu girdi katmanı ile çıkışların elde edildiği çıktı katmanından ibarettir ve sadece lineer problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. *Çok Katmanlı Ağlar*: Genel itibariyle birbirine bağlanan; ağın giriş değerlerinin verildiği *girdi katmanı*, girdi katmanından gelen bilgileri transfer (aktivasyon) fonksiyonuyla işleyerek çıktı

katmanına ileten *gizli katman* ve ağıın çıkış değerlerinin elde edildiği *çıkış katmanı* olmak üzere üç tür katmandan oluşur (Şekil 4.4). Girdi katmanındaki giriş sayısı kadar nöron (işlem elemanı) bulunur ve bu katmandaki işlem elemanları veriyi değer olarak gizli katmandaki işlem elemanlarına aktarırlar. Yani girdi katmanında çoğu zaman bilgi işleme söz konusu olmaz. Çıkış katmanındaki işlem elemanı sayısı problemin çıkış sayısı kadardır. Taşıdıkları sinyali toplayan ağırlık kümesi ve takip eden işlem elemanlarından oluşan katmanlardaki işlem elemanları; tam bağlantılı (Şekil 4.4), kısmi bağlantılı veya ikisinin kombinasyonu şeklinde olabilir. Genellikle, bir katmandaki her iki işlem elemanı, aynı birleşme ve transfer fonksiyonu ile aynı öğrenme kuralına sahiptir [60].



Şekil4.4. Tam bağlantılı çok katmanlı ağ yapısı

İşlem elemanlarının birbirleriyle ilişkileri ve katmanlar arası ilişkiler değişik yapısal modellerin oluşmasına neden olmaktadır. YSA'daki bağlantıların düzeni, mimarisini teşkil etmektedir. Genelde bağlantılara göre *tek yönlü hiyerarşik* ve *çift yönlü tam bağlantılı sinir ağı* olmak üzere iki sınıf mimarinin mevcut olduğu söylenebilir[58]. Tek yönlü hiyerarşik bağlantılı sinir ağında ayrı ayrı işlem elemanı grupları katmanlara yerleştirilmiştir. Her bir işlem elemanı katmanındaki işlem elemanları önceki ve sonraki katmanlardaki işlem elemanlarıyla ilişkilendirilmiş olup; sinyalin yönü sadece girişten çıkışa doğru yönlendirilen bir ağ topolojisiyle gösterilmiştir. YSA ile modellemede yaygın olarak kullanılan geri yayılma (*backpropogation*) modeli bu tür topolojiye örnek olarak verilebilir. Çift yönlü tam bağlantılı sinir

ağında ise tüm elemanlar birbiri ile birleştirilmiştir. Yani her bir işlem elemanı çıkışı diğer tüm işlem elemanlarının girişleri ile ilişkilendirilmiştir (n işlem elemanı olan böyle bir ağda ilişkilerin sayısı $n \times n$ olacaktır).

4.4. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

İnsan beyni doğumdan sonraki gelişme sürecinde çevresinden duyu organlarıyla algıladığı davranışları yorumlar ve bu bilgileri diğer davranışlarında kullanır. Yaşadıkça beyin gelişir ve tecrübelenir. Artık olaylar karşısında nasıl tepki göstereceğini çoğu zaman bilmektedir. Fakat hiç karşılaşmadığı bir olay karşısında yine tecrübesiz kalabilir. Yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde de, tıpkı dış ortamdan gözle veya vücudun diğer organlarıyla uyarıların alınması gibi dış ortamdan girişler alınır, bu girişlerin beyin merkezine iletilerek burada değerlendirilip tepki verilmesi gibi yapay sinir ağında da aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki çıkışı üretilir. Bu çıkış yine tecrübeyle verilen çıkışla karşılaştırılarak hata bulunur. Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata azaltılıp gerçek çıkışa yaklaşılmaya çalışılır. Bu çalışma süresince yenilenen yapay sinir ağının ağırlıklarıdır. Ağırlıklar her bir çevrimde yenilenerek amaca ulaşmaya çalışılır. Amaca ulaşmanın veya yaklaşmanın ölçüsü de yine dışarıdan verilen bir değerdir. Eğer yapay sinir ağı verilen giriş-çıkış çiftleriyle amaca ulaşmış ise ağırlık değerleri saklanır. Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşılan kadar geçen zamana öğrenme adı verilir. Yapay sinir ağı öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girişler verilip, sinir ağı çıkışıyla gerçek çıkışı yaklaşımı incelenir. Eğer yeni verilen örneklere de doğru yaklaşıyorsa sinir ağı işi öğrenmiş demektir. Sinir ağına verilen örnek sayısı optimum değerden fazla ise sinir ağı işi öğrenmemiş ezberlemiştir. Genelde eldeki örneklerin yüzde sekseni ağa verilip ağ eğitilir, daha sonra geri kalan yüzde yirmilik kısım verilip ağın davranışı incelenir diğer bir deyişle ağ böylece test edilir [61].

5. MALZEME VE METOT

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

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

Deneysel çalışmada, sıcaklık ölçümünü gerçekleştirmek için yine literatürde kullanımı yaygın olan bir yöntem olan, *Termokupl (Isıl çift) yöntemi* kullanılmıştır. Bu çalışmada Termokupl, matkap içindeki soğutma delikleri boyunca ısıl çiftler yerleştirilmiş, matkap özel olarak tasarlanmış tutucuya yerleştirilmiştir.

5.1. Deneyde Kullanılan İş Parçası Malzemesi ve Özellikleri

Alüminyum endüstrisindeki hızlı büyüme bu metalin eşsiz özellik ve kombinasyonuna atfedilmektedir. Bu özellikler alüminyumu çok yönlü yapı ve mühendislik malzemelerinden biri yapmaktadır. Alüminyum ağırlıkça hafiftir ve alaşımları yapı çeliklerinden daha fazla mukavemetlendirilmişlerdir. Alüminyum iyi elektriksel ve ısıl 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 [62].

Deneyleerde, iş parçası malzemesi olarak \varnothing 25 mm, boy 25 mm olan silindirik Alüminyum 6061 malzeme kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılan malzemenin kimyasal bileşenleri Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Alüminyum 6061 alaşımının kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,636	0,432	0,277	0,116	1,00	0,053	0,120	0,013	97,353

5.2. Deneyleerde Kullanılan Kesici Takımlar

Modern sinterlenmiş karbür delik delme takımları çok verimlidir ve hala birçok uygulamada kullanılan yüksek hız çeliği (HSS) helis matkaplardan bu yana büyük gelişim göstermiştir. Bu gelişim sayesinde delik başına işleme maliyeti önemli derecede azalmıştır. Yekpare (solid) sinterlenmiş karbür matkaplar için takım ömrü, HSS matkaplara göre 20 kat civarında daha iyidir ve kesme hızı kapasitesi aynı ilerleme oranı için daha yüksektir. Günümüzde kullanılan matkap ucu geometrileri, geleneksel kesme kenarının kesme hareketini büyük miktarda geliştirirken takım malzemeleri de performansı ve takım ömrünü önemli ölçüde arttırmıştır [12].

Yekpare karbür helis matkaplar, işlem ve tezgaha bağlı olarak, daha düşük kesme hızlarında, daha yüksek ilerlemelerde çalışırlar. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarla ise yüksek kesme hızları, düşük ilerlemeler için kullanılır.

Bütün bu hususlar göz önünde bulundurularak, bu araştırmada yekpare (solid) helisel karbür matkaplar kullanılmıştır. Matkapların çapı 14 mm olarak seçilmiştir. Karar verilen \varnothing 14 mm matkap, kesici ucundaki sıcaklığın ısı çifti ile ölçülebilmesi için ısı çiftinin soğutma kanallarından geçebilecek minimum şartları sağlamaktadır. Kullanılan matkapların standardı DIN 6537 K dir ve matkapların delme derinliği 3D dir.

Kesici takım üzerine uygulanan kaplamaların takım performansını artırdığı bilinmektedir. Kaplama uygulamasının işleme çıktıları üzerindeki etkilerini de değerlendirmek amacıyla, kaplamasız karbür matkaplarla beraber TiN/TiAlN/TiCN

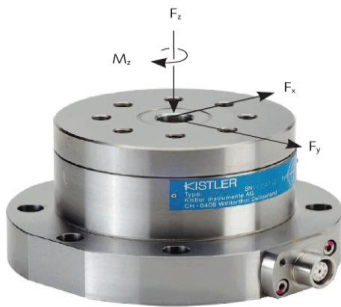
çok katmanlı kaplamalı karbür takımlarla Al6061 malzemesinin delinebilirliği üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 5.2' de deneylerde kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri

	Kaplamasız	TiN/TiAlN/TiCN Kaplamalı
Yoğunluk (gr/cm^3)	14,6	12,6
Basma Dayanımı (MPa)	5000	4600
Young Modülü (GPa)	590	550
Poisson Oranı	0,22	0,22
Termal İletkenlik (W/mK)	70	45
Termal genişleme katsayısı ($10^6/\text{K}$)	5,6	6,7

5.3. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Kesme kuvvetlerinin ve momentin deneysel olarak belirlenmesi için üç kesme kuvveti bileşenini (F_x , F_y , F_z) ve momenti (M_z) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, kuartz kristal esasıyla çalışan *KISTLER 9272* (Resim 5.1) tipi dinamometre ve *Kistler Type 5070 amplifier* kullanılmıştır. Dinamometre tezgah tablasına bağlanmış ve takımları bağlamak için özel tasarlanan bağlama aparatı da dinamometreye bağlanmıştır.



Resim 5.1. KISTLER 9272 tipi dinamometre [12]

5.4. Deneyde Kullanılan Sıcaklık Ölçüm Cihazları

Talaş kaldırma sırasında kesme bölgesindeki sıcaklık, kesme derinliği ve takım geometrisi gibi faktörlerden etkilenmektedir. Aynı zamanda sıcaklık, kesici takımın

fiziksel özellikleri kadar işlenen malzemenin özelliklerine de bağlıdır. İş parçası ve takım malzemesine bağlı olarak kesme sırasında oluşan sıcaklıklar üzerinde kesme parametrelerinin etkisini ortaya koyan literatürde yapılmış pek çok araştırma mevcuttur [12].

Matkapta oluşan sıcaklığın ölçülmesi için $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıkları ölçebilen K tipi bir ısıl-çift kullanılmıştır. Isıl çift matkabın soğutma deliklerine yerleştirilerek, sıcaklık delme işlemi boyunca ölçülmüştür (Resim 5.2). Sıcaklık ölçümleri için, *PICO* marka 8 kanallı data logger kullanılmıştır. Cihaz USB veri kablosu ile bir diz üstü bilgisayara bağlanarak verilerin bilgisayar ortamında *PicoLog Recorder* yazılımı ile değerlendirilmesi ve grafiklere dönüştürülmüştür.



Resim 5.2. Soğutma delikleri boyunca ısı çifti yerleştirilmiş matkap

5.5. CNC Freze Tezgahı

Talaş kaldırma deneyleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalında bulunan Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Bu tezgahın özellikleri Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan tezgahın teknik özellikleri

Tezgahın Gücü (Kw)	5
En Yüksek Devir Sayısı (dev/dak)	6000
Sırayla x, y, z eksenleri (mm)	600, 500, 600
Ölçü Hassasiyeti (mm)	0,001
Kontrol Paneli	Fanuc

5.6. Kesme Parametreleri

Kaplamasız ve kaplamalı matkapların her ikisi içinde üç kesme hızı üç ilerleme oranı kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılan bu kesme parametrelerinin tayini, literatürden istifade ederek ve kesici takım katalogunda tavsiye edilen değerler göz önüne alınarak ön deney çalışmaları neticesinde belirlenmiş olup Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri

Kesme Hızları (m/dak)	170	200	230
İlerleme (mm/dev)	0,1	0,2	0,3

5.7. Deney Düzenegi

Bu çalışmanın en önemli amaçlarından biride endüstriyel uygulamalara katkı sağlayarak, gerçek çözümler üretmektir. Bu amaç dikkate alınarak, faktör seçiminde günümüz imalat sanayinde kullanılan süreç 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 kullanılabilecek parametrelerden; kullanılan takım, ilerleme oranı ve kesme hızı gibi özellikler dikkate alınmıştır. En uygun faktörlerin seçilerek, en iyi kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Delme deneyinde, kaplamalı (TiN/TiAlN/TiCN) ve kaplamasız olmak üzere iki tip matkap (soğutma kanallı) kullanılmış olup kullanılan matkapların uç açıları 140° dir. Deneyleer üç farklı kesme hızı (170, 200, 230) ve üç farklı ilerleme (0,1 0,2 0,3) değerlerinde CNC freze tezgâhında yapılmıştır. Belirlenen faktör ve bunların seviyeleri ışığında Taguchi L_{18} deney düzenegi çerçevesinde deneyleer yapıldı. Belirlenen faktör ve bunların seviyeleri Çizelge 5.5’ de, Taguchi L_{18} deney düzenegi ise Çizelge 5.6’ de sunulmuştur.

Çizelge 5.5. Deney faktörleri ve seviyeleri

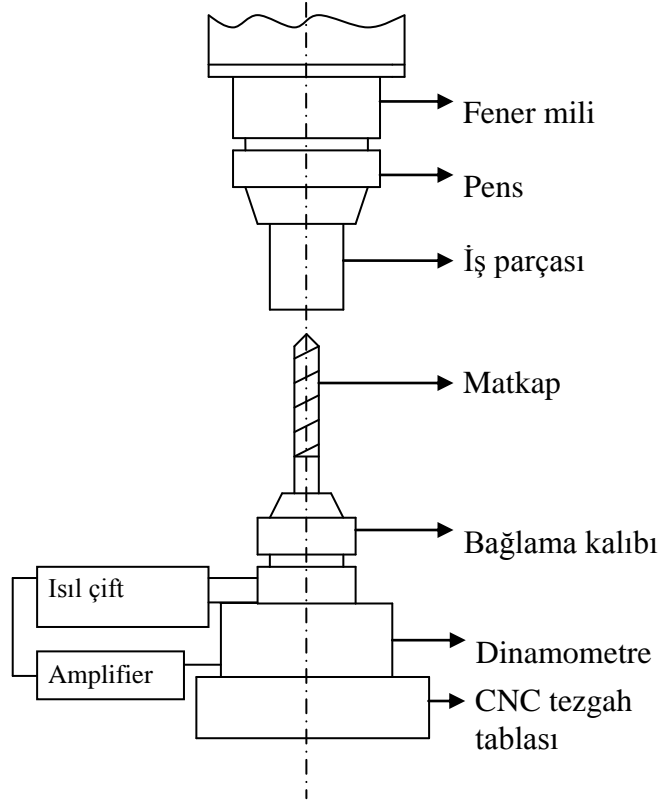
Sembol	Kesme Parametreleri	Seviyeler		
		1	2	3
A	Takım	Kaplamasız	Kaplamalı	----
B	İlerleme oranı, f (mm/dev)	0,1	0,2	0,3
C	Kesme hızı, V_c (m/dak)	170	200	230

Çizelge 5.6. Taguchi L_{18} deney düzeni

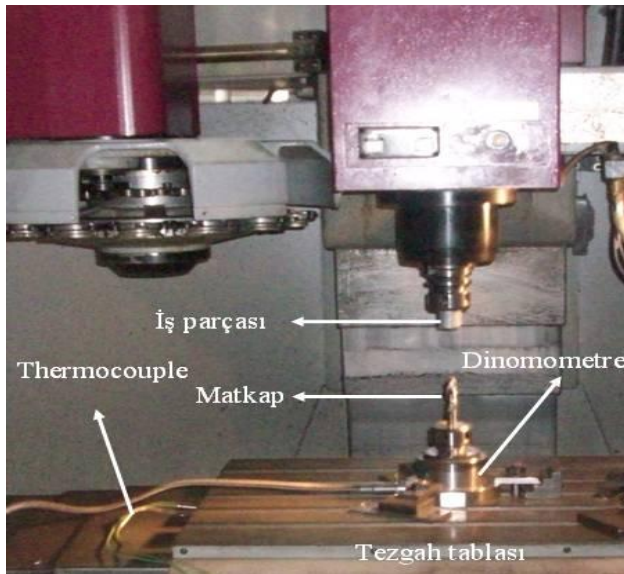
Deney no	A (Takım)	B (İlerleme oranı)	C (Kesme hızı)
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	2	1	1
11	2	1	2
12	2	1	3
13	2	2	1
14	2	2	2
15	2	2	3
16	2	3	1
17	2	3	2
18	2	3	3

Soğutma delikleri boyunca ısıl çift yerleştirilmiş matkap özel olarak tasarlanmış tutucuya yerleştirilmiştir. Delme işlemi süresince kesme kuvvetleri ve sıcaklık

ölçümleri eş zamanlı olarak yapılarak ısı çiftten alınan sinyaller veri toplama kartı yardımıyla bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Deney düzeneği Şekil 5.1’de şematik, Resim 5.3’de ise resim olarak görülmektedir.



Şekil 5.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi



Resim 5.3. Deney düzeneğinin fotoğrafik gösterimi

5.8. Ölçüm Sonuçları

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen kesme kuvveti ile sıcaklık sonuçları Çizelge 5.7'da verilmiştir

Çizelge 5.7. Deneysel çalışmadaki girdilere bağlı olarak elde edilen çıktılar

Deney No	Kesici ve Malzeme	İlerleme (mm/dev)	Kesme hızı(m/dak)	İlerleme (mm/dak)	Kuvvet Fz(N)	Sıcaklık (T,°C)
1	Kaplamasız karbür matkap Al6061	0,1	170	386,5	971	188
2			200	454,7	930	193
3			230	522,9	892	206
4		0,2	170	386,5	1114	122
5			200	454,7	1000	145
6			230	522,9	970	152
7		0,3	170	386,5	1191	102
8			200	454,7	1049	107
9			230	522,9	987	110
10	Kaplamalı karbür matkap Al6061	0,1	170	386,5	985	165
11			200	454,7	942	182
12			230	522,9	842	189
13		0,2	170	386,5	1198	118
14			200	454,7	1135	125
15			230	522,9	1071	149
16		0,3	170	386,5	1227	114
17			200	454,7	1198	120
18			230	522,9	1170	135

6. DENEY VE MODEL SONUÇLARI

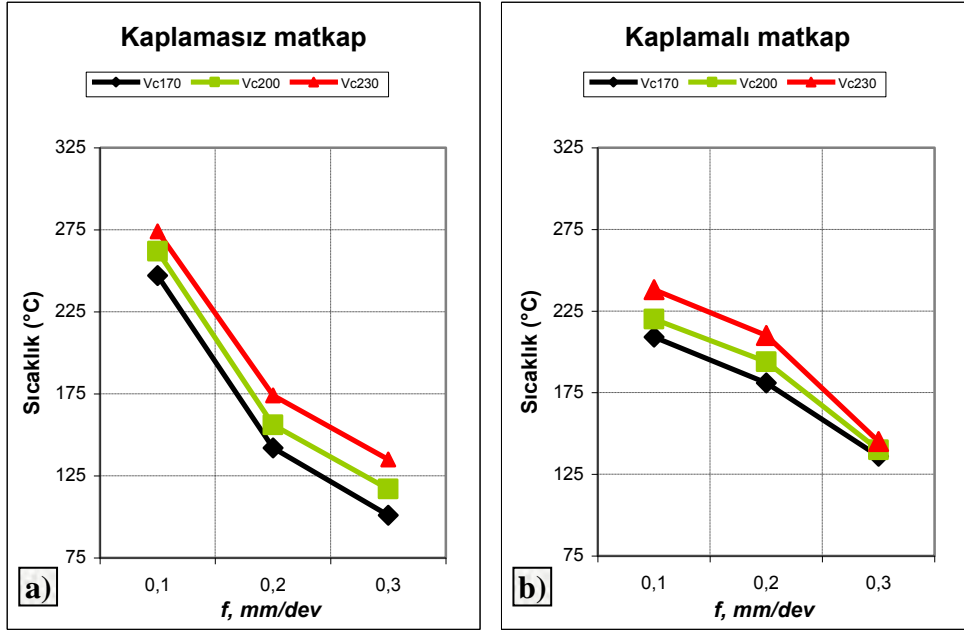
Delme işlemlerinde, kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme oranı), ve kesici takımın (kaplamalı ve kaplamasız) delme esnasında oluşan kesme sıcaklığı, kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada deney numunesi olarak Al6061 kullanılmıştır.

Bu girdi parametreleri paralelinde her bir deney için yeni bir matkap kullanmak suretiyle Taguchi L_{18} deney düzeneğine göre toplam 18 adet deney yapılmıştır. Matkap tipi ve kesme parametrelerinin girdi olarak değerlendirildiği bu çalışmada, çıktı olarak kesme esnasında matkap yüzeyinde oluşan sıcaklık ve kesme kuvveti değerlendirilmiştir.

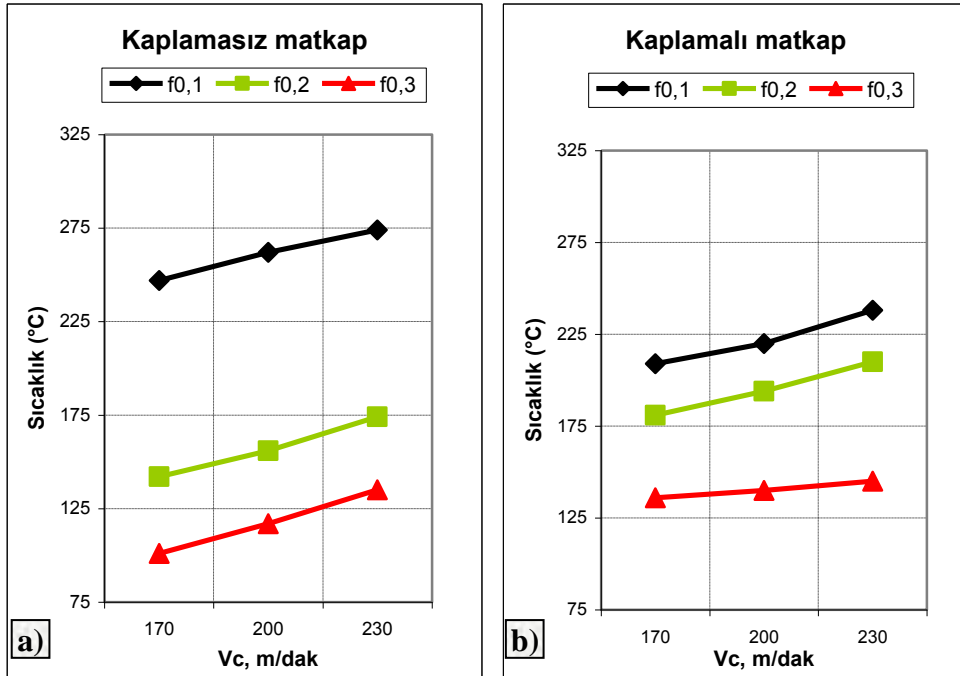
6.1. Delme Esnasında Matkap Yüzeyinde Oluşan Sıcaklığının Değerlendirilmesi

Talaş kaldırma işlemlerinde, kesici takım ve iş parçasının birbiri ile teması gerçekleştiğinde sürtünmeden dolayı ısı oluşumu da gerçekleşmektedir. Ancak, bu oluşumun belirli sınırlar içerisinde kalarak, iş parçasına zarar vermemesi istenmektedir. Temas bölgesindeki sıcaklıktaki artış, alüminyum iş parçasını yumuşatıp deforme olmasına sebebiyet vermekte, bu durum hem talaş kaldırmayı hem de malzemenin işlenen yüzeyini olumsuz anlamda etkilemektedir. Bu çalışmada, amaçlanan kesme parametreleri alüminyum 6061 alaşım malzemesi için en iyi seviyeler belirleyerek, delme esnasında matkapla kaldırılan talaşın yapışma oranını azaltarak; delme performansının düşmesini önlemek, diğer taraftan ise; malzemenin işlenen yüzeyinde sıcaklıktan dolayı oluşabilecek şekil değişimi, genişleme ve deformasyonu önlemektir.

Delme işlemleri esnasında kesme bölgesinde oluşan sıcaklık verilerine göre grafikler çizilmiştir. Kesme hızları, ilerleme oranları ve matkabın özelliklerine göre kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değişimi Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 6.1. Her bir kesme hızı için ilerlemeye bağlı olarak sıcaklık değişimi
a) Kaplamasız takım
b) Kaplamalı takım



Şekil 6.2. Her bir ilerleme oranı için kesme hızına bağlı olarak sıcaklık değişimi
a) Kaplamasız takım
b) Kaplamalı takım

Şekil 6.1 ve 6.2’ deki grafiklerde de görüldüğü üzere ilerleme oranındaki artış kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık değerlerinin azalmasına sebep olmuştur. Deneyler esnasında, ilerleme miktarının artışıyla düşük ilerlemelere göre daha kolay kesme yapıldığı görülmüştür. Düşük ilerleme miktarlarında talaşın matkap ile iş parçası arasına sıkışması problemleri gözlenmiştir. Bu durum; talaş ile uzaklaştırılması gereken ısının kesme bölgesinde yoğunlaşarak kalmasından dolayı kesme bölgesinde sıcaklığın artmasına sebep olmuştur. Çünkü ilerlemenin artması ile delik delme süresi azalmakta, çıkan talaşların atılması daha hızlı olmaktadır. Delik delme süresinin azalması ile matkabin her dönüşünde oluşan sürtünmeyi ve dolayısı ile sıcaklığı azaltmaktadır.

Kesme sırasında harcanan enerjinin hemen hemen tamamına yakın bir kısmının ısı enerjisine dönüştüğünden dolayı [16] kesme hızının artması ile takım talaş ara yüzeyinde sıcaklık artışı gerçekleşmiştir. Kayma bölgesinde oluşan sürtünme, işlenen malzemenin mekanik özelliklerine tesir etmekte ve takım, talaş-takım ve iş parçası temas alanında meydana gelen sıcaklıktan dolayı takım aşınmasına neden olmakta [8] ve kesme hızının artması ile takım talaş ara yüzeyinde sıcaklığın artmasına sebep olduğuna atfedilmiştir.

Kaplamasız takımlarda, 170 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında takım talaş ara yüzeyinde elde edilen sıcaklık 247 °C dır. İlerleme miktarı 0,2 mm/dev olduğunda ise sıcaklık % 42 azalarak 142 °C olmuştur. İlerleme miktarı 0,3 mm/dev olduğunda ise sıcaklık ~ % 59 azalarak 101 °C olmuştur.

Kaplamalı takımlarda, 170 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında takım talaş ara yüzeyinde elde edilen sıcaklık 209 °C dır. İlerleme miktarı 0,2 mm/dev olduğunda ise sıcaklık ~ % 13 azalarak 181 °C olmuştur. İlerleme miktarı 0,3 mm/dev olduğunda ise sıcaklık ~ % 35 azalarak 136 °C olmuştur.

Kaplamasız takımında 0,1 mm/dev sabit ilerleme oranında, 170 m/ dak kesme hızında sıcaklık 247 °C iken kaplamalı takımında aynı kesme hızında sıcaklık ~ %15 azalarak 209 °C olmuştur. Kaplamasız takımında 200 m/dak kesme hızında sıcaklık 262 °C iken

kaplamalı takımında sıcaklık %16 azalarak 220 °C olmuştur. Kaplamasız takımında 230 m/dak kesme hızında sıcaklık 274 °C iken kaplamalı takımında aynı kesme hızında sıcaklık değeri ~ %13 azalarak 238 °C olmuştur.

Yapılan deneyler sonrasında kesici takımlara kaplama yapılmasının kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar üzerinde oldukça etkili olduğudur. Kaplamalı takımlarda elde edilen kesme bölgesi sıcaklıklarının, kaplamasız takımlara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum iki kesici tipinin farklı ısı iletim katsayılarına sahip olmasına dolayı kaplamasız takımın ısı iletkenlik katsayısının yüksek olması (Çizelge 5.2) kaplamasız takımlarda sıcaklığın artmasına atfedilebilir.

Deliklerin delinmesinde yaşanan en büyük problem, talaşın dışarı atılmasındaki zorlukla birlikte artan sıcaklıktır. Çünkü çıkan talaşlar matkap ile delik duvarı arasında sıkışmakta ve de matkap üzerine yapışmaktadır (BUE). Dolayısı ile bu durumda sıcaklık artışı daha fazla oluşmaktadır.

Al6061 malzemesini kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delerken oluşan sıcaklık kaplamasızlarda daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni olarak kaplamasız matkapların üzerine talaş yapışması (BUE) daha çok olmuştur. Kaplama sayesinde sürtünme katsayılarının düşmesine ve bunun sonucunda kesme bölgesi sıcaklıklarının da düşmesine atfedilmiştir.

6.2. Delme Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Al6061 malzemesinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesi esnasında takımında meydana gelen ortalama kesme kuvveti (Fz) değerleri grafikler halinde Şekil 6.3 ve 6.4'de verilmiştir. Bu grafiklerden yola çıkarak seçilen parametrelerin kesme kuvveti üzerindeki etkisi yorumlanmıştır.

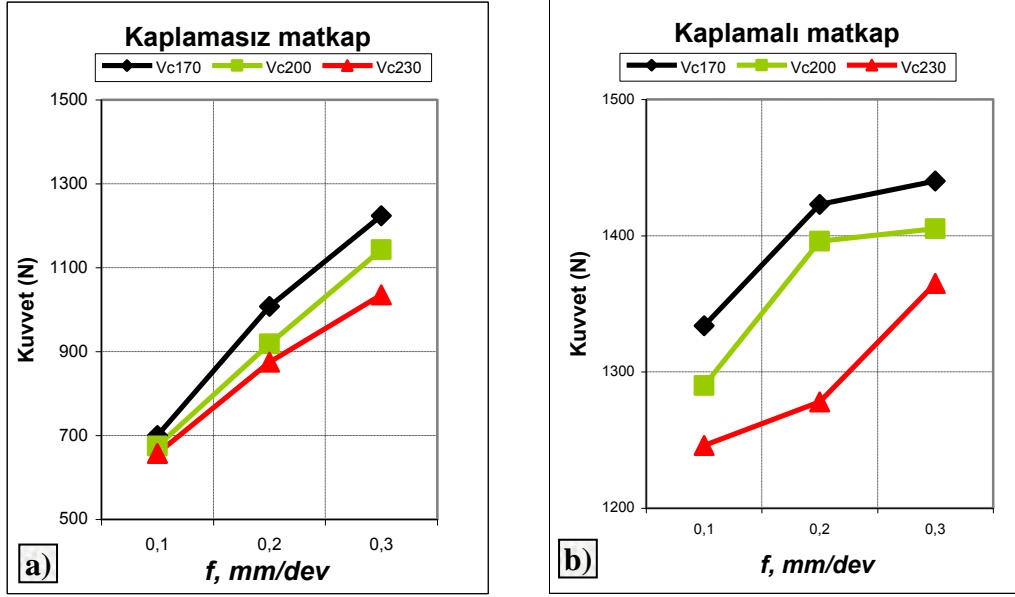
Grafiklere bakıldığında ilerleme oranının artması ile kesme kuvvetinde artış olduğu görülmektedir. İlerleme oranının artmasıyla kesme kuvvetlerinin artması talaşlı imalatta beklenen bir durumdur. Bu durumu; ilerleme miktarındaki artış sonucu artan

talaş kesatine yorumlayabiliriz. Talaş kesitinin artması sonucu talaş kaldırmak için gerekli olan enerji daha fazla olacaktır. Artan enerji kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olacaktır.

Kaplamasız takımlarda, 170 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında elde edilen kesme kuvveti 700 N. İlerleme miktarı 0,2 mm/dev olduğunda ise kesme kuvveti % 44 artarak 1008 N olmuştur. İlerleme miktarı 0,3 mm/dev olduğunda ise kesme kuvveti ~ % 60 artarak 1224 N olmuştur.

Kaplamalı takımlarda ise, 170 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında ise kesme kuvveti 1334 N. İlerleme miktarı 0,2 mm/dev olduğunda ise kesme kuvveti ~ % 6 artarak 1423 N olmuştur. İlerleme miktarı 0,3 mm/dev olduğunda ise kesme kuvveti ~ % 8 artarak 1440 N olmuştur.

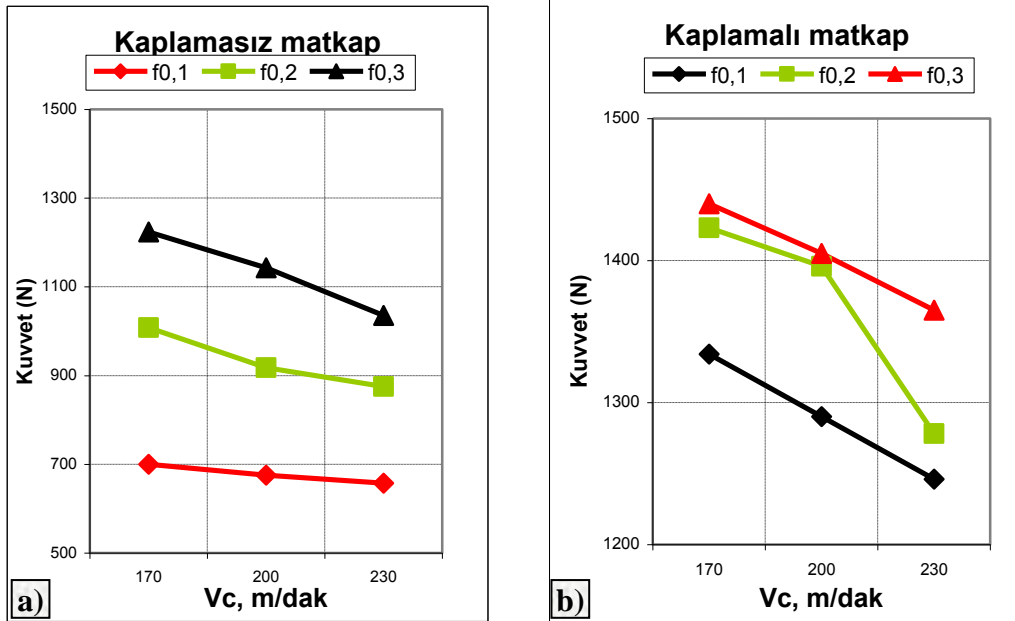
Kesme hızının kuvvet üzerindeki etkisi incelendiğinde ise; kesme hızı artıkça kesme kuvveti azalmıştır. Özellikle düşük kesme hızlarındaki kesme kuvveti diğerlerine göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Kesme hızının kesme kuvvetlerine olan bu etkisi, artan kesme hızıyla birlikte yükselen talaş kaldırma sıcaklığına bağlanabilir. Birincil ve ikincil deformasyon bölgelerinde kesme hızıyla birlikte artan sıcaklık, işlenen malzemenin akma mukavemetini düşürerek kesme kuvvetlerinde azalmaya sebep olur. Bunun sonucunda talaş oluşumu kolaylaşacağından kesme kuvvetlerinde düşüş beklenir.



Şekil 6.3. Her bir kesme hızı için ilerlemeye bağlı olarak kuvvet değişimi

a) Kaplamasız takım

b) Kaplamalı takım



Şekil 6.4. Her bir ilerleme oranı için kesme hızına bağlı olarak kuvvet değişimi

a) Kaplamasız takım

b) Kaplamalı takım

6.3. Sonuçların Taguchi Metodu ile Analiz Edilmesi ve Değerlendirilmesi

Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’de belirtilen Taguchi L_{18} ortogonal düzeni çerçevesinde gerçekleştirilen deneylerde ısı çift aracılığı ile sıcaklık ve dinamometre aracılığı ile kuvvetler ölçülmüştür. Her bir deneyden elde edilen en yüksek sıcaklık ile ortalama kuvvet alınarak o deney için söz konusu değerler belirlenmiştir. Tüm deneyler sonucunda ölçülen sıcaklık ve kesme kuvveti değerleri Çizelge 6.1’de verildiği gibidir. Deney gerçekleştirildikten sonra verilerin analiz aşaması yapılmıştır. Verilerin analizi için sinyal/gürültü (S/N) ve varyans analizi (ANOVA) istatistikleri kullanılmıştır.

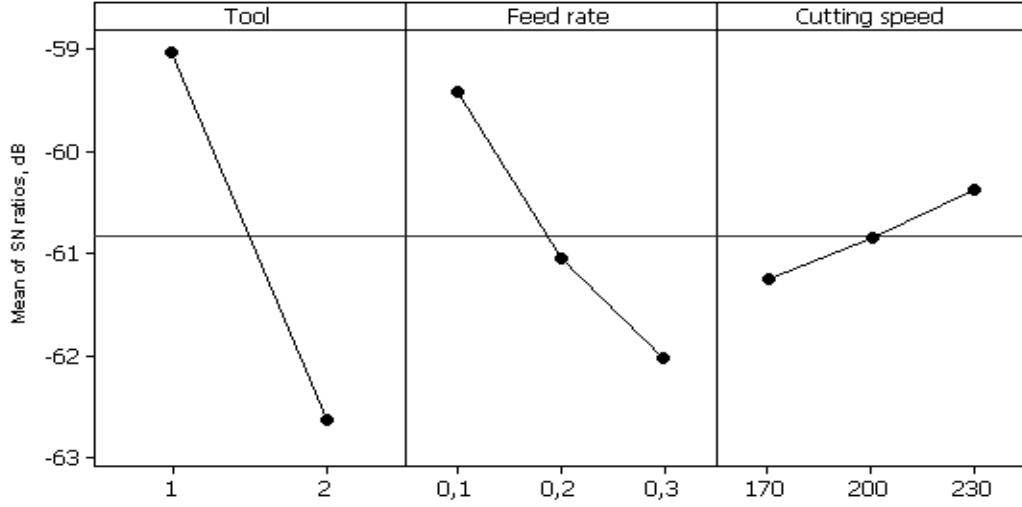
Çizelge 6.1 Taguchi L_{18} Deney Tasarımına göre deney sonuçları ve S/N oranları

Deney no.	A (Takım)	B (İlerleme oranı)	C (Kesme hızı)	T		F _z	
				Sıcaklık (°C)	S/N (dB)	Kuvvet (N)	S/N (dB)
1	Kaplamasız	0,1	170	247	-47,8539	700	56,9020
2	Kaplamasız	0,1	200	262	-48,3660	675	56,5861
3	Kaplamasız	0,1	230	274	-48,7550	657	56,3513
4	Kaplamasız	0,2	170	142	-43,0458	1008	60,0692
5	Kaplamasız	0,2	200	156	-43,8625	918	59,2569
6	Kaplamasız	0,2	230	174	-44,8110	875	58,8402
7	Kaplamasız	0,3	170	101	-40,0864	1224	61,7556
8	Kaplamasız	0,3	200	117	-41,3637	1143	61,1609
9	Kaplamasız	0,3	230	135	-42,6067	1035	60,2988
10	Kaplamalı	0,1	170	209	-46,4029	1334	62,5031
11	Kaplamalı	0,1	200	220	-46,8485	1290	62,2118
12	Kaplamalı	0,1	230	238	-47,5315	1246	61,9104
13	Kaplamalı	0,2	170	181	-45,1536	1423	63,0641

Çizelge 6.1 (Devam) Taguchi L_{18} Deney Tasarımına göre deney sonuçları ve S/N oranları

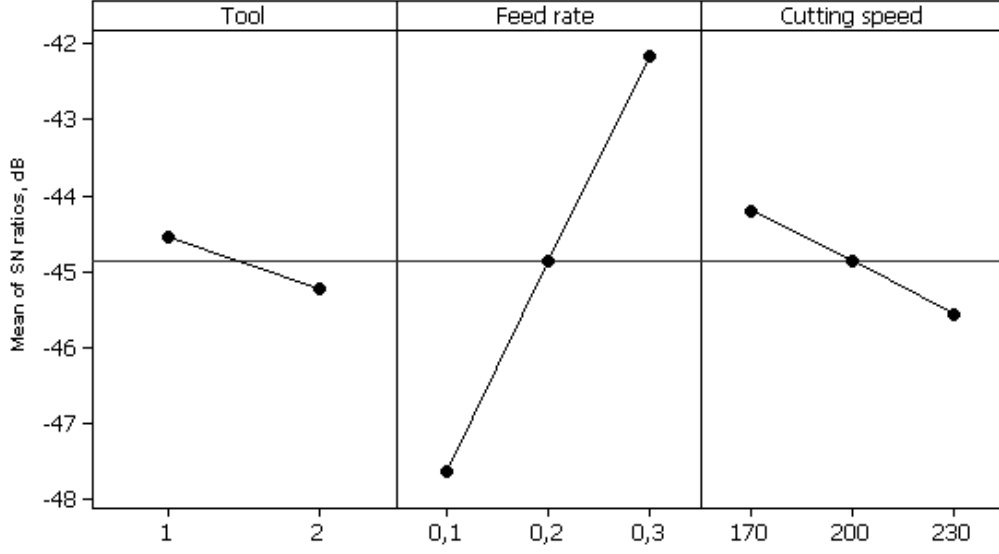
14	Kaplamalı	0,2	200	194	-45,7560	1396	62,8977
15	Kaplamalı	0,2	230	210	-46,4444	1278	62,1306
16	Kaplamalı	0,3	170	136	-42,6708	1440	63,1672
17	Kaplamalı	0,3	200	140	-42,9226	1405	62,9535
18	Kaplamalı	0,3	230	145	-43,2274	1365	62,7027

Deneysel sonuçlar neticesinde S/N oranlarına bağlı olarak optimal parametreler tahmin edilmiştir. Şekil 6.5' de kesme kuvveti Şekil 6.6'de sıcaklık değerleri için kontrol faktörlerinin S/N oranlarının grafiksel gösterimi verilmiştir.



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 6.5. Kesme kuvveti için S/N oranları ana etki grafiği



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 6.6. Sıcaklık için kontrol S/N oranları ana etki grafiği

Kesme kuvveti için yapılan optimizasyonda Şekil 6.5' den yararlanarak uygun kesme parametreleri "A1B1C3" olarak bulunur.

Burada;

A1: Kaplamasız matkap

B1: İlerleme 0,1 mm/dev

C3: Kesme hızı 230 m/dak

Sıcaklık için yapılan optimizasyonda Şekil 6.6' dan yararlanarak uygun kesme parametreleri "A1B3C1" olarak bulunur.

Burada;

A1: Kaplamasız matkap

B3: İlerleme 0,3 mm/dev

C1: Kesme hızı 170 m/dak' yı ifade etmektedir.

6.3.1. ANOVA ile parametrelerin değerlendirilmesi

Al6061 alaşım malzemesinin delinmesinde iki farklı matkap, üç değişik ilerleme oranı, üç değişik kesme hızı seviyeleri kullanılarak on sekiz deney yapılmış ve bu deneylerin her birinden farklı kesme kuvveti ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Bu

farklılıkların tamamen tesadüf mü yoksa faktörlerinden mi kaynaklandığı ve her faktörün etkisini belirlemek için varyans analizi kullanılmaktadır. Kesme kuvveti ve sıcaklık değerlerinin varyans analizi sonuçları Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'de sunulmuştur.

Çizelge 6.2. Kesme kuvveti değerlerine göre ANOVA sonuçları

	Kesme Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Karalar Toplamı	Karalar Ortalaması	Hata	Etkinlik (%)
A	Takım	1	58,033	58,033	62,76	62,02
B	İlerleme	2	20,660	10,330	11,17	20,43
C	Kesme Hızı	2	2,282	1,1412	1,23	0,47
Hata	---	12	11,096	0,9247		17,08
Toplam	---	17	92,072			100

Çizelge 6.3. Sıcaklık değerlerine göre ANOVA sonuçları

	Kesme Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Karalar Toplamı	Karalar Ortalaması	Hata	Etkinlik (%)
A	Takım	1	2,140	2,1401	2,32	1,17
B	İlerleme	2	90,100	45,049	48,75	81,05
C	Kesme Hızı	2	5,556	2,7778	3,01	3,40
Hata	---	12	11,089	0,9241		14,38
Toplam	---	17	108,88			100

Her faktörün karelerinin toplamının ayrı ayrı hesaplanması sonucu ortaya çıkan değerlerde F'nin en büyük değeri kesme kuvvetini ve sıcaklığı etkileyen en önemli

faktördür. Çizelge 6.2' de görüleceği üzere, kesme kuvvetini matkap %62,02, ilerleme oranı %20,43 ve kesme hızı faktörünün %0,47 değerlerinde etkiledikleri Çizelge 6.3' de ise sıcaklık değerini ilerleme oranı %81,05 ile en fazla etkileyen faktör olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

6.3.2. Regresyon modeli ile kesme kuvveti ve sıcaklığın tahminsel denklemi

Kaplamasız ve kaplamalı kesici uçların her biri için kullanılan kontrol faktörleri ilerleme oranı (f), kesme hızı (V) ile çıkış faktörleri; kesme kuvveti (Fz), sıcaklık (T) arasında tahmini denklem oluşturma ve bunlar arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Bu deneysel çalışma için elde edilen Fz (N) ve T ($^{\circ}C$) değerleri birinci ve ikinci dereceden denklemler olarak aşağıda sunulmuştur.

Kaplamasız matkap için kesme kuvveti denklemleri;

$$F N = 385 + 3498 * f + 0,366 * V - 0,0299 * f * V \quad (R^2 = \% 99) \quad (6.1)$$

$$F(N) = 1036 + 4382 * f - 8,2 * V - 8467 * f^2 + 0,0239 * V^2 + 14,3 * f * V - 0,094 * f * V^2 + 28,3 * f^2 * V \quad (R^2 = \% 99,2) \quad (6.2)$$

Kaplamalı matkap için kesme kuvveti denklemleri;

$$F N = 1625 + 350 * f - 1,93 * V + 1,08 * f * V \quad (R^2 = \% 85,7) \quad (6.3)$$

$$F(N) = 265 + 9029 * f + 7,6 * V - 23067 * f^2 - 0,0150 * V^2 - 36 * f * V - 0,014 * f * V^2 + 106 * f^2 * V \quad (R^2 = \% 81,9) \quad (6.4)$$

Kaplamasız matkap için sıcaklık denklemleri;

$$T \text{ } ^{\circ}C = 242 - 833 * f + 0,400 * V + 0,58 * f * V \quad (R^2 = \% 90,4) \quad (6.5)$$

$$T(^{\circ}C) = -502 + 2134 * f + 7,9 * V + 144 * f^2 - 0,0166 * V^2 - 33,6 * f * V + 0,068 * f * V^2 + 13,7 * f^2 * V \quad (R^2 = \% 90,5) \quad (6.6)$$

Kaplamalı matkap için sıcaklık denklemleri;

$$T \text{ } ^\circ\text{C} = 127 - 77 * f + 0,706 * V - 1,67 * f * V \quad (R^2 = \% 94,1) \quad (6.7)$$

$$T(^\circ\text{C}) = 404 - 1520 * f + 2 * V + 1967 * f^2 + 0,00537 * V^2 - 11,7 * f * V - 0,0167 * f * V^2 - 16,7 * f^2 * V \quad (R^2 = \% 100) \quad (6.8)$$

İlerleme oranı ve kesme hızı faktörleri dikkate alınarak regresyon denklemleri elde edilmiştir. R^2 ; regresyon denkleminin uygunluğunu ifade eden katsayıdır. R^2 1'e yaklaştıkça; bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon modelinin, istatistiksel olarak gerçekliğe yakınlığının arttığı kabul edilmektedir. R^2 nin %80 ve üzeri kabul edilebilir sınırlar içindedir ve kuvvetli ilişkiye sahiptir. Bu durumda, modellenen istatistiksel regresyonlar incelendiğinde, kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkarak, deneysel çalışmada bağımlı değişkenlerin (ilerleme oranı, kesme hızı) oluşma oranında kuvvetli etkiye sahip olduğu düşünülerek seçilen faktörler (bağımsız değişkenler) doğru tahmin edildiği anlaşılmaktadır. Bu durumda, Regresyon modeli ile yapılan çalışmada iyi bir öngöründe bulunduğu ve çalışmanın realiteler ile paralel olduğu sonucuna varılmaktadır.

6.3.3. Doğrulama deneyleri ve sonuçları

Taguchi metoduna göre, optimal sonuçları verecek parametrelerin tahmininden sonra, optimizasyonda son aşama olarak doğrulama deneyleri yapılmakta ve yapılan optimizasyonun doğruluğu kontrol edilmektedir. Önceden tespit ettiğimiz kesme kuvveti için "A1B1C3" parametreleri, sıcaklık için ise "A1B3C1" parametreleri kullanılarak, üç deney numunesi üzerinde deney yapılarak bulunan kuvvet ve sıcaklık ölçüm sonucu kontrol edilerek sonuçların güvenilirliği irdelenmiştir. Buna göre en iyi kesme kuvveti ile sıcaklık değerlerinin elde edilmesinde, optimize edilmiş kesme parametreleri Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5' de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Kesme kuvveti için optimal seviyeler

	Başlangıç kesme parametresi	Optimum kesme parametreleri	
		Tahminsel	Deneyisel
Seviye	A2B2C2	A1B1C3	A1B1C3
Kesme kuvveti (N)	1396	706,667	657
S/N oranı (dB)	-62,8977	-57,1674	-56,3513
İyileştirme oranı S/N	6,5464 dB		
Tahmini hata (dB)	0.8161		

Çizelge 6.5. Sıcaklık için optimal seviyeler

	Başlangıç kesme parametresi	Optimum kesme parametreleri	
		Tahminsel	Deneyisel
Seviye	A2B2C2	A1B3C1	A1B3C1
Sıcaklık (°C)	194	112,444	101
S/N oranı (dB)	-45,7560	-41,1310	-40,0864
İyileştirme oranı S/N	5,6696 dB		
Tahmini hata (dB)	1,0446		

Kesme kuvveti için geliştirilmiş S/N oranı = $(-62,8977) - (-56,3513) = 6,5464$ dB
 $1396 / 657 = 2,1$ iyileştirme yapılmıştır.

Al6061 için yapılan deney sonucunda kesme kuvveti % 212 oranında iyileştirme yapılmıştır.

Sıcaklık için geliştirilmiş S/N oranı = $(-45,7560) - (-40,0864) = 5,6696$ dB
 $194 / 101 = 1,93$ iyileştirme yapılmıştır.

Al6061 için yapılan deney sonucunda sıcaklık % 193 oranında iyileştirme yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda elde edilen sıcaklık değerleri ile tahmin edilen sıcaklık arasındaki fark göz ardı edilebilecek seviyededir. Bu durumda Taguchi optimizasyonunun sıcaklık tahmininde başarı ile uygulanabildiği görülmektedir. Taguchi optimizasyonu ile delmede oluşan sıcaklığın ciddi anlamda azaltılabildiği yapılan çalışma ile ispatlanmıştır. Diğer taraftan kesme kuvvetinin tahmini için yapılan tahmin sonuçları ile doğrulama deneyleri sonuçları arasındaki farkın da genel sonuçlar dikkate alındığında ciddi başarı sağlanmıştır.

6.4. Deney Sonuçlarının YSA İle Analizi ve Değerlendirilmesi

Yapay Sinir Ağları, literatüre bakıldığında Makine Mühendisliğinde birçok alanda kullanılmış ve bu alanlarda da olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Yapay sinir ağlarının kullanıldığı alanlarda zamandan tasarruf sağlanmış ve masraflarda azalma görülmüştür. Deneysel olarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında hata oranının çok az olduğu tespit edilmiştir [57].

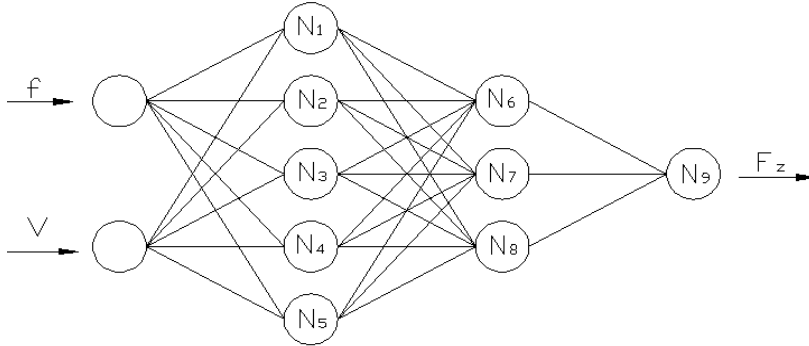
Kesme kuvveti için YSA modellemesi *Pythia* programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. *Pythia*'da YSA ile modelleme genellikle eğitim süreci ve test süreci olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Eğitim sürecinde ağa verilen giriş ve çıkış değerleri kontrol edilerek hata (sapma) değeri en aza indirilmeye çalışılırken, test aşamasında ise ağırlık değerleri değiştirilmeksizin giriş değerleri verilerek sonucun tahmin edilmesi istenir.

Kaplamasız ve kaplamalı kesici takımların her biri için 9 olmak üzere aynı kesme parametreleriyle gerçekleştirilen toplam 18 adet kesme deneyi sonucunda ölçülen kesme kuvveti (F_z) ve sıcaklık °C değeri için kesici takım formu esas alınarak ayrı ayrı YSA analizleri yapılmıştır. Programda kesme hızı ve ilerleme *giriş* değerleri F_z ve °C değerleri de *çıkış* olarak girilmiştir.

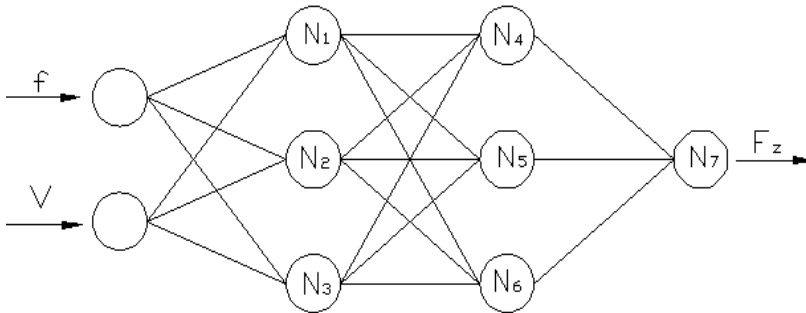
Her bir kesici için YSA ile modellemede 2 adet deney sonuçları test edilmesi (doğrulanması) için seçilmiş, bunun dışında kalan diğer 7 adet deney değerleri ise *Pythia*'da öğrenme verisi olarak kullanılmıştır. *Giriş* ve *çıkış* bilgileri programa

aktarıldıktan sonra, model için en uygun ağ yapısının analizine geçilmiştir. Program veri setindeki iki *giriş* ve bunlara bağlı olarak bir *çıkış* değerini inceleyerek uygun ağ yapısını bulmak için denemeler yapıldı.

Kesme kuvvetinin YSA da modellenmesinde kaplamasız kesici uçlar için uygun ağ yapısı 2-5-3-1 olarak belirlenmiştir. Kaplamalı kesici uçlar için uygun ağ yapısı analizlerinde ise 2-3-3-1 seçilmiştir. Her iki kesici uç içinde, iki seviyeli *gizli* katmanın uygulanması gerektiğini belirlemiştir. Buna göre birinci ve ikinci seviyedeki *gizli* katmanlarda kullanılacak nöron sayısı program tarafından sırasıyla 8 ve 6 olarak seçilmiştir. Buna göre $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8$, nöronları kaplamasız takım için, $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$ nöronları ise kaplamalı takım için *gizli* katman seviyeleri olarak belirlenmiştir. Kaplamasız ve kaplamalı kesici uçlar için sırasıyla N_9 ve N_7 nöronları ise ağın çıkış nöronlarıdır. Şekil 6.7 ve Şekil 6.8' te sırasıyla kaplamasız ve kaplamalı kesici uçlar için F_z 'nin tahmininde kullanılacak en uygun ağ topolojisi verilmiştir.

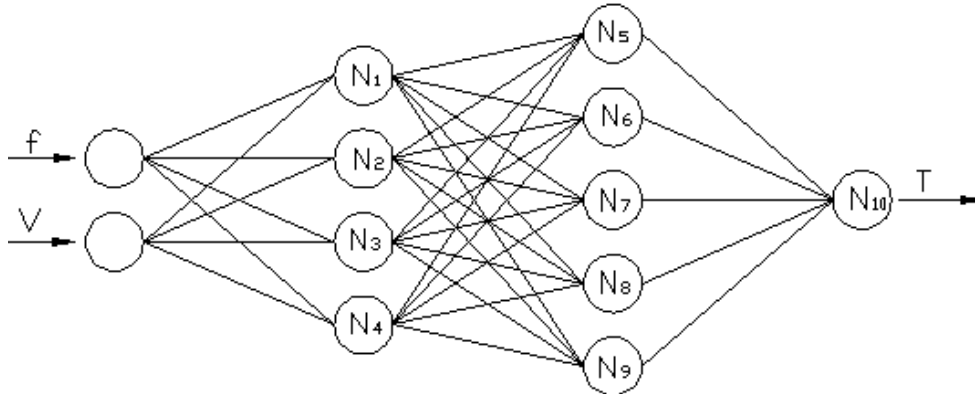


Şekil 6.7. Kaplamasız takım için ağ yapısı

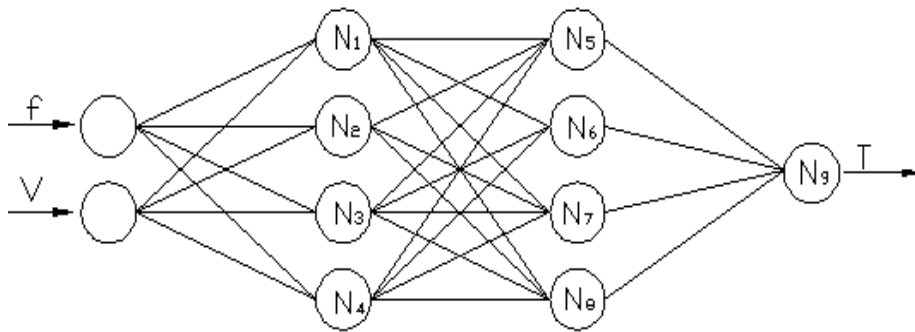


Şekil 6.8. Kaplamalı takım için ağ yapısı

Delme esnasında takım ucunda oluşan sıcaklığın YSA da modellenmesinde kaplamasız kesici uçlar için uygun ağ yapısı 2-4-5-1 olarak belirlenmiştir. Kaplamalı kesici uçlar için uygun ağ yapısı analizlerinde ise 2-4-4-1 seçilmiştir. Her iki kesici uç içinde, iki seviyeli *gizli* katmanın uygulanması gerektiğini belirlemiştir. Buna göre birinci ve ikinci seviyedeki *gizli* katmanlarda kullanılacak nöron sayısı program tarafından sırasıyla 9 ve 8 olarak seçilmiştir. Buna göre $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9$ nöronları kaplamasız takım için, $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8$ nöronları ise kaplamalı takım için *gizli* katman seviyeleri olarak belirlenmiştir. Kaplamasız ve kaplamalı kesici uçlar için sırasıyla N_{10} ve N_9 nöronları ise ağın çıkış nöronlarıdır. Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da sırasıyla kaplamasız ve kaplamalı kesici uçlar için T ($^{\circ}\text{C}$)'nin tahmininde kullanılacak en uygun ağ topolojisi verilmiştir.



Şekil 6.9. Kaplamasız takım için ağ yapısı



Şekil 6.10. Kaplamalı takım için ağ yapısı

Ağın eğitilmesi için gerekli parametreler girilir ve ağın eğitilmesi sağlanır. Eğitim sonucunda nöronlara ait ağırlıklar bulunur ve YSA çıktı değerleri ile gerçek deney sonuçlarından ortalama sapma değeri bulunur. Kaplamasız ve kaplamalı takımlar için kesme parametrelerine göre kesme kuvveti ve sıcaklık değeri, Fermi aktivasyon fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

$$F_i = \frac{1}{1 + e^{-4 \cdot NET_i - 0,5}} \quad (6.9)$$

Burada;

N_i : Gizli katmanda bulunan her bir nöronun etkisi

$$N_i = \frac{1}{1 + e^{-E_i}} \quad (6.10)$$

$$E_i = 4 \cdot C_{1i} \cdot V + C_{2i} \cdot f - 0,5 \quad (6.11)$$

biçiminde tanımlanmıştır. Burada C_j sabitleri, *Pythia* programında veri setinin eğitimi sonucunda *gizli* katmanda kullanılan her bir nöron için ağırlık değerlerini (w) göstermektedir.

Kaplamasız matkap için her bir nöronun F_z değeri üzerindeki etkisinin tanımlamasında kullanılan ağırlık değerleri w (başka bir deyişle C_j sabitleri) Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Kaplamasız matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri

<i>i</i>	<i>C_{1i}</i>	<i>C_{2i}</i>	<i>C_{3i}</i>	<i>C_{4i}</i>	<i>C_{5i}</i>
<i>Birinci seviye nöronlar</i>					
1	-0,07496	-0,970907	---	---	---
2	0,664803	-0,551125	---	---	---
3	-0,68872	0,722445	---	---	---
4	-1,90167	0,519822	---	---	---
5	-0,20483	-0,52734	---	---	---
<i>İkinci seviye nöronlar</i>					
6	-0,35057	-0,769147	-0,89568	-0,86595	0,588757
7	0,085356	-0,630788	0,484301	0,904011	0,380745
8	-1,25269	1,330696	0,592474	-1,60731	-0,94748

Kaplamasız matkap için kesme parametrelerine dayalı F_z değeri (ağın çıkış nöronu; N_9), Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre(6.9) aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

$$NET_{i_{1-5}} = w_{1i} * f + w_{2i} * V \quad (6.12)$$

$$NET_{i_{6-8}} = w_{i6} * F_1 + w_{i7} * F_2 + w_{i8} * F_3 \quad (6.13)$$

$$F_N = \frac{1}{1 + e^{-4 * 0,45150 * F_6 - 1,43342 * F_7 + 2,55645 * F_8 - 0,5}} \quad (6.14)$$

Kaplamalı matkap için her bir nöronun F_z değeri üzerindeki etkisinin tanımlanmasında kullanılan ağırlık değerleri w (başka bir deyişle C_j sabitleri) Çizelge 6.7' de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Kaplamalı matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri

<i>i</i>	<i>C1i</i>	<i>C2i</i>	<i>C3i</i>
<i>Birinci seviye nöronlar</i>			
1	-0,83878	-1,199252	---
2	1,293184	-1,524673	---
3	-2,06684	0,943866	---
<i>İkinci seviye nöronlar</i>			
4	-1,18065	3,50239	-1,39536
5	-0,45692	-0,538549	-0,80255
6	-0,60235	-0,325154	1,225597

Kaplamalı matkap için kesme parametrelerine dayalı F_z değeri (ağın çıkış nöronu; N_7), Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

$$NET_{i\ 4-6} = w_{i4} * F_1 + w_{i5} * F_2 + w_{i6} * F_3 \quad (6.15)$$

$$F\ N = \frac{1}{1 + e^{-4 * 3,445165 * F_4 - 0,046164 * F_5 - 1,06072 * F_6 - 0,5}} \quad (6.16)$$

Delme esnasında takım ucunda oluşan sıcaklığın YSA da modellenmesinde kaplamasız kesici uçlar için her bir nöronun $T(^{\circ}C)$ değeri üzerindeki etkisinin tanımlamasında kullanılan ağırlık değerleri w (başka bir deyişle C_j sabitleri) Çizelge 6.8' de verilmiştir.

Kaplamasız matkap için kesme parametrelerine dayalı $T(^{\circ}C)$ değeri (ağın çıkış nöronu; N_{10}), Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

$$NET_{i\ 1-4} = w_{i1} * f + w_{i2} * V \quad (6.17)$$

$$NET_{i\ 5-9} = w_{i5} * F_1 + w_{i6} * F_2 + w_{i7} * F_3 + w_{i8} * F_4 + w_{i9} \quad (6.18)$$

$$T\ ^{\circ}C = \frac{1}{1 + e^{-4 * -1,641846 * F_5 - 0,316377 * F_6 + 1,636739 * F_7 + 1,853387 * F_8 + 1,814754 * F_9 - 0,5}} \quad (6.19)$$

Çizelge 6.8 Kaplamasız matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri

<i>i</i>	<i>C1i</i>	<i>C2i</i>	<i>C3i</i>	<i>C4i</i>	<i>C5i</i>
<i>Birinci seviye nöronlar</i>					
1	-0,264831	0,85172	---	---	---
2	0,886926	0,344054	---	---	---
3	-0,029228	-0,379296	---	---	---
4	0,543221	-0,881527	---	---	---
<i>İkinci seviye nöronlar</i>					
5	-0,045732	1,455747	-1,674976	-0,433192	---
6	0,015575	0,45884	-0,660889	0,705117	---
7	-0,525218	-0,523599	-0,514899	0,761909	---
8	0,780926	-0,87029	0,765904	0,457024	---
9	1,808443	0,456419	1,069682	-0,48583	---

Kaplamalı matkap için her bir nöronun T(°C) değeri üzerindeki etkisinin tanımlanmasında kullanılan ağırlık değerleri w (başka bir deyişle C_j sabitleri) Çizelge 6,9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Kaplamalı matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri

<i>i</i>	<i>C1i</i>	<i>C2i</i>	<i>C3i</i>	<i>C4i</i>
<i>Birinci seviye nöronlar</i>				
1	-0,55749	0,221462	---	---
2	0,023226	0,654211	---	---
3	0,903301	0,219149	---	---
4	-0,21444	-0,038313	---	---
<i>İkinci seviye nöronlar</i>				
5	-1,14391	-0,430652	0,900458	-1,99043
6	0,476274	1,568793	1,703802	1,190088
7	-0,16336	-0,35427	-0,29089	-0,52851
8	1,317433	0,724535	-1,16463	-0,01208

Kaplamalı matkap için kesme parametrelerine dayalı T(°C) değeri (ağın çıkış nöronu; N₉), Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

$$NET_{i_{5-8}} = w_{5i} * F_1 + w_{6i} * F_2 + w_{7i} * F_3 + w_{8i} * F_4 \quad (6.20)$$

$$T \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{1}{1 + e^{-4*(-2,75623*F_5+1,04824*F_6+0,02286*F_7+1,24125*F_8-0,5)}} \quad (6.21)$$

YSA'daki öğrenme ve test işlemleri belirli bir hata (deney sonucu elde edilen değer ile YSA sonucu bulunan değer arasındaki fark, e_i) değeriyle yapıldığından, bu hata değerleri toplamının ortalamasının minimize edilmesi gerekir. Bu minimize edilmek istenen değer (*mean squared error, MSE*) aynı zamanda ağ performansını da belirleyen bir kriterdir. Öğrenme sonundaki YSA model sonuçlarının gerçek deney sonuçlarına uygunluğunda; karekök ortalama (*root-mean-squared, RMS*), belirlilik katsayısı (R^2) ve ortalama mutlak yüzde hata (*mean absolute percentage error, MAPE*) kriter alınmıştır. Ayrıca YSA sonucu bulunan tüm değerlerinin yüzde hata (% *Hata*) değerleri belirlenmiştir:

$$MSE = \frac{1}{p} \sum_i e_i^2 = \frac{1}{p} \sum_i t_i - o_i^2 \quad (6.22)$$

$$RMS = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i e_i^2} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i t_i - o_i^2} \quad (6.23)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_i t_i - o_i^2}{\sum_i o_i^2} \right] \quad (6.24)$$

$$\%Hata = \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (6.25)$$

$$MAPE = \frac{1}{p} \sum_i \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (6.26)$$

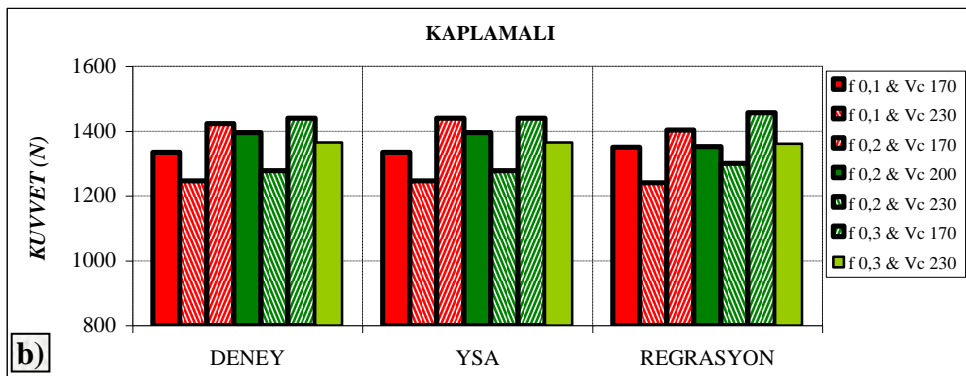
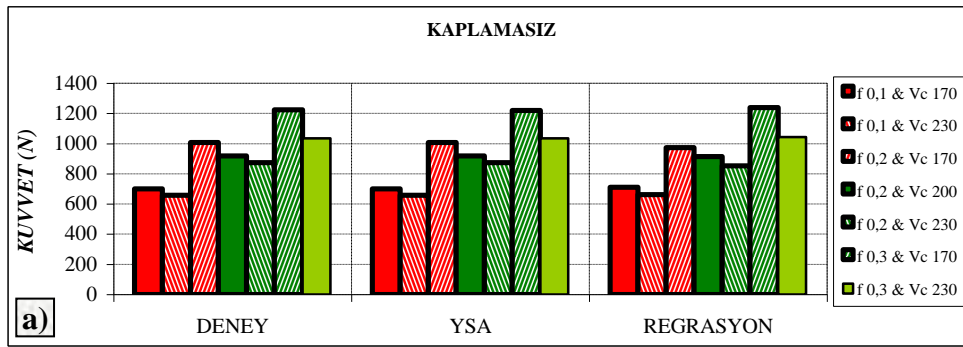
Eş. 6.22 – Eş. 5.26’de p , t_i , o_i ve e_i ; sırasıyla örnek sayısını, deney sonucu elde edilen değerleri, YSA sonucu bulunan değerleri ve hata değerlerini göstermektedir. % *Hata* bütün örnekler için bulunarak; bunlar içinden en yüksek olanı maksimum yüzde hatayı vermektedir. Yüzde hataları toplamının örnek sayısına bölünmesiyle ortalama mutlak yüzde hata (*MAPE*) değerleri bulunmuştur. Eş. 6.23’deki *RMS*’nin 0’a yakınlığı geliştirilen modelin başarı oranını gösteren bir kriter olarak kullanılmıştır. Eş. 6.24’deki R^2 gerçek deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki uyumu belirtir. R^2 değeri 1’e yaklaştıkça geliştirilen modelin başarı oranı yükselir. Eş. 6.26’deki en küçük *MAPE* değeri modelin uygulanabilirlik başarısını gösterir.

6.5. Deney Sonuçlarının YSA ve Regresyon İle Karşılaştırılması

YSA ve Regresyon ile modellemede, test için belirlenen 8 adet deney sonuçları kullanılarak Çizelge 6.10’de kesme hızı ve ilerleme oranı değerlerine bağlı olarak kaplamasız ve kaplamalı kesici uçlar üzerinde oluşan kuvvet ile sıcaklığın, deneysel sonuçları ile YSA ve Regresyon tahmin sonuçları verilmiştir. Bu değerlere göre de Şekil 6.13 ve 6.14’deki grafikler çizilmiştir.

Çizelge 6.10 Deney sonuçları ile YSA ve Regresyon sonuçlarının karşılaştırılması

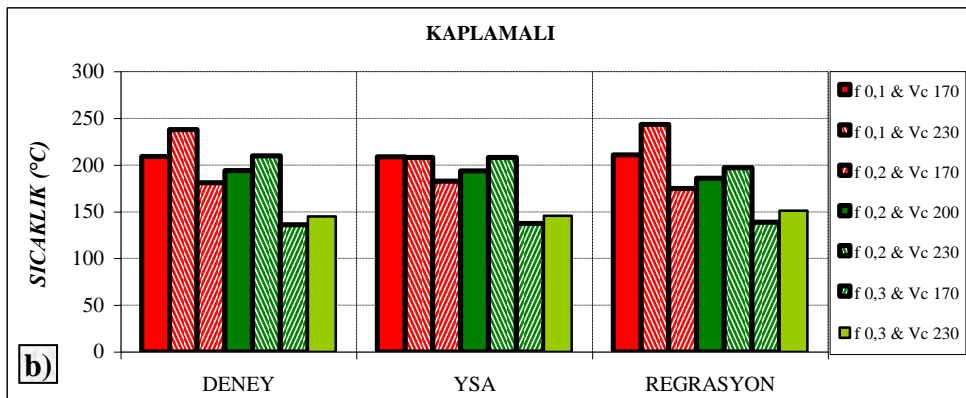
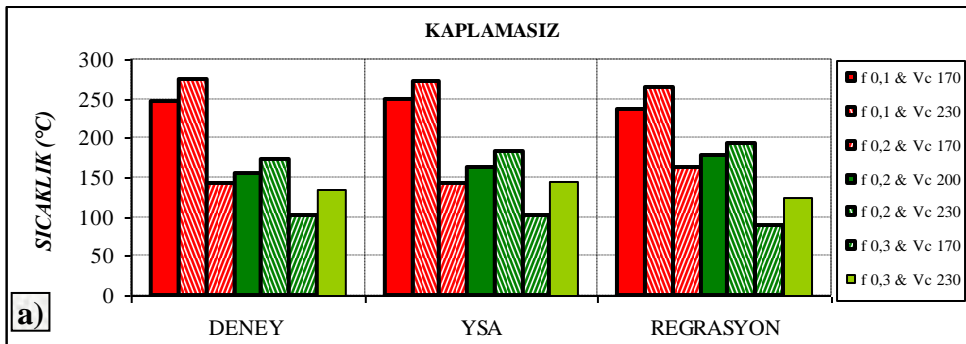
KAPLAMASIZ						KAPLAMASIZ					
Parametreler			Deney	YSA	Regresyon	Parametreler			Deney	YSA	Regresyon
			Sonuçları	Sonuçları	Sonuçları				Sonuçları	Sonuçları	Sonuçları
No	f	V	F_z(N)	F_z(N)	F_z(N)	No	f	V	T (°C)	T (°C)	T (°C)
1	0,1	170	700	699,74	710,32	1	0,1	170	247	248,77	236,56
2	0,1	230	657	658,16	661,48	2	0,1	230	274	273,18	264,04
3	0,2	170	1008	1008,18	974,62	3	0,2	170	142	141,78	163,12
4	0,2	200	918	917,98	913,6	4	0,2	200	156	162,10	178,6
5	0,2	230	875	874,98	852,58	5	0,2	230	174	183,66	194,08
6	0,3	170	1224	1220,38	1238,92	6	0,3	170	101	102,24	89,68
7	0,3	230	1035	1035,21	1043,68	7	0,3	230	135	144,51	124,12
KAPLAMALI						KAPLAMALI					
1	0,1	170	1334	1333,99	1350,26	1	0,1	170	209	208,72	210,93
2	0,1	230	1246	1246,58	1240,94	2	0,1	230	238	236,90	243,27
3	0,2	170	1423	1439,99	1403,62	3	0,2	170	181	182,68	174,84
4	0,2	200	1396	1396	1352,2	4	0,2	200	194	193,74	186
5	0,2	230	1278	1277,98	1300,78	5	0,2	230	210	208,03	197,16
6	0,3	170	1440	1439,99	1456,98	6	0,3	170	136	137,65	138,75
7	0,3	230	1365	1364,98	1360,62	7	0,3	230	145	145,57	151,05



Şekil 6.11 Kesme parametrelerine göre Deney, YSA ve Regresyon kuvvet sonuçları

a) Kaplamasız takım

b) Kaplamalı takım



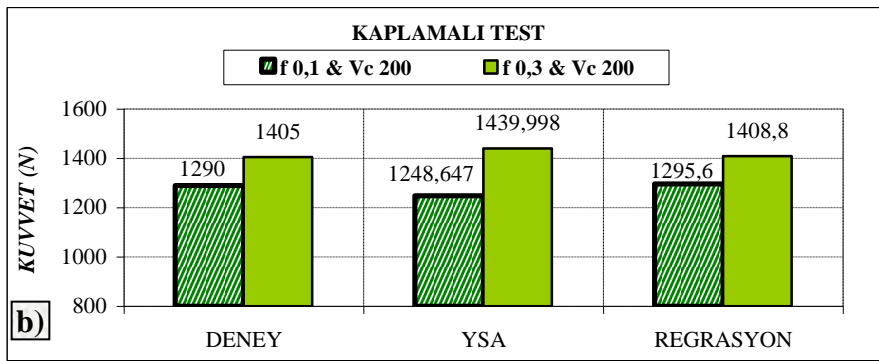
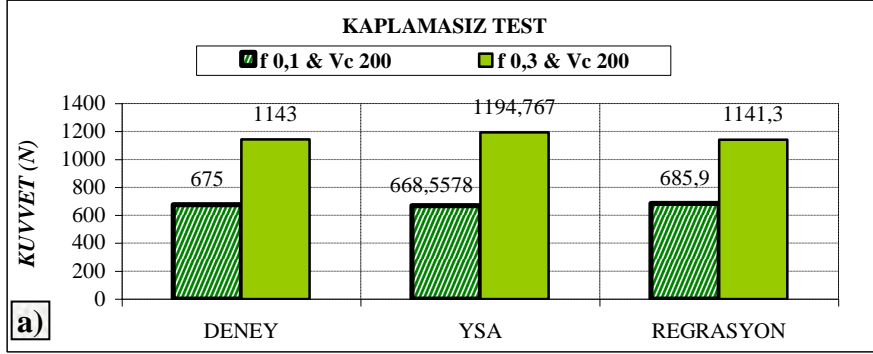
Şekil 6.12 Kesme parametrelerine göre Deney, YSA ve Regresyon sıcaklık sonuçları

a) Kaplamasız takım

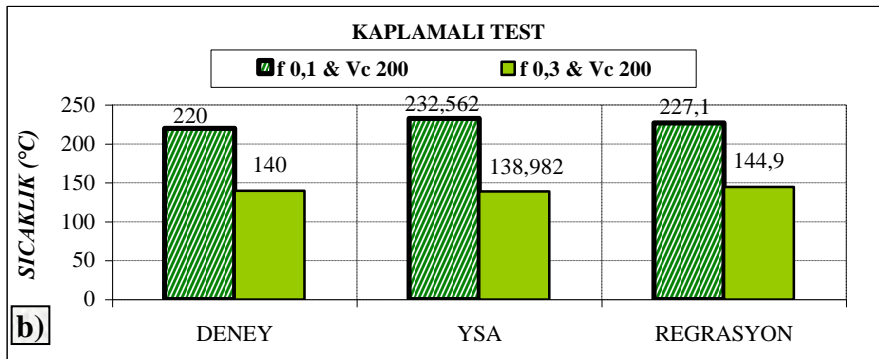
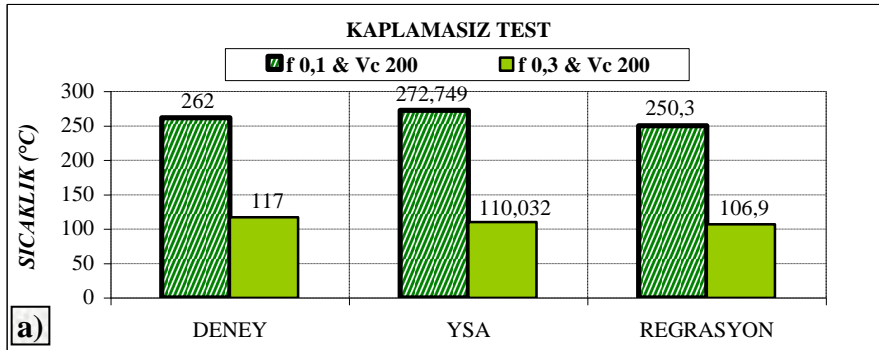
b) Kaplamalı takım

Çizelge 6.11 Test için ayrılan deney sonuçları ile tahmin sonuçları

KAPLAMASIZ						KAPLAMASIZ					
Parametreler			Deney	YSA	Regresyon	Parametreler			Deney	YSA	Regresyon
No	f	V	F_z (N)	F_z (N)	F_z (N)	No	f	V	T (°C)	T (°C)	T (°C)
1	0,1	200	675	668,5578	685,9	1	0,1	200	262	272,749	250,3
2	0,3	200	1143	1194,767	1141,3	2	0,3	200	117	110,032	106,9
KAPLAMALI						KAPLAMALI					
1	0,1	200	1290	1248,647	1295,6	1	0,1	200	220	232,562	227,1
2	0,3	200	1405	1439,998	1408,8	2	0,3	200	140	138,982	144,9



Şekil 6.13 Kesme kuvveti test sonuçları
a) Kaplamasız takım b) Kaplamalı takım



Şekil 6.14 Kesme sıcaklığı test sonuçları
a) Kaplamasız takım b) Kaplamalı takım

Kaplamasız takımında $f = 0,1$ mm/dev, $V = 200$ m/dak kesme şartlarında 675 N olarak elde edilen deney sonucu, YSA tahmininde %1 azalarak 668,557 N, regresyon tahmininde %1,6 artarak 685,9 N olarak elde edilmiştir. $f = 0,3$ mm/dev, $V = 200$ m/dak kesme şartlarında ise deney sonucu 1143 N olarak ölçülüp, YSA tahmin sonucunda %4,5 artarak 1194,797 N, regresyon tahmin sonucunda ise %0,15 azalarak 1141,3 N olarak elde edilmiştir.

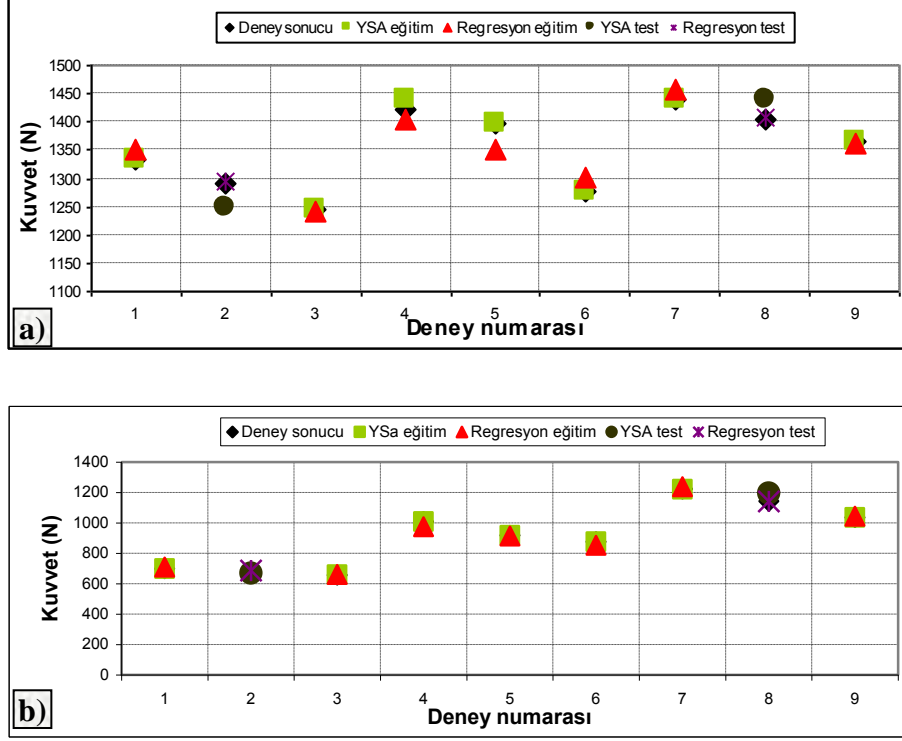
Kaplamalı takımında ise $f = 0,1$ mm/dev, $V = 200$ m/dak kesme şartlarında 1290 N olarak elde edilen deney sonucu, YSA tahmininde %3,2 azalarak 1248,647 N, regresyon tahmininde %0,44 artarak 1295,6 N olarak elde edilmiştir. $f = 0,3$ mm/dev, $V = 200$ m/dak kesme şartlarında ise deney sonucu 1405 N olarak ölçülüp, YSA tahmin sonucunda %2,5 artarak 1439,998 N ve regresyon tahmin sonucunda ise %0,27 oranında azalarak 1408,8 N olarak elde edilmiştir.

Kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için elde edilen kesme kuvveti tahmin sonuçları ile deney sonuçları arasında $\pm 5\%$ ten az hatanın olduğu görülmektedir.

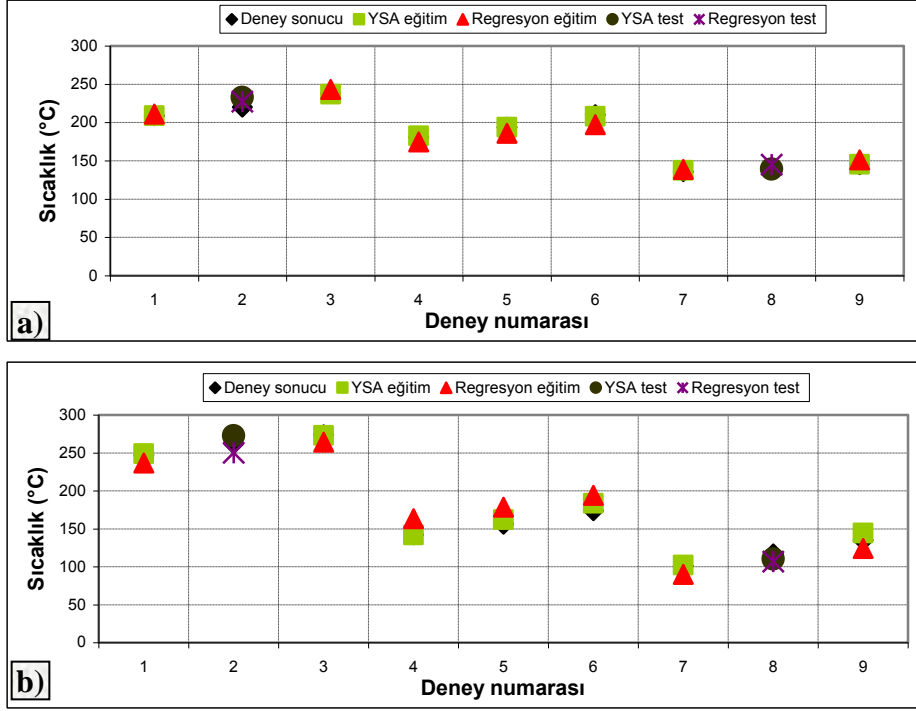
Matkap ucunda ölçülen maksimum sıcaklık değerlerinin YSA ve regresyon tahmin değerlerinin karşılaştırılmasında kaplamasız takımında $f = 0,1$ mm/dev, $V = 200$ m/dak kesme şartlarında 262 (°C) olarak elde edilen deney sonucu, YSA tahmininde %4,1 artarak 272,749 (°C), regresyon tahmininde %4,4 azalarak 250,3 (°C) olarak elde edilmiştir. $f = 0,3$ mm/dev, $V = 200$ m/dak kesme şartlarında ise deney sonucu 117 (°C) olarak ölçülüp, YSA tahmin sonucunda %5,95 azalarak 110,032 (°C), regresyon tahmin sonucunda ise %8,6 azalarak 106,9 (°C) olarak elde edilmiştir.

Kaplamalı takımında ise $f = 0,1$ mm/dev, $V = 200$ m/dak kesme şartlarında 220 (°C) olarak elde edilen deney sonucu, YSA tahmininde %5,7 artarak 232,562 (°C), regresyon tahmininde %3,2 artarak 227,1 (°C) olarak elde edilmiştir. $f = 0,3$ mm/dev, $V = 200$ m/dak kesme şartlarında ise deney sonucu 140 (°C) olarak ölçülüp, YSA tahmin sonucunda %0,72 azalarak 138,982 (°C) ve regresyon tahmin sonucunda ise %3,5 artarak 144,9 (°C) olarak elde edilmiştir.

Kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için matkap ucunda ölçülen maksimum sıcaklık değerlerinin karşılaştırılmasında tahmin sonuçları ile deney sonuçları arasında $\pm \% 9'$ dan az hatanın olduğu görülmektedir.



Şekil 6.15 Kesme kuvveti için deney sonucu, YSA, Regresyon eğitim ve test sonuçları
a) Kaplamasız takım
b) Kaplamalı takım



Şekil 6.16 Kesme sıcaklığı için deney sonucu, YSA, Regresyon eğitim ve test sonuçları
a) Kaplamasız takım
b) Kaplamalı takım

Kaplamasız ve kaplamalı kesici uçların her biri için geliştirilen modellerle hesaplanan $F_z(N)$ ve $T(^{\circ}C)$ sonuçlarının gerçek sonuçlarına uygunluğunda kullanılan RMS , belirlilik katsayıları (R^2), ve ortalama hata değerleri ($\pm \% MAPE$) gösterilmiştir.

Çizelge 6.12. Kaplamasız takımında kesme kuvveti için YSA ve Regresyon modeline ait istatistiksel veriler

	RMS	R²	MAP
YSA Eğitim verisi	0,00072156	0,99999761	0,07866817
YSA Test verisi	0,01844358	0,99854819	2,74172318
Regresyon Eğitim verisi	0,008579	0,999661	1,509553
Regresyon Test verisi	0,0039	0,999931	0,881773

Çizelge 6.13. Kaplamalı takımda kesme kuvveti için YSA ve Regresyon modeline ait istatistiksel veriler

	RMS	R²	MAP
YSA Eğitim verisi	0,003214225	0,999977621	0,17780166
YSA Test verisi	0,019153755	0,999192083	2,848309884
Regresyon Eğitim verisi	0,011036383	0,999734137	1,343850821
Regresyon Test verisi	0,002513573	0,999985681	0,35228558

Kaplamasız ve kaplamalı kesici takımların her biri için öğrenme ve test sonucunda elde edilen YSA ve regresyon model sonuçları ile gerçek deney sonuçları arasında her bir sonuç için % hata ve *MAPE* değerleri hesaplanmıştır. Öğrenme sonucundaki *MAPE*; kaplamasız kesici takım kesme kuvveti için YSA ve Regresyonda sırası ile %0,0786 ve %1,5095 olurken, kaplamalı kesici takım için %0,1779 ve %1,3438 olarak hesaplanmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında ise ortalama hata; kaplamasız kesici takım için %2,7417 ve %0,8817 olurken, kaplamalı kesici takım için %2,8483 ve %0,3522 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.12 ve Çizelge 6.13).

Çizelge 6.14. Kaplamasız takımda sıcaklık için YSA ve Regresyon modeline ait istatistiksel veriler

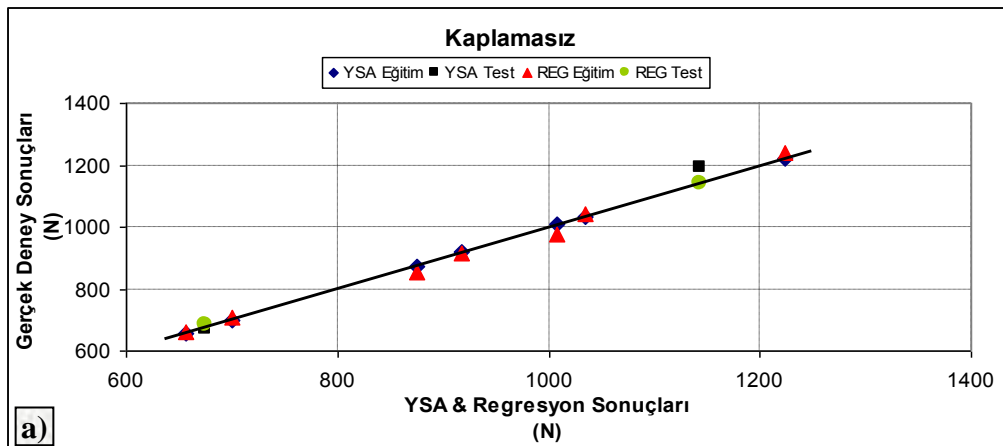
	RMS	R²	MAP
YSA Eğitim verisi	0,003735519	0,998831833	2,702517975
YSA Test verisi	0,00452899	0,998102939	5,029113656
Regresyon Eğitim verisi	0,040253	0,992602	9,718512
Regresyon Test verisi	0,027323	0,996775	6,549064

Çizelge 6.15. Kaplamalı takımda sıcaklık için YSA ve Regresyon modeline ait istatistiksel veriler

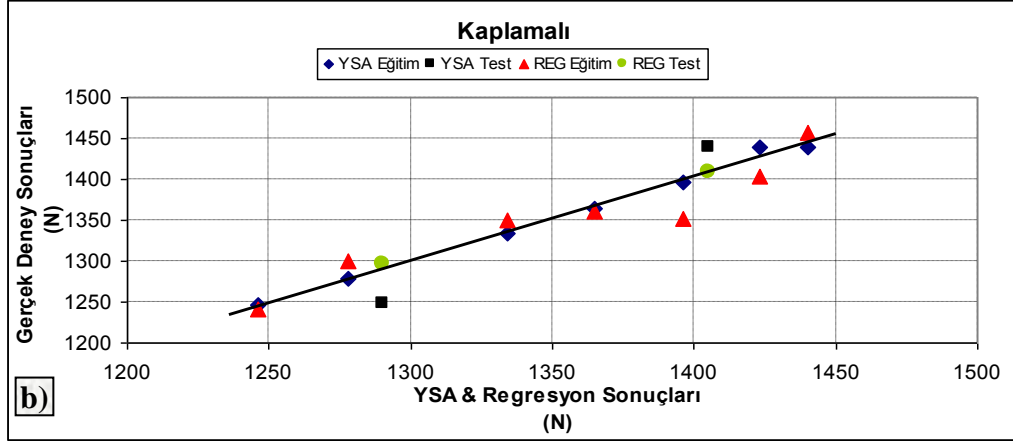
	RMS	R ²	MAP
YSA Eğitim verisi	0,00246381	0,999480881	0,601062483
YSA Test verisi	0,004455897	0,997835997	3,218571429
Regresyon Eğitim verisi	0,017487	0,998629	3,281931
Regresyon Test verisi	0,01525	0,998975	3,363636

Aynı şekilde YSA ve regresyon model sonuçları ile gerçek deney sonuçları arasında her bir sıcaklık sonuçları için % hata ve *MAPE* değerleri hesaplanmıştır. Öğrenme sonucundaki *MAPE*; kaplamasız kesici takımında takım yüzeyinde oluşan sıcaklık için YSA ve Regresyonda sırası ile %2,7022 ve %9,7185 olurken, kaplamalı kesici takım için %0,6010 ve %3,2819 olarak hesaplanmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında ise ortalama hata; kaplamasız kesici takım için %5,0291 ve %6,5490 olurken, kaplamalı kesici takım için %3,2185 ve %3,3636 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.14 ve Çizelge 6.15).

Kaplamasız ve kaplamalı matkapların her biri için geliştirilen YSA ve Regresyon modelleriyle hesaplanan kuvvet ve sıcaklık sonuçlarına uygunluğunda kullanılan öğrenme ve test sonucundaki değerler ile gerçek sonuçlarına uygunluğunu gösteren grafikler Şekil 6.17 ve şekil 6.18’de verilmiştir.

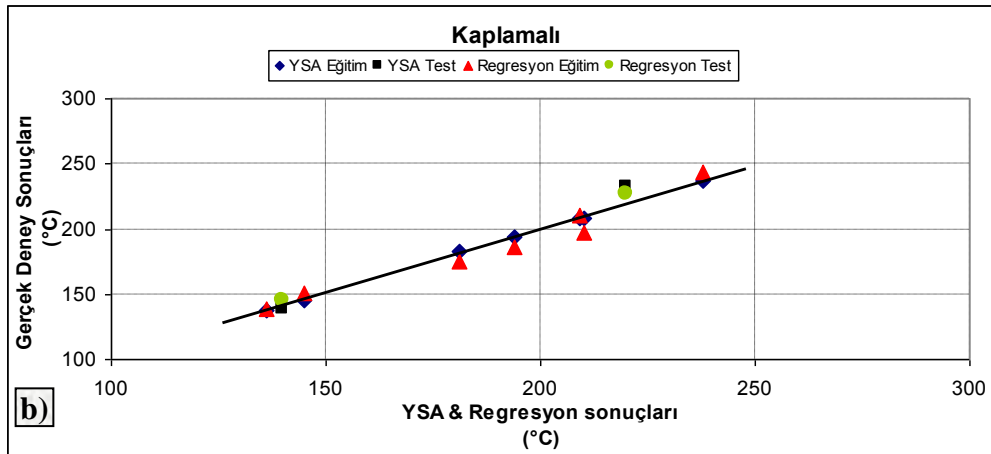
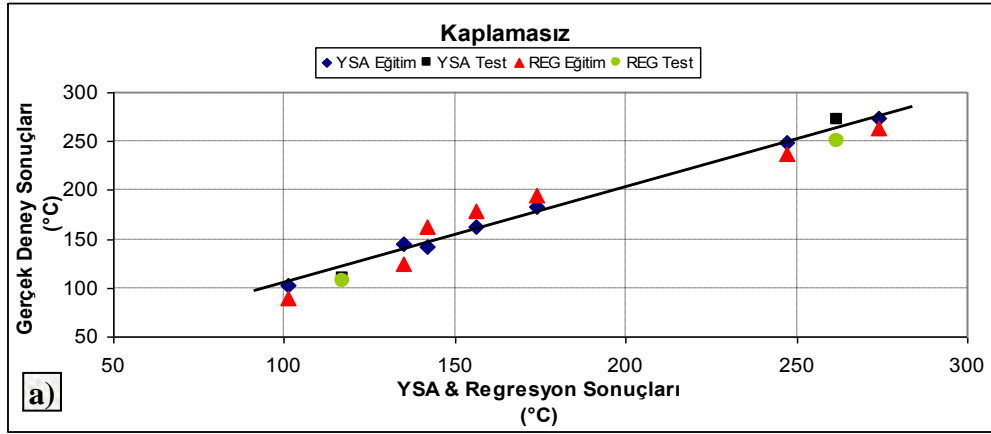


Şekil 6.17 Kesme kuvvetinin YSA ve Regresyon performansı
a) Kaplamasız takım



Şekil 6.17. (Devam) Kesme kuvvetinin YSA ve Regresyon performansı

b) Kaplamalı takım



Şekil 6.18 Sıcaklık için YSA ve Regresyon performansı

a) Kaplmasız takım b) Kaplamalı takım

Yapılan alışmalar neticesinde kesme kuvveti ve takım yüzeyinde oluşan sıcaklıklar arasındaki ilişki Şekil 6.17 ve 6.18 de sunulmuştur. Burada görüldüğü gibi deney sonucu ile YSA ve Regresyon sonuçlarının karşılaştırılmasında sonuçların birbiri ile yakın değerler içersinde olduğu ve doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları iki bölüme ayırarak sunmak mümkündür. İlk olarak; Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar verilecektir. İkinci kısımda ise Taguchi optimizasyonu ve YSA modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar sunulacaktır.

Al6061 iş parçasını kuru delme işleminde; 140° uç açılı kaplamasız ve kaplamalı (TiN/TiAlN/TiCN çok katmanlı) matkaplar kullanılmıştır. Delme işleminde 0.1 mm/dev, 0.2 mm/dev ve 0.3 mm/dev olmak üzere üç farklı ilerleme oranı seçilerek kullanılmıştır. İlaveten, 170 m/dak, 200 m/dak ve 230 m/dak olmak üzere üç farklı kesme hızı seçilerek kullanılmıştır. Bu kesme şartlarının tasarımında Taguchi L_{18} deney düzeneği yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin uygulaması MİNİTAB V16.0.0 istatistik yazılımında gerçekleştirilmiştir. Al6061 alaşım malzemesinin kuru delinmesinde kesme kuvvetine ve kesme sıcaklığına tesir eden üç faktör incelenmiştir. Bunlar; kaplamasız ve kaplamalı matkabın tesiri, ilerleme oranının tesiri ve kesme hızının tesiri şeklinde incelenmiştir.

Elde edilen deneysel sonuçların, yapılan istatistiksel işlemlerin ve YSA modelin bir arada değerlendirilmesi ile bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir;

- ✓ Kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değerleri ilerleme arttıkça azalma göstermektedir. İlerlemenin artması sonucunda; talaş tahliye hızının arttığı, matkabın malzeme ile temasta olacağı sürenin azalması ile de sürtünmeden doğacak sıcaklığın azaldığı düşünülmektedir.
- ✓ Kesici takıma kaplama uygulaması hemen hemen bütün deneylerde kesme bölgesi sıcaklıklarını kayda değer bir şekilde düşürmüştür. Kaplama sayesinde takımın düşük sürtünme katsayısına sahip olması sonucu bu durumun yaşandığını söylemek mümkündür.

- ✓ Kesme hızı referans alınarak deneysel çalışma incelendiğinde ise kesme hızının artmasıyla sıcaklığın artması gözlemlenmiştir,
- ✓ Al6061 malzemesini kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delirken matkap yüzeyinde oluşan sıcaklık kaplamasız matkaplarda daha yüksek çıkmıştır.
- ✓ Ölçülen kesme kuvveti bileşenleri içerisinde delme sırasında büyük öneme sahip olan kesme kuvveti baz alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda kaplamasız ve kaplamalı takımlarla yapılan deneylerin tamamında sabit kesme hızında ilerleme oranı arttıkça kesme kuvvetlerinde de bir artış görülmüştür.
- ✓ Kesme hızının kuvvet üzerindeki etkisi incelendiğinde ise; kesme hızı arttıkça kesme kuvveti azalmıştır. Özellikle düşük kesme hızlarındaki kesme kuvveti diğerlerine göre yüksek olduğu görülmüştür.
- ✓ Kesme parametreleri kombinasyonlarında kaplamasız takımlardan elde edilen kesme kuvveti değerleri kaplamalı takımlarla elde edilenlerden daha düşük olmuştur.
- ✓ Taguchi metodu yardımıyla yapılan sıcaklık optimizasyonun da uygun kesme parametreleri kaplamasız takım kullanılarak 0,3 mm/dev ilerleme oranında, 170 m/dak kesme hızı olarak bulunmuştur, (A1B3C1).
- ✓ Kesme kuvveti için yapılan optimizasyonda ise; kaplamasız takımında 0,1 mm/dev ilerleme oranında, 230 m/dk kesme hızı olarak bulunmuştur, (A1B1C3).
- ✓ Elde edilen deney sonuçlarına varyans analizi (ANOVA) uygulandığında, kesme kuvvetini matkap %62,02, ilerleme oranı %20,43 ve kesme hızı faktörünün %0,47 değerlerinde etkiledikleri, takım yüzeyinde oluşan sıcaklık

değerini ise %81,05 ile en fazla ilerleme oranının etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

- ✓ Regresyon analizi ile, böyle bir deneysel çalışma için kesme kuvvetinin tahminsel denklemi kaplamasız matkapta %99, kaplamalı matkapta ise %85,7 doğruluk, matkap yüzeyinde oluşan sıcaklık için oluşturulan tahminsel denklemde ise kaplamasız matkapta %90,4, kaplamalıda ise %94,1 doğruluk olarak elde edilmiştir.
- ✓ Al6061 malzeme için, kesme parametreleri ile yapılan delme işlemlerinde elde edilen kesme kuvveti değeri Taguchi metodu yardımıyla 2,1 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Aynı şekilde matkap yüzeyinde oluşan sıcaklık için de 1,93 oranında iyileştirme sağlanmıştır.
- ✓ Çalışma esnasında optimum değer bulunması için deneysel bulguların YSA programına öğretilmesiyle optimum değer YSA yardımıyla bulunması sağlanmıştır.
- ✓ Deneysel olarak bulunan sonuçların YSA programına eğitilmesi sonucunda YSA'nın verdiği sonuç ile, deneysel çalışma sonuçlarına bakıldığında elde edilen sonuçların uyduğu görülmüştür.
- ✓ YSA programını kullanarak çok parametrelili işleme koşullarının bulunduğu işlemlerde, işleme performansının iyileştirilmesinde kullanılabileceği ortaya konmuştur. YSA'nın iyi çözümleri kısa sürede bulan etkin bir yaklaşım olduğu belirlenmiştir.
- ✓ YSA programının yapmış olduğu optimizasyon sonucunda imalat sırasında, imalatı yapılacak malzemeleri YSA' dan faydalanarak optimum işleme şartları belirlenebilir. Bu yöntem imalatçıya optimum şartları bulmada tecrübe ve deneme yanılma ile kaybedilen zaman ve malzeme israfını önlemiş olacaktır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre şu öneriler yapılabilir;

Farklı alüminyum serisi malzeme için, farklı kaplamalı kesici takımların kullanılması ile moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve çıkış çapağı oluşumuna etkileri bundan sonra yapılacak olan benzer çalışmalarda bu faktörler göz önüne alınarak delik delme performansının incelenmesi faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Yalçın, B., “Yüksek hız çeliği kesici takım üzerine yapılan Titanyum Nitrür kaplamanın kesici takım performansına etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 65-69 (2002).
2. Ertunç, H.M., Sevim, I. “ Kesici takımların aşınmasını gözleme üzerine yapılan çalışmalar”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14, 55-62 (2001).
3. Arafat, M., “CNC delme işleminde delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü açısından optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 1-2 (2009).
4. Rivero, A., Aramendi, G., Herranz, S., Lopez de Lacalle, L.P., “An experimental investigation of the effect of coatings and cutting parameters on dry drilling performance of aluminium alloys”, *Int. J. Manuf Technol*, 258-275 (2006).
5. Q’Sullivan, D., Cotterell, M., “Temperature Measurement in single point turning”, *Journal of materials Processing Technology*, 118: 301-308 (2001).
6. Thangaraj, A., Wright, P.K., Nissle, M., “New Experiments on the Temperature Distribution in Drilling”, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 106:242-247 (1984).
7. Nouari, M., List, G., Girod, F., Coupard, D., “Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys”, *Wear*, 255: 1359-1368 (2003).
8. Bağcı, E., Özçelik, B., “Investigation of the effect of drilling conditions on the twist drill temperature during step-by-step and continuous dry drilling”, *Materials and Design* 27: 446-454 (2006).
9. Agapiou, J.S., DeVries, M.F., “On the determination of thermal phenomena during drilling-Part II-Comparison of experimental and analytical twist drill temperature distributions”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 30: 217-226 (1990).
10. Zeilmann, R.P., Weingaertner, W.L., “Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant”, *Journal of Materials Processing Technology* 138-152(2006).
11. Usta, M., “tornalama takım tezgahlarında delik delme operasyonları sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetleri ve ısı etkisinin araştırılması “, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 100- 145 (2010).

12. Yağmur, S., “Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklığın deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara,16-48 (2011).
13. Agapiou, J.S., DeVries,M.F., “On the determination of thermal phenomena during drilling - Part I-Analytical models of twist drill temperature distributins”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 30: 203–215, (1990).
14. Agapiou, J.S., “Stephenson, D.A.”Analytical and experimental studies of drill temperatures”, *Journal of Engineering ” for Industry*, 54–60, 116, (1994).
15. Kelly, J.F., Cotterell, M.G., “Minimal lubrication machining of aluminium alloys”, *Journal of Mateerials processing Technology*, 120: 327-334 (2002).
16. Kim, K.W., Ahn, T.K., ”Force Prediction and Stress Analysis of a Twist Drill from Tool Geometry and Cutting Conditions”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 6 (1): 268-297 (2005).
17. Zaquini, L., ”Expert System for The Definition of The Cutting Parameters and Machining Strategies”, *Caravelcut*, Switzerland,145-173 (2008).
18. Fernandes, M., Cook, C., “Drilling of carbon composites using a one shot drill bit. Part I: five stage representation of drilling and factors affecting maximum force and torque”, *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 46:70-75 (2006).
19. Onwubolu, G.C., Kumar, S., “Response surface methodology-based approach to CNC drilling operations”, *Journal of Materials Processing Technology*, 74-88 (2005).
20. Strenkowski, J.S., Hsieh, C.C, Shih, A.J., “An analytical finite element technique for predicting thrust force and torque in drilling”, *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 44: 1413-1421(2004).
21. Wiriyacosol, S., Armarego, E.J.A., ”Thrust and torque predictionin drilling from a cutting mechanics approch”, *Cirp Annales.*, 28(1):87-91(1979).
22. Hamade, R.F., Seif, C.Y., Ismail, F.”Extracting cutting force coefficients from drilling experiments”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 387-396 (2006).
23. Lazoğlu, İ., Altıntaş, Y.,” Prediction of tool and chip temperature in continuous and interrupted machining”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42: 1011-1022, (2002).
24. Kıvık, T., “Inconel 718’in Delinebilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 55-78 (2007).

25. Çakır, A., “Al 7075 ve Al 6013 Alüminyum Malzemelerin Delme Operasyonları Etnasındaki Kesme Parametrelerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 18-54 (2009).
26. Meral, G., “AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde Delme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri ve Delik Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 24-47 (2009).
27. Kaplan, Y., “Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 38-51, (2010).
28. Heinemanna, R., Hinduja, S., Barrowa, G., Petuelli, G., “Effect of MQL on the tool life of small twist drills in deep-hole drilling”, **Internatioanl Journal of Machine Tools & Manufacture**, 44: 1-6 (2006).
29. Mohan, N.S., Ramachandra, A, Kulkarni, S.M., “Influence of process parameters on cutting force and torque during of glass-fiber polyester reinforced composites”, **Composite Structures**, 234-252 (2005).
30. Yang, W.H., Tarn, Y.S., “Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method”, **Journal of Materials Processing Technology**, 84: 122-129 (1998).
31. Kopač, J., Bahor, M., Soković, M., “Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 42: 707-716 (2002).
32. Choudhury, S.K., Bartarya, G., “Role of temperature and surface finish in predicting tool wear using neural network and design of experiments”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 43: 747-753 (2003).
33. Raj, K.H, Sharma, R.H.; Srivastava, S. ”Modeling of Manufacturing Processes with ANN for Intelligent Manufacturing”, **International journal of Machine Tools and Manufacture** 40 851-868(2000).
34. Choudhury, S.K., Bartarya, G., ”Role of Temperature and Surface Finish in Predicting Tool Wear Using Neural Network and Design of Experiments”, **Int. J. of Machine Tool and Manufacturing.**, 43., 747-753(2003).
35. Sanjay, C., Neam, M.L., Chin, C.W., “Modeling of tool wear in drilling by statistical analysis and artificial neural network”, **Journal of Materials Processing Technology**, 170: 494-500 (2005).

36. Davim, J.P, Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., “Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models”, *Journal of Materials Processing Technology*, 205 16-23 (2008).
37. C.C.Tsao, H. Hocheng, “Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44: 1085-1090 (2004).
38. Muthukrishnan, N., Davim, J.P, “Optimization of machining parameters of AL/SiC-MMC with ANOVA and ANN analysis”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 225-232 (2009).
39. Bagci, E., Ozcelik, B., “Analysis of temperature changes on the twist drill under different drilling conditions based on Taguchi method during dry drilling of Al7075-T65”, *Int. J. Adv. Manuf Technol*, 629-636 (2006).
40. Kaynak, Y., “Matkap İle Delik Delme Esnasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Sıcaklığın Değişimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 15-20, (2006).
41. Marinov, V., "Manufacturing processes for metal products", *Kendall/Hunt Publishing*, Dubuque, IA, (2007).
42. Mendi, F., “Takım tezgahları teori ve hesapları”, *ISBN 975-96008*, Ankara, 5-40, (1996).
43. Şahin, M., Acır, A., “Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım ve talaş arasında oluşan sıcaklık dağılımının sonlu farklar metodu ile analizi”, *Politeknik Dergisi*, 6 (3): 543-545 (2003)
44. Liu, Y., Liu, R., Zhu, J.J., Luo, B.L., Miao, Z.B., “The computer simulation of the temperature distribution on the surface of ceramic cutting tools”, *Wear*, 210:39-44, (1997).
45. Oxley, P.L.B., “Mechanics of Machining: An Analytical Approach to Assessing Machinability”, *John Wiley & Sons*, New York, USA, 482-503 (1989).
46. Çengel, Y., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, *Literatür Yayıncılık*, 427-435 (2002).
47. Edward M, Trent Paul K, *Metal Cutting Fourth Edition*, 245-263 (2000).
48. Avuncan, G., “Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar”, *Makine Takım Endüstri A.Ş.*, İstanbul, 37-73 (1998).

49. Akkurt, A., “Delik yüzeylerine uygulanan yüzey iyileştirme işlemlerinin alüminyum alaşımı malzemeler üzerinde araştırılması”, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 65-84 (2009).
50. Çakır, M.C.,”Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara 993, 267 (2006).
51. Şahin, Y.,”Talaş Kaldırma Prensipleri 2”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara 240, 490 (2001).
52. Hicks, R.C., “Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler”, Çeviri Muluk, Z., Toktamış, Ö., Kurt, S., Karaağaoğlu, E., *Akademi Matbaası*, Ankara, 1-10 (1985).
53. Davim, J. P., “A note the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments”, *Journal of Materials Processing Technology*, 116: 305-308 (2003).
54. Ünal, Y.A., “Şanzıman giriş mili imalatındaki proses parametrelerine taguchi metodunun uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 28-57 (2001).
55. Keleş, Ö., Taptık, Y., “Kalite Savaşı”, *Kalder Yayınları*, İstanbul,23: 23-36 (1998).
56. Şirvancı, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı-Taguchi Yaklaşımı”, *Literatür Yayınları*, İstanbul, 107-129 (1997).
57. Koç, S., “Kritik ünitelerin performansını etkileyen faktörlerin deneysel tasarım yöntemi ile optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (2003).
58. Hamzaçebi, C., Kutay, F., Taguchi metodu bir uygulama, *Gazi Üniversitesi Teknoloji Dergisi*, Ankara, 7-17 (2003).
59. Öztemel, E., “Yapay Sinir Ağları”, *Papatya Yayıncılık*, Mart, 68-83 (2003).
60. Toktaş, İ., “Mekanik sistemler için bir kavramsal tasarım modelinin geliştirilmesinde yapay sinir ağlarının kullanılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 24-26 (2003).
61. Soycan, T.Y., “Yapay sinir ağları yaklaşımı ile kompaksiyon parametrelerinin tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 74-81(2008).
62. Erdoğan, M., “Mühendislik Alaşımların Yapı ve Özellikleri”, *Nobel yayın Dağıtım*, Ankara, 137-149 (2001).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAKIROĞLU, Ramazan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 18.05.1985 Karabük
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (544) 838 75 59
e-mail : r_cakir78@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Bölümü	2008
Lise	Safranbolu Endüstri Meslek Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008- 2010	ASSAN İş Mak. Yed. Parç. İmlt. A.Ş.	Koordinatör
2010-	Şehit Büyükelçi Daniş Tunalıgil EML	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, Müzik, Masa Tenisi, Bilgisayar Teknolojileri