

**HSLA DIN EN 10149 ÇELİĞİN FARKLI KESME ŞARTLARINDA
DELİNMESİNDE DELİK KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI VE
SONUÇLARIN YSA'DA MODELLENMESİ**

Yusuf SİYAMBAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2014
ANKARA**

Yusuf SİYAMBAŞ tarafından hazırlanan “HSLA DIN EN 10149 ÇELİĞİN FARKLI KESME ŞARTLARINDA DELİNMESİNDE DELİK KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI VE SONUÇLARIN YSA’DA MODELLENMESİ” adlı tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT

.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği

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

Prof. Dr. İhsan KORKUT

.....

İmalat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT

.....

İmalat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Adem ÇİÇEK

.....

Makina Mühendisliği, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi 12/02/2014

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

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

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 kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yusuf SİYAMBAŞ

**HSLA DIN EN 10149 ÇELİĞİN FARKLI KESME ŞARTLARINDA
DELİNMESİNDE DELİK KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI VE
SONUÇLARIN YSA'DA MODELLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Yusuf SİYAMBAŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2014**

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek dayanımlı düşük alaşımlı HSLA-DIN EN 10149 çeliğine delik delme işlemi yapılarak eksenel kuvvetler, momentler, çap değişimleri, çapak yükseklikleri ve dairesellikten sapma değerleri ölçülmüştür. Deneyler, CNC dik işleme merkezine bağlanan dinamometre ve bu dinamometrenin üzerine bağlanan deney numunelerinin delinmesiyle gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, 8 mm çapında 130° uç ve 30° helis açılı TiAlN kaplamalı ve kaplamasız HSS iki farklı matkap çeşidi kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak, üç farklı ilerleme hızı (0,05-0,075-0,1 mm/dev) ve beş farklı kesme hızı (10-18-26-34-42 m/dak) değeri kullanılmıştır. Her bir matkap için delme sırasında oluşan eksenel kuvvetler, momentler, çap değişimleri, çapak yükseklikleri ve dairesellikten sapma değerleri ayrı ayrı ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda, ilerleme hızının artması ile eksenel kuvvetler, momentler, çap değişimleri, çapak yükseklikleri ve dairesellikten sapma değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Kaplamalı matkap, kesme kuvvetleri ve momentler açısından kaplamasız matkaba göre iyi sonuç verirken, çap değişimleri, çapak yükseklikleri ve dairesellikten sapma açısından daha kötü sonuçlar vermiştir.

Elde edilen deney verilerinden eksenel kuvvet ve moment değerleri Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modellenmiştir. Deney sonuçları ile tahmin değerleri karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın çıktığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Delik delme, HSLA, Kesme kuvvetleri, çap değişimi, apak yüksekliği, Dairesellikten sapma
Sayfa Adedi : 91
Tez Yöneticisi : Yrd. Do. Dr. Yakup TURGUT

**INVESTIGATION OF EFFECT OF DIFFERENT CUTTING PARAMETERS
ON THE HOLE QUALITY IN DRILLING OF HSLA DIN EN 10149
MATERIAL AND MODELING OF RESULTS WITH ANN
(M.Sc. Thesis)**

Yusuf SİYAMBAŞ

**GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
February 2014**

ABSTRACT

In this study, thrust forces, moment, diameter changes, burr height and roundness error values have been measured as drilling holes on high-strengthened and low-alloy HSLA-DIN EN 10149 steel. Experimentations were performed dynamometer fixed to the table of CNC vertical machine center. In experiments, two different types; TiAlN coated and uncoated drills with diameter of 8 mm, tip angle of 130° and helix angle of 30° were used. As cutting parameters, three different feed rates (0.05-0.075-0.1 mm/rev) and five different cutting speeds (10-18-26-34-42 m/min) were used. For each cutting tools, thrust forces, moments, diameter changes, burr height and roundness error values formed during drilling have been measured separately. As a result of experiments, with the rise of feed rate, an increase in thrust forces, moments, diameter changes, burr height and roundness error values has been seen. Coated cutting tools showed better performance than uncoated tools in terms of cutting forces and moments whereas they exhibited worse performance in terms of diameter changes, burr height and roundness error.

According to data obtained from experiments, axial force and moment values have been modelled with Artificial Neural Network (ANN). It has been seen that the estimated values and results of experiments are close to each other.

Science Code	: 708.3.028
Key Words	: Drilling, HSLA, Cutting forces, Diameter change, Burr height, Roundness error
Page Number	: 91
Supervisor	: Assist. Prof. Dr. Yakup TURGUT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT'a teşekkür ederim.

Ayrıca, deneylerin yapılmasında bana yardımcı olan Arş. Gör. Dr. Gültekin UZUN, Öğr. Gör. Ramazan ÇAKIROĞLU ve Şenol BAYRAKTAR'a teşekkür ederim.

Maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan annem ve kardeşlerim Zeynep ve Havvanur SİYAMBAŞ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. TALAŞ KALDIRMA VE DELİK DELME.....	15
3.1. Talaş Kaldırma İşlemi.....	15
3.1.1. Talaş kaldırma olayını etkileyen faktörler.....	16
3.2. Delik Delme İşlemi.....	17
3.3. Delik Delmede Kullanılan Kesme Parametreleri.....	20
3.4. Matkaplar.....	21
3.4.1. Matkap geometrisi.....	22
3.5. Delik Delme İşleminde Eksenel Kuvvetler ve Moment.....	24
3.5.1. Delik delme kuvvetlerini etkileyen faktörler.....	29
3.6. Delik Delmede Çapak Oluşumu.....	30
4. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	33

Sayfa

4.1. Yapay Sinir Ağı Hücresi.....	35
4.2. Yapay Sinir Ağlarını Oluşturan Temel Elemanlar.....	36
4.2.1. Girdiler.....	36
4.2.2. Ağırlıklar.....	36
4.2.3. Toplam fonksiyonu.....	36
4.2.4. Aktivasyon fonksiyonu.....	37
4.3. Yapay Sinir Ağlarını Topolojisi.....	38
4.4. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi.....	40
5. MALZEME VE METOT.....	41
5.1. Deney Numuneleri.....	41
5.2. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Donanımlar.....	42
5.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım ve Kesme Parametreleri.....	43
5.4. Delik Çapı, Çapak Yüksekliği ve Ovalitenin Kontrolü.....	44
5.5. Kuvvet ve Moment Değerlerinin Belirlenmesi.....	46
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	48
6.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	50
6.2. Momentlerin Değerlendirilmesi.....	54
6.3. Çap Değişimlerinin Değerlendirilmesi.....	57
6.4. Çapak Yüksekliklerinin Değerlendirilmesi.....	59
6.5. Dairesellikten Sapma (Ovalite).....	62
6.6. Deney Sonuçlarının YSA İle Analizi ve Değerlendirilmesi.....	66
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR.....	85

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ.....	91
---------------	----

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. HSLA-DIN EN 10149 çelik malzemesinin mekanik özellikleri	42
Çizelge 5.2. HSLA-DIN EN 10149 çelik malzemenin kimyasal bileşimi.....	42
Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan cihaz ve donanım özellikleri.....	42
Çizelge 5.4. Deneylerde kullanılan kesici takımlar	44
Çizelge 5.5. Kesme parametreleri.....	44
Çizelge 5.6. Ölçümlerin yapıldığı tezgahın özellikleri.....	46
Çizelge 6.1. UFL A1148 kaplamasız takıma ait deney veri tablosu.....	49
Çizelge 6.2. UFLTFL A1149 kaplamalı takıma ait deney veri tablosu.....	50
Çizelge 6.3. Kaplamasız matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri.....	70
Çizelge 6.4. Kaplamalı matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri.....	71
Çizelge 6.5. Kaplamasız matkap için her bir nöronun ağırlık değerler.....	72
Çizelge 6.6. Kaplamalı matkap için her bir nöronun ağırlık değerler	72
Çizelge 6.7. Deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.....	75
Çizelge 6.8. Test için ayrılan deney sonuçları ile tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.....	76
Çizelge 6.9. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarda eksenel kuvvet için YSA modeline ait istatistiksel veriler.....	78
Çizelge 6.10. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarda moment için YSA modeline ait istatistiksel veriler.....	79

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Takım modeli ve ortogonal kesme.....	16
Şekil 3.2. Delik delme işlemleri.....	19
Şekil 3.3. Kesme hızı, giriş oranı, fener mili hızı, devir başına ilerleme ve delik işleminin temel faktörleri.....	21
Şekil 3.4. Matkabın genel kısımları	22
Şekil 3.5. Matkaptaki yüzey ve kesici kenarlar	23
Şekil 3.6. Takım ucunu etkileyen kuvvetler.....	25
Şekil 3.7. Talaş kaldırma işleminde talaş oluşumu.....	28
Şekil 3.8. Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetleri.....	28
Şekil 3.9. Delik delmede çapak oluşumu.....	32
Şekil 3.10. Çapak çeşitleri.....	32
Şekil 4.1. Basit bir sinir hücresi	33
Şekil 4.2. Sinir sisteminde bilgi akışı.....	34
Şekil 4.3. Temel Yapay Sinir Ağı hücresi.....	35
Şekil 4.4. Tam bağıntılı çok katmanlı ağ yapısı.....	39
Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan malzemeye ait teknik resim ölçüleri	41
Şekil 5.2. Deneylerde kullanılan cihaz ve donanımların montaj ve bağlantıları.....	43
Şekil 5.3. Dairesellik ölçümleri.....	45
Şekil 5.4. İlerleme ve moment değerlerini belirlemede kullanılan deney grafiği (Kaplamasız matkap 42 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme).....	47
Şekil 6.1. İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızında eksenel kuvvetler.....	51
Şekil 6.2. Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızında eksenel kuvvetler.....	53

Şekil	Sayfa
Şekil 6.3. İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızında momentler.....	54
Şekil 6.4. Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızında momentler.....	56
Şekil 6.5. İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızında çap değişimleri.....	57
Şekil 6.6. Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızında çap değişimi.....	58
Şekil 6.7. İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızında çapak yükseklikleri.....	60
Şekil 6.8. Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızında çapak yükseklikleri.....	61
Şekil 6.9. İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızında dairesellikten sapma.....	63
Şekil 6.10. Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızında dairesellikten sapma.....	65
Şekil 6.11. Kaplamasız matkap için ağ yapısı.....	67
Şekil 6.12. Kaplamalı matkap için ağ yapısı.....	67
Şekil 6.13. Kaplamasız matkap için ağ yapısı.....	68
Şekil 6.14. Kaplamalı matkap için ağ yapısı.....	69
Şekil 6.15. Kaplamasız matkap için eksenel kuvvetin YSA performansı.....	79
Şekil 6.16. Kaplamalı matkap için eksenel kuvvetin YSA performansı	80
Şekil 6.17. Kaplamasız matkap için momentin YSA performansı.....	80
Şekil 6.18. Kaplamalı matkap için momentin YSA performansı.....	81

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim

Sayfa

Resim 5.1. Delik ap ve daireselliklerinin lld CMM tezgahı.....	46
--	----

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simge	Açıklama
a_p	Radyal kesme derinliği (mm)
A_s	Kayma düzlemi
b	Kaldırılacak talaş genişliği (mm)
b'	Çıkan talaş genişliği (mm)
D	Matkap çapı (mm)
E	Kayma açısı ($^{\circ}$)
F	Takım Talaş yüzeyine paralel kuvvet (N)
F_c	Takım hareket yönüne paralel kuvvet (N)
F_n	F_s 'ye dik kuvvet (N)
F_r	Radyal kuvvet (N)
F_s	Kesme kuvveti (N)
F_v	Takım hareket yönüne dik kuvvet (N)
F_{vz}	İlerleme kuvveti (N)
h	Kaldırılacak talaş kalınlığı (mm)
h'	Çıkan talaş kalınlığı (mm)
M_z	Toplam kesme momenti (Nm)
N	Devir sayısı (dev/dak)
R	Toplam kuvvet (N)
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
Γ	Talaş açısı ($^{\circ}$)
Φ	Kesme açısı ($^{\circ}$)
Λ	Kayma düzlemi ile toplam kuvvet arasındaki açı ($^{\circ}$)

Kısaltmalar	Açıklama
ANN	Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağları)
BUE	Built-Up Edge (Talaş Yapışması/Sıvanması)
CMM	Coordinate Measuring Machine (Koordinat Ölçme Cihazı)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
Co	Kobalt
DIN	Deutsche Industrie Norm (Alman Standartları)
HSLA	High Strength Low Alloy Steel (Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımlı Çelik)
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
HRc	Rockwell Sertlik
NC	Numerical Control (Sayısal Denetim)
PVD	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Çökeltme)
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür
TiCN	Titanyum Karbon Nitrür
TiN	Titanyum Nitrür
YSA	Yapay Sinir Ağları
WC	Tungsten Karbür
RMS	Root Mean Square (Karekök Ortalama)
MAPE	Mean Absolute Percentage Error (Ortalama Mutlak Yüzde Hata)
R²	Coefficient of Determination (Belirlilik Katsayısı)

1. GİRİŞ

Delik delme en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir ve talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık % 33'ünü içermektedir. Yine kesici takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde harcanan zamanın %25'i delik delme işlemi olarak tezgâhta geçirilmektedir [1].

Matkapla delik delme, imalat sektöründe tornalama ve frezeleme gibi oldukça yaygın 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 büyük önem taşımaktadır. Araştırmalarda, matkapla delinen parçanın malzeme özelliği, kesici takımın cinsi/malzemesi, kesme derinliği, ilerleme hızı, kesme hızı gibi özellikler/parametreler önem arz etmektedir.

Birçok işletmedeki teknolojik verilerin yetersizliğinden dolayı delik delme uygulamalarında çok çeşitli sıkıntılarla karşılaşmaktadır. Delik delme işlemi esnasında kesici takımın maruz kaldığı kuvvet değişimleri ve değişen talaş debisi kesici takımın delik içerisinde sıkışmasına neden olabilmektedir. Fener milinin uygun olmaması veya matkabın gereğinden uzun bağlanması dönme esnasında salgı veya sehim meydana getirerek başta dairesellikten sapma olmak üzere delik giriş ve çıkış ağzı arasında aksel kaçıklığa (silindiriklikten sapmaya) neden olur. Bu gibi sebeplerden dolayı delik kalitesi istenilen tolerans sınırları dışına çıkar. Yüksek kaliteli deliklerin işlenmesinde ölçü tamlığı ve delik kalitesi önemli olduğu için bu gibi delik delme işlemlerinde raybalama gibi ikincil işlemlere ihtiyaç duyulur. Bu da beraberinde zaman ve üretim kaybına neden olup işleme maliyetini yükseltmektedir. 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 imalatla 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 [2].

Günümüzde bilgisayar teknolojisi her alanda olduğu gibi talaşlı üretimde tasarımdan, üretime ve satışa 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) 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 imalatla işleme şartlarının çok karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkiler içinde olması, matematiksel teorilerin gelişim sürecini güçleştirmektedir. Ancak YSA metodu daha kısa sürede bu karmaşık ilişkilere en iyi çözümler üretebilme özelliği, talaşlı imalatla yapılan çalışmalarda yoğun olarak tercih edilmesine sebep olmuştur [3].

Yapılan bu çalışmada, yüksek dayanımlı düşük alaşımlı HSLA-DIN EN 10149 malzemesinin delinmesi esnasında, kesici takımın ve kesme parametrelerinin; eksenel kuvvete, moment oluşumuna, çap değişimine, çapak yüksekliğine ve ovalite gibi delik kalitesini yakından ilgilendiren sonuçlara etkileri araştırılarak optimum delme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneylerde 8 mm çapında kaplamalı ve kaplamasız HSS matkaplar, beş farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme hızı kullanılmıştır.

Deneyler sonucunda elde edilen eksenel kuvvetler ve moment değerlerine YSA'da optimizasyon işlemi uygulanmıştır. YSA'da elde edilen tahmini sonuçlar ile deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İmalat sektöründe delik delme uygulamalarında hızlı takım aşınması, ovalite, eksenel kaçıklık, sıcaklık değişimi, yüzey kalitesinin bozulması gibi bir takım olumsuz durumlarla karşılaşmaktadır. Yüksek kaliteli delikler elde etmek ve bu gibi sorunları ortadan kaldırmak için çoğunlukla raybalama gibi ikincil işlemlerin yapılması gerekmektedir. Delik kalitesinin ve ölçü tamlığının ikincil işlemlere gerek duyulmadan istenilen tolerans sınırları içerisinde kalmasını sağlamak, zaman ve üretim kaybını önleyerek işleme maliyetini düşürmeye yardımcı olmaktadır. Delik delme işlemlerinde karşılaşılan bu gibi olumsuzlukların önüne geçmek, çözüm üretmek ve daha iyi işleme şartları sağlamak amacı ile çok çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar aşağıda özetlenerek sunulmuştur.

Kıvak, yaptığı çalışmada Inconel 718 malzemenin delinebilirliği için kuru kesme koşulları altında optimum delme şartlarını araştırmıştır. Deneysel çalışma, 5 mm çapında kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplı karbür matkaplar kullanılarak, kuru kesme şartlarında CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. 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 ovalite ölçülmüş ve bu ölçümler ışığında kesici takımlar arasında performans değerlendirmesi yapılmıştır. Inconel 718'in kuru kesme şartlarında delinmesinde, en iyi performans kaplamasız takımlarla, en kötü performans ise TiAlN kaplı takımlarla elde edilmiştir. Ayrıca yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında takım performansı ve delik kalitesinin düştüğü tespit edilmiştir [4].

Meral, AISI 1050 çelik malzemenin delinebilirliği ile ilgili deneysel araştırma yapmıştır. Deneyler, 6-8 ve 10 mm çaplarında kaplamasız ve PVD metodu ile TiAlN kaplanmış HSS matkaplar ile üç farklı kesme hızı (20-30-40 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0,05-0,1-0,15 mm/dev) değeri kullanılarak kuru kesme şartları altında CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Ayrıca, delik derinliği 17 mm seçilmiş ve deliklerde ölçü tamlığı, ovalite, eksensel kaçıklık, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Deneyler sonucunda,

kaplamalı matkapların, kaplamasız matkaplara göre; tüm değerlendirme kriterleri için olumlu sonuçlar sergilediği ve ilerleme kuvveti üzerinde, ilerleme hızının, kesme hızına göre daha etkili bir parametre olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğü değerleri, artan kesme hızı değerlerine bağlı olarak azalırken, ilerleme hızının artması ile arttığı belirtilmiştir [2].

Özkul ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, sıcak iş takım çeliklerinden Dievar derece çeliği üzerinde çeşitli matkaplar ile delik delme esnasında meydana gelen eksenel kuvvetler, yüzey pürüzlülüğü, ölçü tamlığı ve ovalite değerlerini araştırmışlardır. Deneyler dik işleme merkezinde soğutma sıvısı ile 16 mm çaplarında kaplamasız karbür matkap ve kendinden raybalı TiAlN kaplamalı matkaplar kullanılarak yapılmıştır. Kesme parametreleri olarak dört kesme hızı (36-40-44-48 m/dak) ve 0,16 mm/dev ilerleme hızı kullanılmıştır. Deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri bakımından incelendiğinde kendinden raybalı matkabın ve karbür matkabın 40 m/dak hızında diğer kesme hızlarına nispeten daha pürüzsüz bir yüzey verdiği belirtilmiştir. Ovalite ve çaptan değişim değerleri bakımından kendinden raybalı ve solid karbür matkabın 40 m/dak kesme hızında elde etmiş olduğu en iyi değerler bu kez 36 m/dak kesme hızında elde edildiği belirtilmiştir [5].

Yağmur ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, AISI 1050 çeliğinin farklı özellikteki kesiciler (kaplamalı ve kaplamasız) kullanılarak farklı kesme parametrelerinde delinmesi sonrasında elde edilen delik yüzey pürüzlülüklerinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Delikler, 14 mm çapında kaplamasız ve TiN/TiAl/TiCN kaplamalı solid karbür matkaplarla delinmiştir. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (60-70-90-108 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,15-0,20-0,25 mm/dev) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda ilerleme hızındaki artış yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir. Kesme hızındaki artış ile yüzey pürüzlük değerlerinde bir azalma olduğu belirtilmiştir. Kaplamalı takımların kaplama malzemesi sayesinde düşük sürtünme katsayısına sahip olması, yüzey kalitesini olumlu yönde etkilediği vurgulanmıştır [6].

Tosun ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada AISI 4140 çelik malzemesinin çeşitli matkaplar ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Deneylerde, 10 mm kalınlığında AISI 4140 malzeme ve 5 mm çapında, 90° - 118° - 130° uç açısına sahip HSS, TiN kaplı HSS ve karbür matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak üç farklı ilerleme (0,1-0,2-0,3 mm/dev), üç farklı devir sayısı (450-1120-1800 dev/dak) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda tüm matkaplarda en iyi yüzey pürüzlülüğü 118° uç açısında elde edilmiştir. Ayrıca matkap sertliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri düşmüştür. Buna göre iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerleri küçükten büyüğe doğru sıralandığında kullanılan matkap cinsine göre karbür, TiN ve HSS matkap şeklinde değiştiği belirtilmiştir. HSS matkaplar hariç, ilerleme hızı ve devir sayısının artması ile yüzey pürüzlülüğünün değerlerinin arttığı belirtilmiştir [7].

Jurko ve Panda, östenit paslanmaz çeliğin delinmesinde delik yüzey kalitesinin kötüleşmesini engellemek için kesici takım aşınması üzerine deneysel araştırma yapmışlardır. Deneyler, ELC X01Cr18Ni10TiN paslanmaz çelik malzeme ve 4 mm çapında kaplamasız sementit karbür matkap kullanılarak kuru kesme şartları altında yapılmıştır. Kesme parametreleri olarak iki farklı kesme hızı (40-50 m/dak), iki farklı ilerleme (0,01-0,06 mm/dev) ve 12 mm delik boyu kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, kesme işlemlerinde en önemli faktörün matkabın iş parçasına dik bir şekilde girmesi gerektiği belirtilmiştir. Kesme işlemi için matkap boy-çap oranının iyi seçilmesi, eksenel kaçıklığı azaltmak için ise ilerleme hızlarının daha düşük olması vurgulanmıştır [8].

Paro ve arkadaşları, HIPed (sıcak presleme) tekniğiyle NiTi kaplanmış paslanmaz çelik malzemenin (X2CrNi 1911) delinebilirliği ile ilgili deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerde, 8,5 mm çapında CrN ve TiN kaplı sementit karbür matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak tek kesme hızı (50 mm/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,1-0,15-0,2 mm/dev) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, NiTi kaplama ile paslanmaz malzeme arasında adhezyonun oluştuğu ve kesme yağının desteğiyle de delik yüzey kalitesinin arttığı belirtilmiştir. Ayrıca ilerleme hızının atmasıyla da delik yüzey kalitesinin azaldığını da belirtmişlerdir [9].

Li ve arkadaşları, 6,35 mm kalınlığında Ti6Al4V titanyum alaşımlarının delinebilirliği üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerde, 4 mm çapında 118° uç ve 30° helis açılı kaplamasız HSS, 118° uç ve 30° helis açılı kaplamasız WC-Co ve 135° uç ve 30° helis açılı kaplamasız WC-Co matkaplar kullanılmıştır. Çalışmada, altı farklı kesme hızı (6,1-9,1-12,2-13,7-18,3-27,4 m/dak), dört farklı ilerleme hızı (0,051-0,076-0,102-0,152 mm/dev) kullanılmıştır. Deneylerde, WC-Co spiral matkap ile $156 \text{ mm}^3/\text{s}$ talaş kaldırma hızı, 9,1 m/dak kesme hızı ve 0,102 mm/dev ilerleme hızı kullanılarak daha iyi takım ömrü ve yüzey kalitesinin elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca kesme sıvısı ile yapılan deneylerde, 0,2 MPa kesme basıncı değerinin takım ömrü için kritik nokta olduğu ve kesme sıvısının talaşı uzaklaştırmada önemli bir etkiye sahip olduğu da belirtilmiştir [10].

Chen ve Liu, farklı kaplama özelliklerine sahip iki ağızlı HSS matkaplarla paslanmaz çeliğin delinebilirliği üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmada, 100x200x32mm boyutlarında JIS SUS 304 paslanmaz çelik malzeme, tek katmanlı TiN kaplamalı, çok katmanlı TiN kaplamalı ve çok katmanlı TiCN kaplamalı HSS matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak üç farklı ilerleme hızı (0,07-0,12-0,21 mm/dev), iki farklı devir sayısı (120-127 dev/dak) ve 30 mm delik derinliği kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, TiN tek katmanlı HSS matkaplarla ortalama ilerleme kuvveti ve tork değerlerinin daha fazla olduğu gözlenirken, TiN çok katmanlı matkaplarla bu değerlerin daha düşük olduğu belirtilmiştir. Sabit 120 dev/dak devirle yapılan deneylerde her iki kaplama türünde de ilerleme hızlarının artmasıyla ilerleme kuvveti ve torkta da artış olduğu belirtilirken, devir sayısının artması ile azalma olduğu gözlenmiştir. Matkaplarda yanak aşınmasının olduğu ve en az aşınmanın çok katmanlı TiN kaplı matkaplarda olduğu belirtilmiştir [11].

Gariboldi, PVD yöntemi kullanılarak kaplanmış iki ağızlı HSS matkaplarla magnezyum alaşımlarının delinebilirliği üzerine deneysel çalışma yapmıştır. Deneylerde, 320x130x100 mm ölçülerinde AM60B Mg alaşımlı malzeme, 10 mm çapında 130° uç açısı ve 35° helis açılı TiN, CrN, ZrN kaplı ve kaplamasız HSS matkaplar kullanılmıştır. Çalışmada, tek kesme hızı (63 m/dak), dört farklı ilerleme

(0,27-0,37-0,50-0,70 mm/dev) kullanmıştır. Deneyler sonucunda, sabit kesme hızı ve farklı ilerleme hızlarında matkap yan yüzeyinde BUE'nin oluştuğu gözlenirken adhesiv aşınmanın kaplama tipi ve kesme parametrelerine bağlı olduğu belirtilmiştir. ZrN kaplı matkaplarla yapılan çalışmalarda ağır işleme şartlarında daha iyi performans gösterdiği, aynı zamanda işleme süresini kısalttığı belirtilmiştir [12].

Nomani ve arkadaşları, 2205-2507 ve AISI 316L paslanmaz çeliklerinin delinebilirliği üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Deneyler, 20 mm çapında TiAlN+TiN kaplamalı iki ağızlı solid karbür matkap kullanılarak CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri olarak tek kesme hızı (60m/dak), tek ilerleme (0,15 mm/dev) ve 30 mm delik derinliği kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, kesici takım yan ve kesme yüzeyinde adhesyon ve abrasiv aşınma oluştuğu ancak yan yüzeylerde adhezyon aşınma tipinin daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte 2205 ve 2507 malzemelerinin delinmesinde adhezyon aşınma mekanizmasından dolayı AISI 316L'ye göre kesici kenarda BUE oluşumunun daha fazla olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, en yüksek kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin sırasıyla 2507, 2205 ve AISI 316L malzemenin delinmesi esnasında oluştuğunu belirtmişlerdir [13].

Kıvak ve arkadaşları, PVD yöntemiyle kaplanmış tek ve çok katmanlı HSS matkaplarla AISI 316 çeliğinin delinmesinde delme parametrelerinin Taguchi optimizasyonu ile ilgili çalışma yapmışlardır. Çalışmada, 100x175x15mm ölçülerinde AISI 316 paslanmaz çelik malzemeyi kullanarak kuru kesme şartlarında talaş kaldırmışlardır. Deneylerde 6 mm çapında TiN, NanoTiAlN tek katmanlı, TiAlN/TiN kaplı çok katmanlı ve kaplamasız HSS iki ağızlı matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak, dört farklı kesme hızı (12-14-16- 18 m/dak), iki farklı ilerleme hızı (0,1-0,2 mm/dev) ve 13 mm sabit kesme boyu kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, yüzey pürüzlülüğünü %39,14 oranla etkileyen en önemli faktör kesici takım olurken, ilerleme kuvvetini etkileyen faktör ise %82,72 oranla ilerleme hızı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca doğrulama deneyi sonuçlarına göre %95 güvenilirlik oranı elde edildiğini belirtmişlerdir [14].

Gaitonde ve arkadaşları, AISI 316L paslanmaz çelik malzemenin delinmesinde çapak oluşumunun azaltılması üzerine sayısal modelleme yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, 25 mm kalınlığında AISI 316L malzeme ve 9-11-15-20 ve 22 mm çapında, 119°-120°-123°-127° ve 130° uç ve 8°-9°-10° ve 12° boşluk açısına sahip kaplamasız HSS matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (8-12-15-20 m/dak), beş farklı ilerleme (0,04-0,05-0,06-0,07-0,08 mm/dev) kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, kesme hızı ve ilerlemenin çapak oluşumu üzerine önemli bir etken olduğu, çapak oluşumunu azaltmak için kesme hızının, ilerleme hızının düşürülmesi ve daha büyük çap ve uç açısına sahip matkapların kullanılması gerektiği vurgulanmıştır[15].

Kumar ve Packiaraj, OHNS malzemenin delinmesinde delme parametrelerinin, delik çap değişimi, talaş kaldırma oranı, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde, 300x100x10 mm OHNS malzeme ve 10-12-15 mm çapında HSS matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak üç farklı kesme hızı (6-6,5-8 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,15-0,2-0,25 mm/dev) kullanılmıştır. Taguchi L_{18} ortogonal deney düzeneği kullanılarak yapılan deneyler sonucunda en etkili parametreler anova ile tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, delik çap değişimi, talaş kaldırma hızı üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu belirtilmiştir [16].

Kıvak ve arkadaşları, AISI 316 östenit paslanmaz çeliğin delinmesinde tek katlı ve çok katlı kaplamaların delik kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde 6 mm çapında tek katlı TiN-TiAlN ve çok katlı TiAlN/TiN kaplı matkaplar kullanılmıştır. Çalışmada, dört farklı kesme hızı (12-14-16-18 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0,08-0,1-0,12 mm/dev) hızı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, tüm matkaplarla yapılan deneylerde 16 m/dak kesme hızına kadar delik çap değişiminde azalma olduğu ancak aşınmadan kaynaklı kaplamanın özelliğinin kaybolmasından dolayı 18 m/dak kesme hızında delik çapında artış olduğu gözlenmiştir. Ovalite de ise 16 m/dak kesme hızına kadar azalma olduğu ancak aşınmadan kaynaklı kaplama özelliğinin kaybolmasından dolayı 18 m/dak kesme hızında artış olduğu

belirtilmiştir. Delik çapı ve ovalite değerleri üzerinde kesme hızının etkisinin daha fazla olduğu belirtilmiştir [17].

Rahman ve Mamat, Pirinç malzemenin mikro delinmesinin delik kalitesi üzerindeki işleme parametrelerinin etkisini incelemiştir. Deneylerde, 40x40x10 mm ölçülerinde malzeme, 0,5-1 mm çaplarında HSS matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak üç farklı ilerleme hızı (1-5-10 mm/dev), üç farklı devir sayısı (1000-2000-3000 dev/dak) kullanılmıştır. Delinen deliklerin doğruluğu için matkap çapı, ilerleme ve devir sayısı arttıkça delik çapının doğruluğunda bir azalma olduğu belirtilmiştir. Devir sayısı ve ilerlemenin artmasıyla takım aşınması ve çapak oluşumunda artış olduğu gözlenmiştir [18].

Kıvak ve arkadaşları, Inconel 718 süper alaşımının delinmesi esnasında takım aşınması ve delik kalitesi üzerine kesme parametrelerinin etkisini araştırmışlardır. Deneylerde, 5 mm çapında 135° uç açısı ve 35° helis açılı TiAlN ve TiN kaplamalı ve kaplamasız matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (10-12,5-15-17,5 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,05-0,075-0,1 mm/dev) ve 8 mm kesme derinliği kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, ovalite-ilerleme ilişkisi kıyaslandığında ilerleme hızının artmasıyla ovalitenin arttığı gözlenmiştir. Kesme hızı-ovalite ilişkisi incelendiğinde ise, en yüksek ovalitenin en yüksek kesme hızında olduğu belirtilmiştir. İlerleme hızı-delik çapı ve kesme hızı-delik çapı ilişkilerinde, aynı kesme hızında ilerlemenin artmasıyla delik çapında artma ve kesme hızının artmasıyla delik çapında artma olduğu belirtilmiştir. Tüm kesme hızları ve ilerleme hızları ile yapılan deneylerde, delik çapı için en iyi değerlerin kaplamasız matkaplarla elde edildiği söylenmiştir. Delik çapındaki ovalite kesici takımlar açısından kıyaslandığında ovalite değeri kaplamasız takımlarda en düşük olduğu belirtilmiştir [19].

Gaitonde ve arkadaşları, AISI 316L paslanmaz çelik malzemenin çapak oluşumunu azaltmak için Taguchi L₉ optimizasyonunu kullanarak deneysel araştırma yapmışlardır. Deneylerde, 25 mm kalınlığında AISI 316L malzeme, 4-10-20-28 mm çaplarında ve 118°-126°-134° uç açılı ve 8°-10°-12° boşluk açılı kaplamasız iki ağızlı

HSS matkaplar kullanılarak yapılmıştır. Kesme parametreleri olarak üç farklı kesme hızı (8-16-24 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,04-0,08-0,12 mm/dev) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, 4-10-28 mm çaplarında matkaplar için matkap uç açısının optimum çapak oluşumu üzerinde önemli etkiye sahip olduğu, 20 mm çapındaki matkapla ise çapak oluşumunu azaltmada kenar boşluk açısının önemli etkisinin olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çapak oluşumunu azaltmak için daha büyük uç açısına sahip matkapların kullanılması gerektiği ve ilerleme hızlarının düşük seçilmesi gerektiği vurgulanırken kesme hızı ve boşluk açısının ilerleme hızı ve matkap uç açısına göre kayda değer parametre olmadığı belirtilmiştir [20].

Belluco ve Chiffre, östenit paslanmaz çeliğin delinmesinde bitkisel tabanlı kesme yağının performans değerlendirmesini yapmışlardır. Deneysel çalışmada 300x200x35 mm ölçüsünde AISI 316L malzeme ve HSS-Co 8,8 mm çapında matkap kullanılmıştır. Deneylerde, 25 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme hızı, 33 mm kesme boyu ve 6 farklı kesme yağı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, takım ömrü olarak en iyi performansı (%177) ve ilerleme kuvvetlerinde azalmayı (%7) ticari mineral kesme yağı ile elde edildiği belirtilmiştir. Bununla birlikte takım ömrü ile ilgili korelasyon sonuçlarının son derece güvenilir olduğu da belirtilmiştir [21].

Wang ve arkadaşları, TiAlN kaplı matkapla S48CS1V dövme çeliğinin delinmesinde, aşınma davranışı ve talaş oluşumu üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerde, TiAlN kaplı solid karbür ve sementit karbür matkaplar kullanılmıştır. Çalışmada, 150 mm/dak ilerleme, 12 mm/sn kesme hızı ve 83,74 mm kesme boyu kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, TiAlN kaplı solid karbür matkapla takım ömrünün kaplamasız sementit karbür matkaba göre daha fazla olduğu gözlenirken, yüksek sürtünme ile kaplamasız kesicide kaplamalı kesiciye göre daha fazla tork meydana geldiği belirtilmiştir. Aşınma mekanizmalarından adhezyon, kimyasal çözünme ve oksidasyon meydana gelmiştir. Kimyasal çözünmenin kaplamadan dolayı oluştuğu, adhesiv aşınmanın ise yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleştiği belirtilmiştir [22].

Kaplan ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada CNC dik işleme merkezinde, boydan boya delik delme sürecinde işleme parametrelerinin delik sonu çıkışında çapak oluşumuna etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmada iki farklı sertlikteki soğuk iş takım çeliği (AISI D2-20 HRC ve AISI D3-28 HRC), iki farklı çap (8-10 mm) ve dört farklı uzunlukta (117-133-165-184 mm) HSS matkap uçlar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak üç farklı kesme hızı (5-10-15 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,04-0,05-0,06 mm/dev) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, ilerleme parametresinin artışı çapak yüksekliğinin azalmasına neden olurken, kesme hızının artması ile oluşan çapak yüksekliğinin arttığı belirtilmiştir [23].

Lazoğlu ve Altıntaş, çalışmalarında delme işleminin mekanik ve dinamik hareketini esas alarak, kesme kuvvetleri ve delik kalitesinin tahmini için matematiksel model geliştirmişlerdir. Yapısal dinamik modüllerle iş mili (spindle) ve modele entegre edilen kesici takım sisteminin titreşimlerini, delik kalitesini tahmin etmek için ölçmüşlerdir. Kesme kuvvetleri tahmin edilmesinin yanında delinmiş deliğin 3D modelinin belirlenmesi ve görülmesini sağlamışlardır. Teorik model sonuçları ile ölçülen kuvvetleri ve CMM delik profilini doğrulamak için çok sayıda deney yapılmıştır. Sonuç olarak model üzerinden tahmin edilen geometrik bilgiler ile CMM ölçümleri arasında ciddi farklılık çıkmadığını ifade etmişlerdir [24].

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 hızı kullanarak deneyler yapmışlardır. 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 belirtilmiştir [25].

Tsao ve Hocheng, yaptıkları çalışmada farklı uç açıları ile farklı kesme şartlarında karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozit (CFRP) malzemenin delinmesi sonucunda elde edilen delik çapları incelenmiştir. Çalışmada Taguchi ve ANOVA analizleri

kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, ilerleme hızı ve matkap çapının delme performansında en etkili faktör olduğu belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan Taguchi ve ANOVA analizleri sonucunda yapılan doğrulama deneyleriyle gerçek deney sonuçları arasındaki hatanın % 8 olduğu belirtilmiştir [26].

Jahromi ve arkadaşları, kompozit malzemelerde delik kalitesi üzerine farklı parametrelerinin etkisini araştırmışlardır. Deneylerde beş farklı matkap, üç farklı ilerleme ve devir sayısı kullanılmıştır. Deneyler sonucunda kesme kuvveti en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu ve ilerleme hızının artması ile delikteki ovalitenin bozulduğu ve bu bozulmanın kompozit malzemede deliğin giriş ve çıkışındaki elyafların kopmaya zorlanmasında görülmüştür [27].

Mohan ve arkadaşları, yaptığı çalışmada, 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. Mohan 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 [28].

Kılıçkap, yaptığı çalışmada CETP kompozit malzemenin delinmesi işleminde kesme hızı, ilerleme ve matkap uç geometrisinin etkisine bağlı olarak delik giriş ve çıkışında oluşan deformasyon faktörünü deneysel olarak araştırmıştır. Deneylerde, 5 mm çapında ve 118° ve 135° uç açılı matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (5-10-15-20 m/dak), dört farklı ilerleme (0,1-0,2-0,3-0,4 mm/dev) kullanılmış ve deneyler kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Deneyler sonucunda, en düşük deformasyon faktörü düşük kesme hızı ve ilerleme hızı ile elde edildiği belirtilmiştir. Delik giriş ve çıkışında en düşük deformasyonun, 5 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında olduğu belirtilmiştir. Deformasyon faktörü üzerine bir diğer etki ise matkap uç geometrisinin olduğu ve bu malzemenin

delinmesinde düşük deformasyon elde etmek için 118° uç açılı matkabın tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır [29].

Tosun, yaptığı çalışmada Al/SiCp takviyeli metal matrisli kompozitlerin delinmesi üzerinde, yüzey bütünlüğünün etkisini araştırmıştır. Deneylerde, 5 mm çapında, üç farklı uç açısına sahip (90° - 118° - 130°) TiN kaplamalı HSS ve solid karbür matkaplar ile iki farklı ilerleme hızı (0,08-0,16 mm/dev) ve devir sayısı (260-1330 dev/dak), dört farklı ısıl işlem yapılmış malzeme kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, sertlik ve matkap uç açısının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını belirtilmiştir. Ayrıca, en iyi yüzey pürüzlülüğü değerinin 130° uç açısına sahip solid karbür matkaplar ile 0,16 mm/dev ilerleme hızı ile elde edildiği belirtilmiştir [30].

Canpolat, yaptığı çalışmada CYCOM7701, CYCOM7714 ve ISOVAL11 kompozit malzemeler kullanarak delme performansı ve delik kalitesini farklı kesme parametreleri, matkap türleri ve matkap çapları kullanarak farklı takviyeli ve kalınlıkları farklı kompozitlerde uygulamak suretiyle incelemiştir. Delme deneyleri, 5-10-15 mm çapında HSS, TiN ve karbür matkaplarla üç farklı kesme hızında (125-250-315 dev/dak) ve üç farklı ilerleme (0,056-0,112-0,16 mm/dev) hızlarında yapılmıştır. Yapılan deneyler ve incelemeler sonucunda, devir ve ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Küçük çaplı matkaplarda yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi sonuçlar alınmış, HSS matkaplarda yüzey pürüzlülüğünün arttığı buna karşın TiN kaplı ve karbür matkaplarda ise azaldığı ve en iyi yüzey kalitesinin karbür matkaplarla elde edildiği belirtilmiştir [31].

Literatürde delik delmenin dışında, gerek tornalama gerekse frezelemede de, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri, momentler veya işleme kalitesi üzerindeki etkileri deneysel araştırılmış, sonuçlar YSA'da modellenerek kıyaslamalar yapıldığı tespit edilmiştir [32-35].

Yapılan literatür araştırması sonucunda, delik delme sürecinde işleme performansına ve delik kalitesine etki eden faktörlerden; kesici takım türü, uç geometrisi, iş parçası malzemesi, delik çapı, tezgah rijitliği, soğutma sıvısı, kesme hızı ve ilerleme gibi

kesme parametrelerinin etkileri ile ilgili çeşitli araştırmaların yapıldığı görülmüştür. Farklı kesme parametrelerinin ve matkap uç geometrilerinin, delik kalitesini nasıl etkilediği, kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri ve optimum kesme şartlarına ulaşabilmek için matkap uç geometrisinde değişikliklerin yapılması gibi çalışmalar dikkat çekmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda özellikle uç geometrisine bağlı olarak kesme kuvveti ve momentlerle ilgili çeşitli istatistiksel ve matematiksel modeller geliştirildiği gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada ise, otomotiv sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılan yüksek dayanımlı düşük alaşımlı HSLA-DIN EN 10149 malzemenin delinmesinde, kesme parametrelerinin ve kesici takımın etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Delik delme işleminde, kesme parametreleri ve kesici takım kaplama özelliğinin; aksenal kuvvetler, momentler, çap değişimleri, çapak yükseklikleri ve ovalite gibi özelliklere etkileri bir arada değerlendirilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerine bağlı olarak kaplamasız ve kaplamalı matkaplar üzerinde oluşan ilerleme kuvveti ile momentlerin deneysel sonuçları ile YSA tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır.

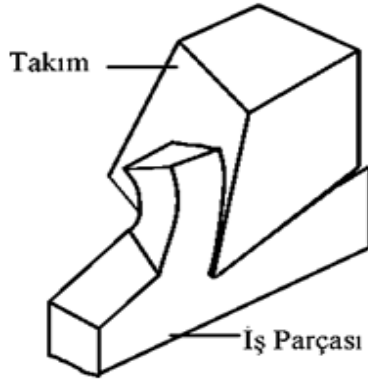
3. TALAŞ KALDIRMA VE DELİK DELME

3.1. Talaş Kaldırma İşlemi

İş parçasını istenilen şekil, boyut ve yüzey kalitesine getirmek için, iş parçasından daha sert ve keskin bir kesici takım vasıtası ile güç kullanarak iş parçası üzerinden malzeme kaldırmaya talaş kaldırma işlemi denir. Bu süreçte iş parçasından ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Talaş kaldırma işleminin gerçekleşebilmesi için takım ve iş parçasının birbirine göre izafi hareketlerde bulunması gerekir. Fiziksel olarak talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye bağlı olarak; sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması gibi olaylar meydana gelen, karmaşık bir fiziksel olaydır [36].

Talaş kaldırma esnasında takım ile parça arasında kesme ve ilerlemeden meydana gelen iki temel hareket vardır. Bu hareketlerin, parça ya da takım tarafından yapılması çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirir. İlerleme hareketi; parçanın uzunluğu, genişliği veya derinliği boyunca belirli bir kısmın işlenmesini sağlayan harekettir. Kesme hareketi ise takımın yapmış olduğu doğrusal ya da dönme hareketi ile ilerleme hareketinin bir sonucudur. Takım bu hareketlerin neticesinde iş parçası üzerinden verilen ilerleme kadar talaş kalınlığını koparmaya çalışır. Bu işleme kesme adı verilir. Bu kesme işleminin gerçekleşebilmesi için de kesici takımın; üzerine gelen kuvvetlere ve bunların meydana getirdiği gerilmelere karşı koyabilecek dirence sahip olması gerekmektedir [37].

Talaş kaldırma işleminde iş parçası ve takım arasında sürtünme, ısı, takım aşınması, takım deformasyonu vb. gibi bir dizi olay meydana gelir. Bir parça üzerinden talaş kaldırılabilmesi için takımın iş parçasına nüfuz etmesi ve takım veya iş parçasına uygulanan kesme kuvvetinin yeterli olması gerekir [38].



Şekil 3.1. Takım modeli ve ortogonal kesme [39].

3.1.1. Talaş kaldırma olayını etkileyen faktörler

Fiziksel açıdan talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye bağlı olarak, talaşın kırılması ve/veya büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, sürtünme, ısı oluşumu, takım ucunun (ağzının) aşınması gibi olaylardan meydana gelen fiziksel olaylar zinciridir. Bu yüzden talaş kaldırma işlemine etkiyen çok sayıda faktör vardır. Bunlar şöyle özetlenebilir [40].

- Kesici takım ömrü, T (dak)
- Kesme hızı, V (m/dak)
- Kesme kuvvetleri, F_T
- İlerleme miktarı, f (mm/dev)
- Takım geometrisi, KA_T
- Titreşim durumu, V_i
- Soğutma sıvısı, S_s ,
- Takım/iş parçası malzeme çifti, $TM_ç$
- Takım burun yarıçapı, r (mm)

Bunlar fonksiyonel olarak ifade edilirse;

$$f(T, V, f, F_T, KA_T, V_i, S_s, TM_ç, r) = 0 \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir.

Talaş kaldırma işleminin karmaşıklığı nedeniyle bu fonksiyon da karışıktır. Bu nedenle, yapılan araştırmalarda bunlardan birçok faktör sabit tutularak bir kısım etmenlerin tespit edilmesi gerekir. Bunlar arasında da en önemlisi kesici takım performansı ve maliyete etkileri daha yüksek olduğundan takım ömrüdür.

Takım ömrü kesici takımın birbirini takip eden iki bileme esnasında etkili olarak çalıştığı zaman olduğundan, genellikle takım ömrü-kesme hızı ve kesme hızı-talaş kesiti ilişkileri öncelik arz etmektedir [40].

3.2. Delik Delme İşlemi

Delik delme, kesici takımlarla bir iş parçası üzerine silindirik delik açma işlemidir. Delik delme işlemi birçok değişik iş parçasına ve malzemeye uygulanabilir. Bazen civata, vida ve diğer elemanlar için delinmesi gereken delikte yüksek derecede tolerans doğruluğuna gerek olmayabilir. Fakat aynı zamanda, kama deliği veya kalıp pimleri gibi hassas deliklerde ise tolerans doğruluğu önem arz etmektedir [41].

Delik delme işlemi bazı yönleri ile tornalama ve frezeleme işlemleri ile karşılaştırılabilir de delik delmede talaş kırma ve talaşın boşaltılması kritik öneme sahiptir. İşleme delikle sınırlıdır, yani delik derinliği ne kadar büyükse işlemi kontrol etmek ve talaş kaldırmak o kadar zor olur. Birçok parçada kısa delikler bulunur ve yüksek talaş kaldırma hızı, kalite ve güvenilirliğe ilaveten önemi artan bir önceliğe sahiptir. Delik delme işlemlerini; dolu malzemeye delik delme, delik büyütme, fatura açma (kademeli delik delme) ve raybalama olmak üzere dört başlık altında toplamak mümkündür [42].

Dolu malzemeye delik delme

Dolu malzemeye delik delme en yaygın delik delme yöntemidir. Bu yöntemle katı maddeye tek işlemde önceden belirlenmiş bir çapta delik açılır (Şekil 3.2.a).

Delik büyütleme

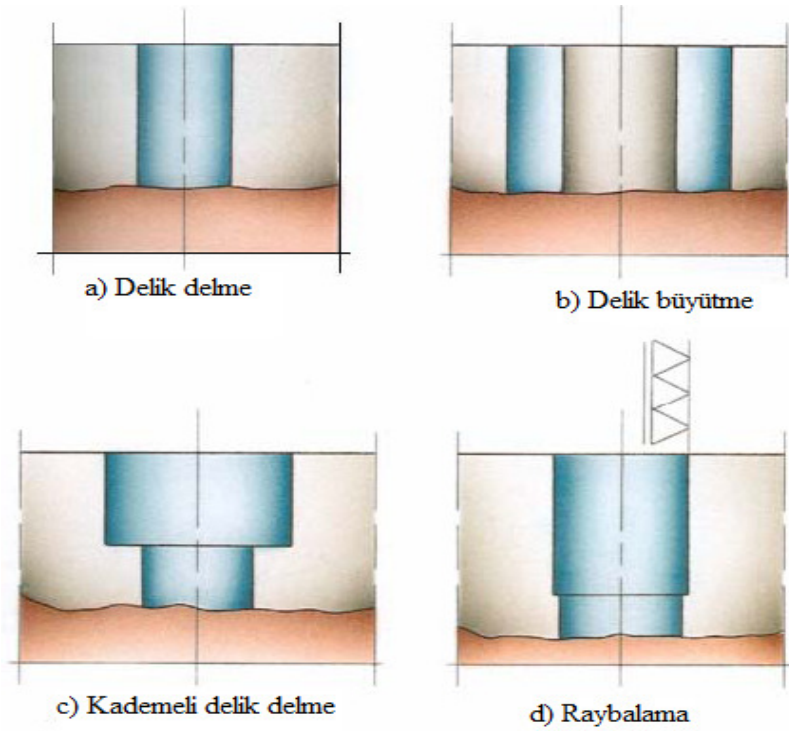
Delik büyütleme genellikle daha büyük delik çapları için kullanılır. Bu metot dolu malzemeye delik delme kadar güç harcama gerektiren bir metot değildir. Delik büyütlemede takımın bütün çapı kesmez, takım sadece deliğin çevresindeki bir halkayı işler. Bütün malzemeyi talaş olarak kaldırmak yerine göbek malzemesi deliğin merkezinin etrafında boş olarak bırakılır, bu metot sonuçta delik içi uygulamaları içindir (Şekil 3.2.b).

Fatura açma

Fatura açma (kademeli delik işleme) deliğin çevresinde önemli bir miktarda talaş kaldıran özel olarak tasarlanmış bir takımla mevcut deliğin genişletilmesidir (Şekil 3.2.c).

Raybalama

Raybalama mevcut deliğin son (ince) işlemidir. Bu işlem yüksek yüzey kalitesi ve küçük tolerans sağlamak için kullanılır (Şekil 3.2.d).



Şekil 3.2. Delik delme işlemleri [43].

Derin delik delme

Delik derinliği ne kadar büyükse işlemi kontrol etmekte o kadar zorlaşır. Derin delik delme esnasında ortaya çıkan zor koşullar kesici takım, tezgah ve yardımcı ekipman ile ilgili belirli talepleri de beraberinde getirir. Derin delik delme uygulamalarına çelik, nükleer güç, petrol ve yakıt gibi pek çok endüstri de rastlanmaktadır. Bu uygulamalarda boyut ve yüzey toleransları kadar kalite konusunda da belirli talepler mevcuttur. İş parçalarının çok pahalı olması ve iadelerin ekonomik sonuçları etkilemesi söz konusudur. İşleme esnasında genellikle güvenilirliğe de büyük öncelik verilir. Bu gereksinimleri karşılamak için geliştirilen delme sistemleri ve takımlar, kısa delik delme işlemleri de dahil olmak üzere, tüm işlemlerde belirli kaliteleri sağlamayı amaçlarlar.

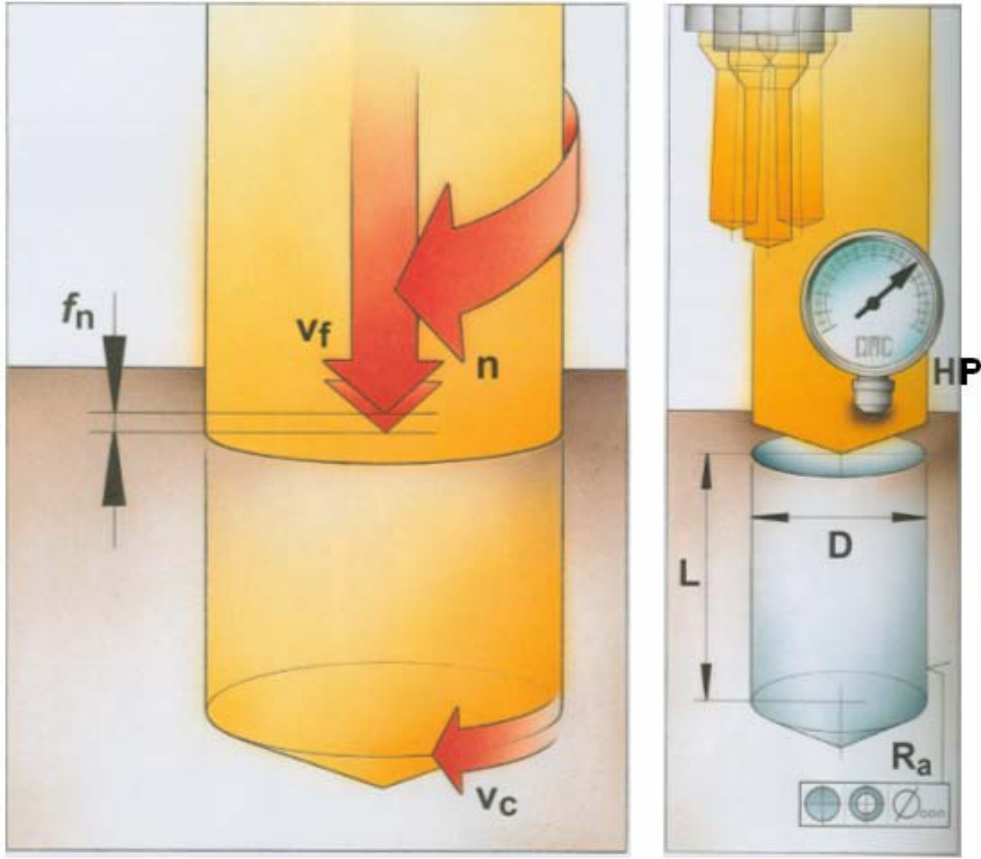
Tüfek namluları, uzun mil, bağlantı çubukları gibi derin delikler delinmesi gerektiğinde bazı problemlerle karşılaşmıştır. Delik derinliği arttıkça delme işlemini gerçekleştirmek de buna paralel olarak zorlaşır. Devir sayısı ve ilerleme çok dikkatli

olarak ayarlanması gerekmektedir çünkü derin delik delme işleminde hata yapma olasılığı kısa delik delme işlemine göre oldukça fazladır [44].

3.3. Delik Delmede Kullanılan Kesme Parametreleri

Delik delme için kesme hızı veya yüzey hızı, (V_c m/min) çevre hızıyla belirtilir ve fener mili hızından hesaplanır. Fener mili hızı (n), dakikadaki devir sayısı olarak ifade edilir. Kesme hızı, kesme kenarının hangi matkap yüzeyi boyunca çalışacağına bağlı olarak da değişir. Delik delme takımları için işlemedeki zorluk, matkabın çevresinden merkezine doğru kesme hızının düşmesi ve merkezde sıfır olmasıdır. Tavsiye edilen kesme hızları çevredeki en yüksek hız içindir.

Devir başına ilerleme bir devir süresince takımın yaptığı eksenel hareketi belirtir. Bu ifade giriş oranını hesaplamada kullanılır ve matkabın ilerleme kapasitesini belirler. Giriş oranı veya ilerleme hızı (V_f mm/dev) birim zamandaki uzunluk cinsinden takımın iş parçasına bağlı olarak ilerlemesidir. Bu ifade tezgâh ilerlemesi veya tabla ilerlemesi olarak da bilinir. Devir başına ilerleme ve fener mili hızının çarpımları matkabın iş parçasına giriş hızını verir. Delik delme işlemi hesaplamalarında radyal kesme derinliği (a_p) ve dış başına ilerleme (f_z) kadar delik derinliği (L) de önemli bir faktördür (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Kesme hızı, giriş oranı, fener mili hızı, devir başına ilerleme ve delik işleminin temel faktörleri [45].

3.4. Matkaplar

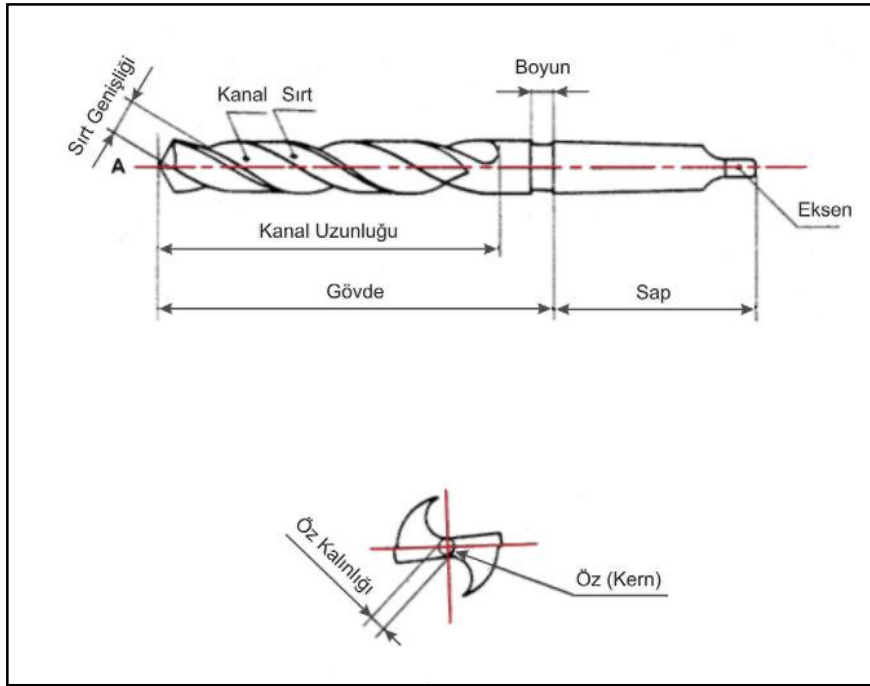
Delme işlemlerinde kullanılan kesici takımlara genel olarak matkap denir. Matkaplar talaşlı üretimde en çok kullanılan kesici alet gruplarından biridir. Bir matkap kendi eksenini etrafında dönerek ve aynı zamanda eksenini doğrultusunda ilerleyerek iki kesici ağzı ile kesme yapar. Metallerin işlenmesinde birçok çeşitli matkap 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 [44].

3.4.1. Matkap geometrisi

Matkaplar genel olarak gövde ve sap olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Tutturma için kullanılan sap kısmı konik veya silindirik şeklindedir. Kanallı kısım sap ile yekpare yada kaynakla birleştirilerek üretilmektedir. Her matkap türünde olmasa da sap ile kanal arasında boyun denilen bir kısım vardır [46].

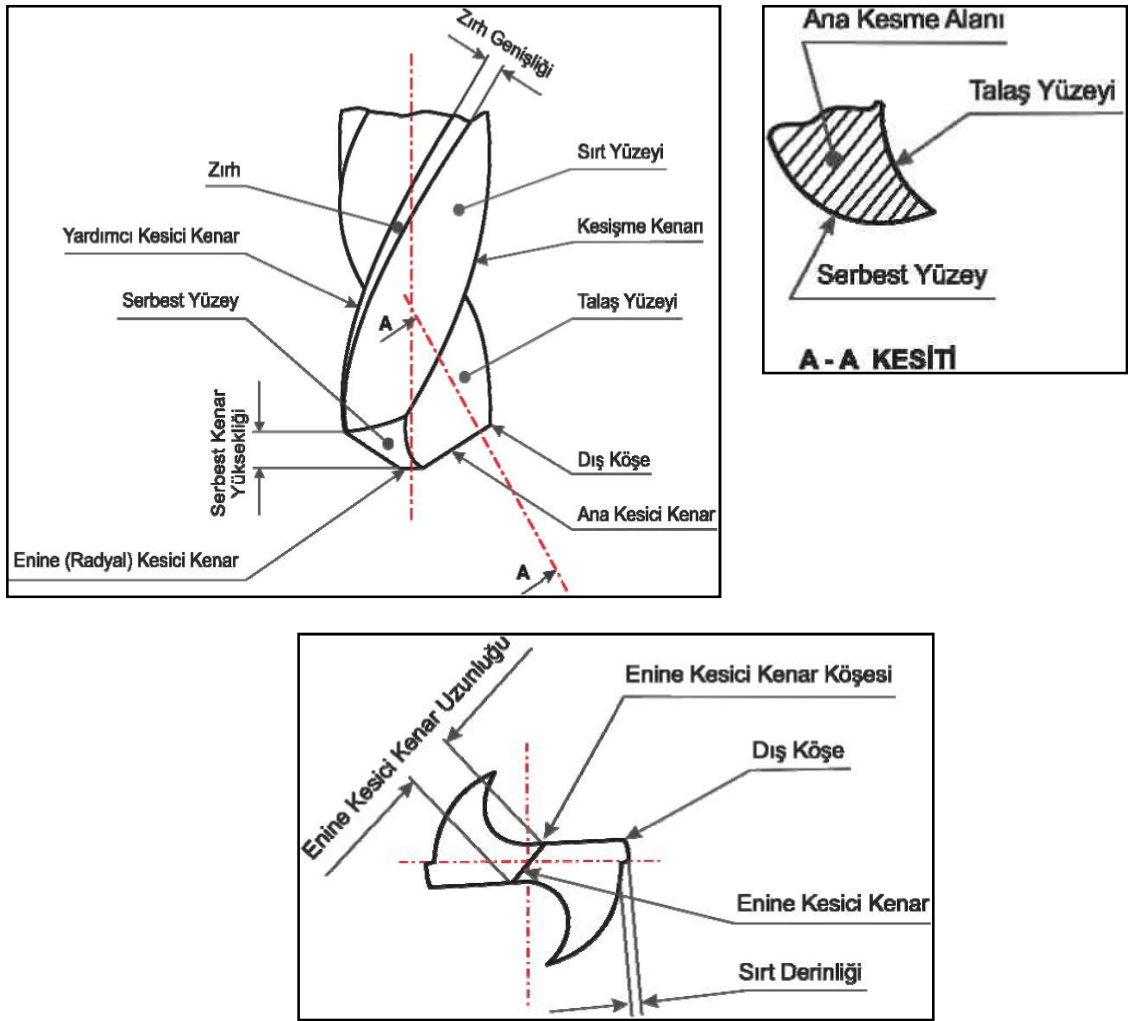
Şekil 3.4 de bir matkap genel hatlarıyla gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Matkabın genel kısımları [47].

Matkapta asıl kesme olayı matkap ucunda gerçekleşir. Bu kısımda matkabın ağız sayısına göre iki ya da üç ana kesici kenar ve her ağızın birer talaş yüzeyi ve serbest yüzeyi mevcuttur. Ana ağızların oluşturduğu koni tam sivri değildir. Aralarında çekirdek denilen yassı bir kısım mevcuttur. Çekirdeğin uç genişliği enine kesici kenarı oluşturur. Serbest yüzey, uç kısmındaki konik alandır. Matkabın kanallı

kısımında iki kanal arasında kalan yüzey sırt denilen kısımdır. Sırt üzerinde matkap kanalı boyunca helisel olarak uzanan yüzeye zırh adı verilir ve zırh yüzeyinin kanal tarafındaki kenarı yardımcı kesici kenar olarak adlandırılır [46].



Şekil 3.5. Matkaptaki yüzey ve kesici kenarlar [47].

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), matkap çapına göre (d) devir sayısının (n) hesaplanması için kullanılan denklem 3.2’de verilmiştir.

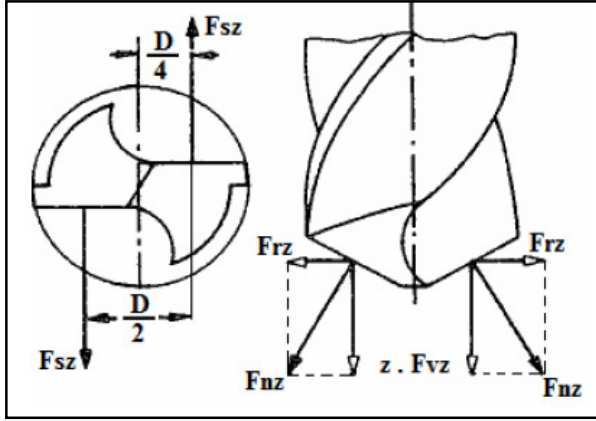
$$V_c = \frac{\pi x d x n}{1000} \text{ (dev/dak)} \quad (3.2)$$

formülü ile kesme hızı hesaplanır.

3.5. Delik Delme İşleminde Eksenel Kuvvetler ve Moment

Kesici takım üzerine etki eden kuvvetler, talaş kaldırmanın önemli bir safhasıdır. Takım tezgahının rijitliği ve kesme gücü dikkate alınarak kesme kuvvetlerinin ölçülmesi, takım tasarımını optimize etmede de gerekli olup, kesmenin bilimsel analizinde kuvvetlerin bilinmesini gerektirmektedir. Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetleri, takım-talaş arasındaki temas uzunluğu ile ilgilidir. Temas alanı ne kadar az olursa kesme kuvvetleri de o kadar azalır. Kesme hızının artırılması, kayma açısını arttırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetlerini de oldukça düşürmektedir. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlar kullanılarak, takım-talaş arasındaki temas uzunluğunun sınırlandırılmasıyla kesme kuvvetlerinde belirli düşüşler sağlanabilmektedir. Kesme kuvvetleri kesici uç geometrisinden de etkilenmektedir. Talaş açısının optimum bir değeri mevcut olup, bu değer daha fazla artışı kesici ucun dayanımını azaltacağından aşınmayı artırır. Artan aşınma ile birlikte boşluk yüzeyi temas alanını artıracığından takımdaki kesme kuvvetleri artacaktır. [48].

Delme sırasında bir ağıza karşılık gelen talaş kaldırma kuvvetleri 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 [46].

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

F_{vz} : İlerleme kuvveti,

F_{rz} : Radyal kuvvet,

F_{sz} : Kesme kuvveti,

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 [38].

Delme sırasında matkabın bir ağızına karşılık gelen kesme kuvveti (F_{sz}), ilerleme kuvveti (F_{vz}) ve radyal kuvveti (F_{rz}) şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi ağızların konumu itibarıyla her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir. Dolayısıyla delme işleminde sadece F_{sz} ve F_{vz} kuvvetleri etki göstermektedir.

Matkabın bir ağızına karşılık gelen kesme kuvveti,

$$F_{sz} = A_{sz} k_s = \frac{dS_z}{2} k_s = \frac{ds}{4} k_s \quad (3.3)$$

ve toplam kesme kuvveti;

$$F_s = zF_{sz} = 2F_{sz} = ds_z k_s = \frac{ds}{2} k_s \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada özgül kesme kuvveti (k_s),

$$k_s = 1,2k_{s11}h^{-z} \quad (3.5)$$

veya

$$k_{sh} = k_{s11}h^{-z} \text{ değeri ile} \quad (3.6)$$

$$k_s = 1,2k_{sh} \quad (3.7)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

"1, 2" değeri matkapla talaş kaldırma işleminin özelliklerini yansıtan bir düzeltme faktörüdür [38].

Kesme kuvvetine bağlı, bir ağıza tekabül eden kesme momenti,

$$M_{sz} = F_{sz} \cdot d / 4 \quad (3.8)$$

ve iki ağıza karşılık gelen toplam kesme momenti,

$$F_s = 2.F_{sz} \text{ ile} \quad (3.9)$$

$$M_s = z.F_{sz} \cdot \frac{d}{4} = 2.F_{sz} \cdot \frac{d}{4} = F_s \cdot \frac{d}{4} \quad (3.10)$$

veya,

$$M_s = \frac{d^2 \cdot s \cdot k_s}{8 \cdot 10^3} \text{ [N.m]} \quad (3.11)$$

şeklinde yazılır. Burada d (mm), s (mm/dev), k (N/mm²) olarak konulur ve M_s (Nm) olarak bulunur. Bu bağıntıdan verilen bir M_s (Nm) değerinde delinebilecek delik çapı

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^3 \cdot M_s}{s \cdot k_s}} \text{ [mm]} \quad (3.12)$$

olarak bulunur. İlerleme $s = z s_s$ bağıntısı ile tayin edilir.

Toplam ilerleme kuvveti ise;

$$F_v = 2 \cdot F_{vz} = 2 \cdot F_{sz} \cdot \sin \chi = F_s \cdot \sin \chi \quad (3.13)$$

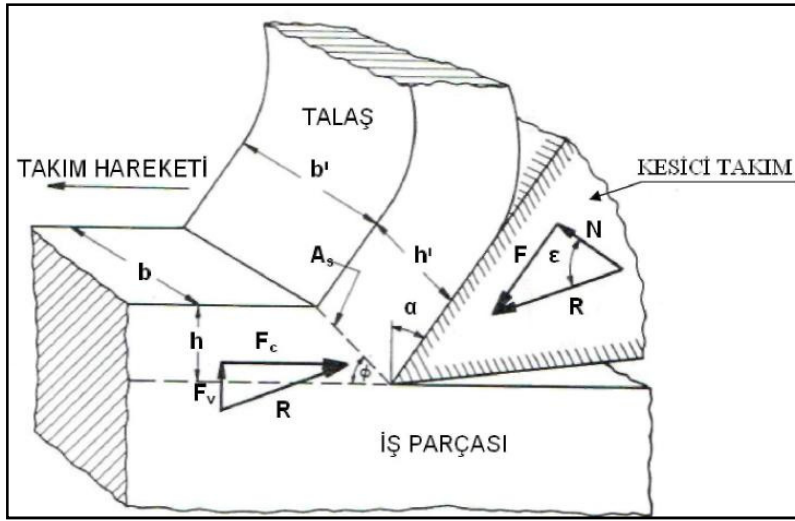
bağıntısı ile tayin edilir.

İlerleme kuvveti F_v eksenel kuvvet niteliğindedir. Delik açmada, ana kesme ağzlarında meydana gelen bu kuvvetin yanı sıra, radyal kesme ağzında da, eksenel nitelikte F_1 ilerleme kuvveti oluşmaktadır. Bu durumda, delik açma sırasında matkabı etkileyen ve yenilmesi gereken eksenel kuvvet;

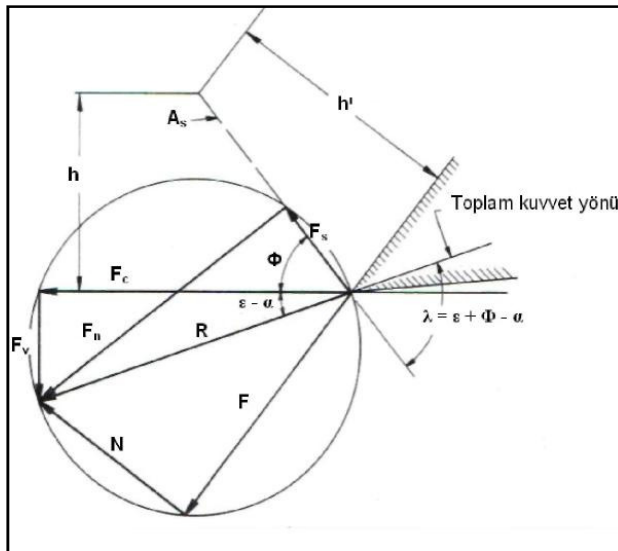
$$F_a = 2 \cdot F_{vz} + F_1 = F_v + F_1 \quad (3.14)$$

şeklinde hesaplanabilir. Yapılan deneylerde eksenel kuvvetin % 40'ı F_v , % 57'si F_1 ve %3'ü de sürtünme kuvveti olduğu gözlenmiştir. Eksenel kuvvet F_a ilerlemeyi sağlayan elemanları ve özellikle yatakları zorlamaktadır. Ayrıca F_a değeri takımı burkulmaya da zorlar [46].

Delik delme işleminde Eggleston ve arkadaşları, matkapta oluşan kesme kuvvetlerini sürtünme açısı ve talaş açısına bağlı olarak toplam kuvveti hesaplamaya çalışmışlardır. Eggleston ve arkadaşları matkap ucuna gelen kesme işlemi sürecindeki ilerleme kuvveti, kesme kuvveti, sürtünme kuvveti ve bu kuvvetleri tayin eden açıları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'deki gibi ifade etmeye çalışmışlardır.



Şekil 3.7. Talaş kaldırma işleminde talaş oluşumu [49].



Şekil 3.8. Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetleri [49].

Şekil 3.7 ve 3.8'deki takım üzerinde gösterilen x, y, z eksenlerindeki kuvvetler ve bileşenleri ölçülebilmektedir. Burada;

A_s = Kayma düzlemi

γ = Talaş açısı ($^{\circ}$)

Φ = Kesme açısı ($^{\circ}$)

ε = Kayma açısı ($^{\circ}$)

λ = Kayma düzlemi ile toplam kuvvet arasındaki açı ($^{\circ}$)

R = Toplam kuvvet (N)

F = Takım Talaş yüzeyine paralel kuvvet (N)

N = Takım talaş yüzeyine dik kuvvet (N)

F_v = Takım hareket yönüne dik kuvvet (N)

F_c = Takım hareket yönüne paralel kuvvet (N)

F_s = Kayma düzlemine paralel kuvvet (N)

F_n = F_s 'ye dik kuvvet (N)

b = Kaldırılacak talaş genişliği (mm)

b' = Çıkan talaş genişliği (mm)

h = Kaldırılacak talaş kalınlığı (mm)

h' = Çıkan talaş kalınlığı (mm)

3.5.1. Delik delme kuvvetlerini etkileyen faktörler

Delik delme işleminde takıma gelen kuvvet ve momentlerin büyüklüğü birçok faktöre bağlı olarak değişir. Bunlar sıralanacak olursa;

- Kesme hızı
- İlerleme hızı
- Talaş-takım temas mesafesi
- Delik derinliği
- Matkap geometrisi
 - Çapı
 - Ağız sayısı
 - Uç açıları

- Relatif kesici kenar yüksekliği
- Helis açısı
- Öz kalınlığı

gibi faktörlerden oluşur.

3.6. Delik Delmede Çapak Oluşumu

İmalat sürecinde çapak oluşumu istenmeyen bir durumdur. Çapak alma ve bitirme işlemleri iş parçasını üretmek için gereken toplam maliyetin %30'una mal olabilir. Çapaklar kaldırılmadıkları takdirde parçalar arasındaki bağlantı hatalı olabilir, örneğin uygunsuz yüzeylere ve gevşek montajlara sebep olabilir. Ayrıca parçalar tutulduğunda operatörler için kaza risklerine sebep olabilir. Bu konuyla ilgili ilk çalışmalar çapak yükseklikleriyle ilgiliydi fakat sonra çapakların özellikleriyle kaldırılmasının etkileri gözlemlendi ve çapak oluşumunda sertlik ve kalınlığın çok önemli olduğu vurgulanmıştır [50-53].

Delik delme sürecinde çapaklar deliklerin giriş ve çıkışlarında oluşur. Delik girişlerindeki çapaklar malzemenin plastik akışıyla, delik çıkışındaki çapaklar ise deliğin merkezindeki yüksek sıkıştırma oranından dolayı malzemenin yapısına bağlıdır. Delik delme sürecinde çapak oluşumunu etkileyen ana faktörler;

- Matkap geometri: (uç açısı, helis açısı, vb), keskinlik durumu (aşınma), simetri, çap ve kesici takımın malzemesi,
- İşlenmiş parça: Malzemenin özellikleri (sertlik, süneklik ve mekanik dayanım), kalınlık ve geometri,
- İşleme şartları: Makina-takım-iş parçasının rijitliği (titreşim), kesme hızı, ilerleme ve soğutma sıvısı kullanımı, gibi sıralanabilir [49].

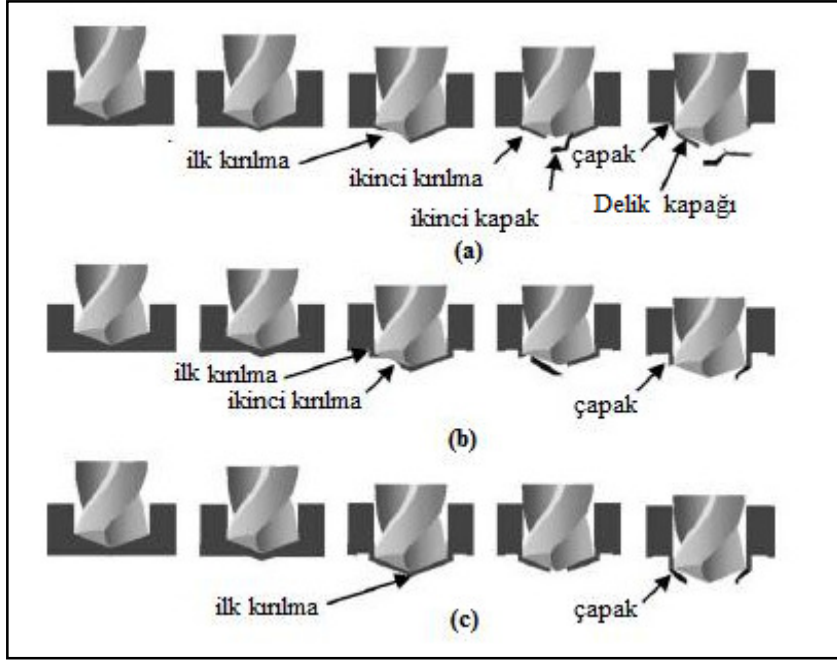
Bordinassi ve Min, delik delmede çapak oluşumunun mekanizmasını aşağıdaki gibi açıklamaktadırlar;

Delik derinliği arttıkça, deliğin dibindeki şekil bozukluğu da artar. Bu değer malzemenin kopma gerilimine ulaşmaya yeterli olduğu zaman (failure stress), şekil bozukluğunun ucunda kopmalar başlar. Kopmalar da matkap geometrisine bağlıdır, çünkü büyük kesici kenar açılı matkaplar delik merkezinde yüksek eksenel kuvvetlere meyillidir. Delik sonundaki çapaklar üçe ayrılabilir;

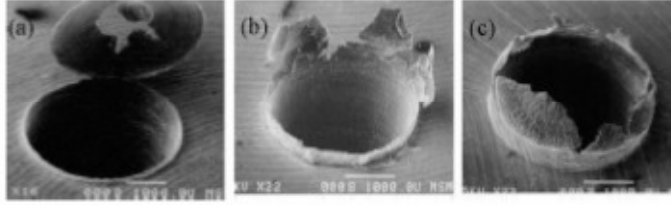
Düzenli Çapak Tüm delik çevresinde küçük ölçülerde ve şekilsiz yüksekliklerdedirler. Genellikle şapka şeklinde olanlar delme işlemi sırasında dökülebilirler veya daha sonra kolay bir şekilde kaldırılabilirler (Şekil 3.9a).

Süreksiz Çapak Süreksiz çapak, taç çapak ve düzenli çapağın ortasında yer alır. Delik merkezinde ve delik çevresinde hemen hemen aynı zamanda kırılmalar oluşur (Şekil 3.9b).

Taç Çapak Büyük yüksekliklerde ve delik çevresinde düzensizdirler. Delik merkezinde artan ilerleme hızlarında plastik deformasyonun yanı sıra eksenel kuvvette artar, çoğunlukla büyük kesme kenarlı konik bilenmiş matkaplarla delik merkezinde kırılmalar oluşur ve delik çevresinde malzemenin kaldırılmasıyla şekilsiz çapak oluşur (Şekil 3.9c) Düzenli, süreksiz ve taç çapak çeşitleri Şekil 3.10’da verilmiştir.



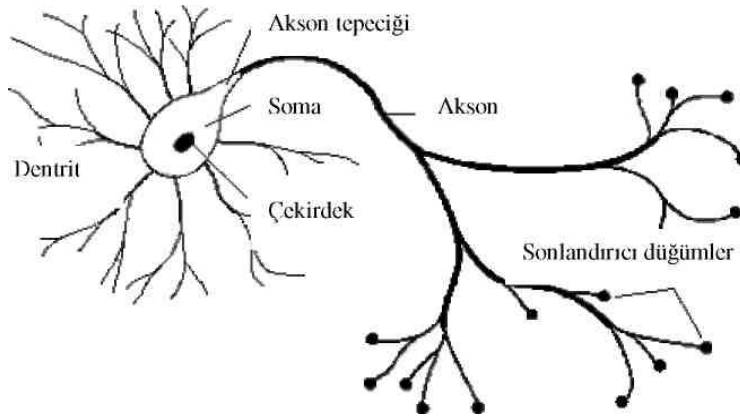
Şekil 3.9. Delik delmede çapak oluşumu a) Düzenli çapak, b) Süreksiz çapak, c) Taç çapak [53].



Şekil 3.10. Çapak çeşitleri a) Düzenli b) Süreksiz c) Taç [54].

4. YAPAY SİNİR AĞLARI (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 dentritlerdir. Dentritler, dentritik ağaç biçimindedir ve nöron gövdesi civarında uzun çalılar görünümündedirler. Dentritler üzerinden girişler alınır ve soma tarafından girişler işlenir. Nörondaki sinyalleri taşıyan uzun bir sinirsel bağlantı halindeki akson ise işlenen girişleri çıkışa aktarır. Akson dentrit bağlantısı ise “synapse” olarak adlandırılır (Şekil 4.1). Synapse nöronlar arasında elektrokimyasal bağlantıyı sağlamaktadır [3].

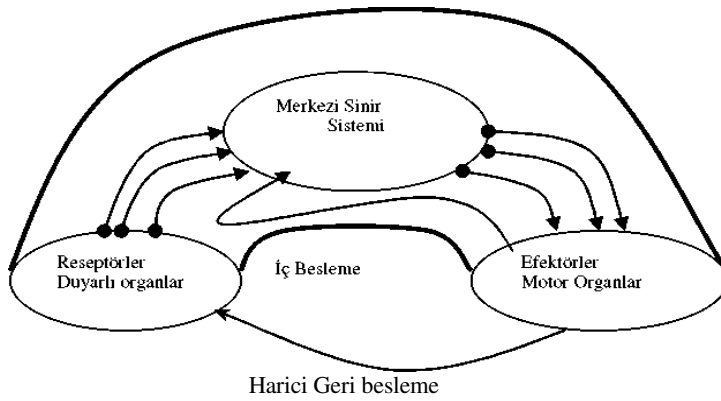


Şekil 4.1. Basit bir sinir hücresi [55].

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 [55].

Beynin nöronları organize etme yeteneği, 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 düşünülebilir. 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) [3].

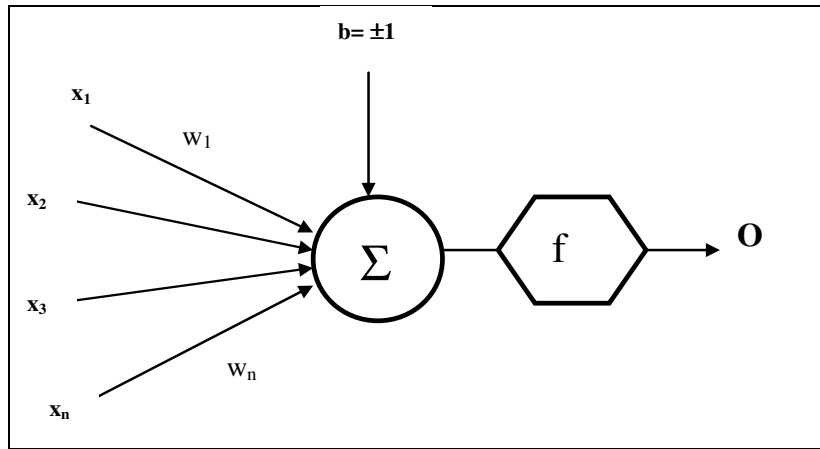


Şekil 4.2. Sinir sisteminde bilgi akışı [55].

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.

4.1. 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'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Temel Yapay Sinir Ağı hücresi [55]

$$\text{Çıkış, } o = f(W.X + b) \quad (4.1)$$

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

4.2. Yapay Sinir Ağlarını Oluşturan Temel Elemanlar

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

4.2.1. Girdiler

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

4.2.2. 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 ağırlık mimarisine göre değişebilmektedir. Girdilerin toplama fonksiyonu üzerindeki etkileri ağırlıkları miktarınca olur [53].

4.2.3. 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 tercihiyle 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 [56].

4.2.4. 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

$$F_{(o)} = k.o \quad (4.2)$$

- b) Adım fonksiyonu

$$F_{(o)} = \begin{cases} u \geq 0 \Rightarrow 1 \\ u < 0 \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (4.3)$$

- c) Rampa fonksiyonu

$$F_{(o)} = \begin{cases} u < 0 \Rightarrow 0 \\ u = 0 \Rightarrow u/k \\ u > 0 \Rightarrow 1 \end{cases} \quad (4.4)$$

- d) Sigmoid fonksiyonu

$$F_{(o)} = \frac{1}{1 + e^{-\sum x_j \cdot w_j}} \quad (4.5)$$

$$F_{(o)} = \begin{cases} u > 0 \Rightarrow 1 \\ u = 0 \Rightarrow 0 \\ u < 0 \Rightarrow 1 \end{cases} \quad (4.6)$$

- e) Fermi fonksiyon

$$F_{(o)} = \frac{1}{1 + e^{-4 \left(\sum_{i=1}^n I_i \cdot w_i - 0,5 \right)}} \quad (4.7)$$

4.3. Yapay Sinir Ağları Topolojisi

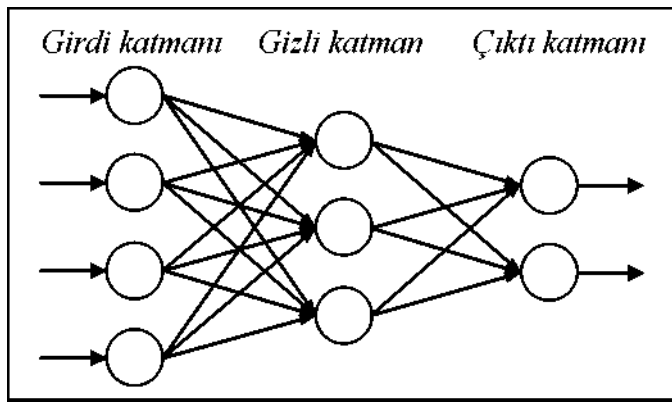
YSA, birbirlerine bağ ağırlıkları ile bağlı, katmanlar halinde düzenlenmiş ve kendine ait çıkış değerini belirlemek için toplama ve eşik fonksiyonu gibi işlemler gerçekleştiren ve işlem elemanı denilen yapılardan meydana gelir. Her işlem elemanının bilgi toplama ve bunu işleyerek diğer elemanlara gönderme 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 ağı 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 [3].

YSA temel olarak, basit yapıda ve yönlü bir çizge biçimindedir. Bir YSA modeli, sahip olduğu toplama 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 biçimi 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 [56].

Tek Katmanlı Ağlar Verilerin ağına sunulduğu girdi katmanını ile çıkışların elde edildiği çıktı katmanından ibarettir ve sadece lineer problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

Çok Katmanlı Ağlar Genel itibarıyla birbirine bağlanan; ağın giriş değerlerinin verildiği *girdi katmanı*, girdi katmanından gelen bilgileri transfer (aktivasyon) fonksiyonuyla işleyerek çıktı katmanına ileten gizli katman ve ağın çıkış değerlerinin elde edildiği *çıkı 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. Çıktı 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 [56].



Şekil 4.4. 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 [57].

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 (backpropagation) 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) [56].

4.4. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

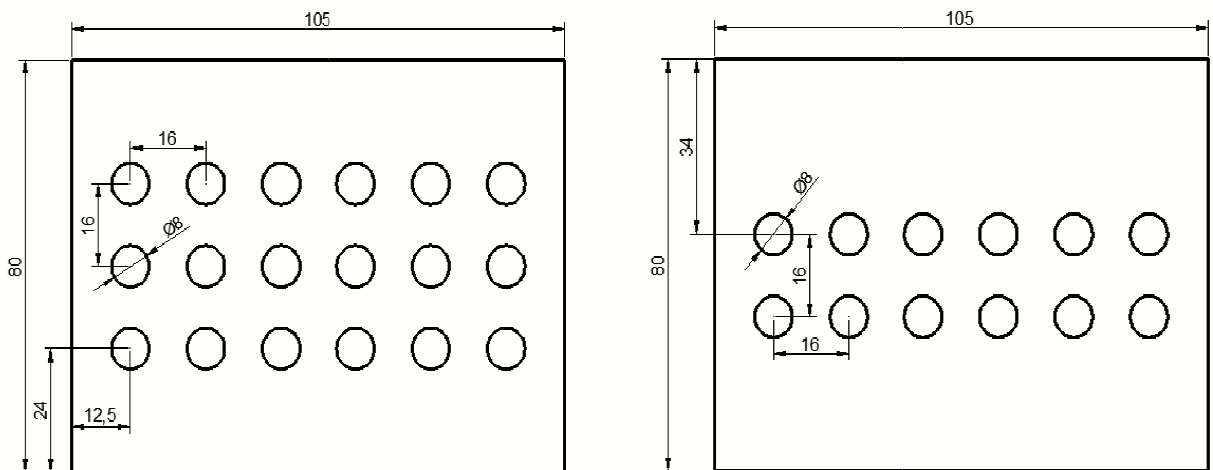
İnsan beyni doğumdan sonraki gelişme sürecinde çevresinden duyu organlarıyla algıladığı davranışları yorumlar ve bu bilgileri diğer davranışlarında kullanır. Yaşadıkça beyin gelişir ve tecrübelenir. Artık olaylar karşısında nasıl tepki göstereceğini çoğu zaman bilmektedir. Fakat hiç karşılaşmadığı bir 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 ulaşılmaya 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 çıkış 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 [56].

5. MALZEME VE METOT

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılan yüksek dayanımlı düşük alaşımlı HSLA-DIN EN 10149 malzeme kullanılmıştır. Malzemenin delinmesinde 8 mm çapında, 130° uç açısı, 30° helis açısı, kaplamalı ve kaplamasız HSS matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak beş farklı kesme hızı (10-18-26-34-42 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,05-0,075-0,1 mm/dev) kullanılmıştır. Boyutları 105x80x4 mm olan iki plakaya toplam 30 adet delik delinmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, eksenel kuvvet, moment ve delik kalitesi için büyük öneme sahip olan çap değişimi, çapak yüksekliği, ovalite değerleri ölçülmüştür. Elde edilen kuvvet ve moment değerleri Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modellenerek değerlendirmelerde bulunulmuştur. .

5.1. Deney Numuneleri

Deneylerde kullanılan malzemelerin ve deliklerin diziliş ölçüleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Deneylerde kullanılan HSLA-DIN EN 10149 malzemesine ait mekanik ve kimyasal özellikler Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan malzemeye ait teknik resim ölçüleri (mm)

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan HSLA-DIN EN 10149 çelik malzemenin mekanik özellikleri

Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Darbe Enerjisi (J)	Darbe Sıcaklığı (°C)
430-550	355	23	40	-20

Çizelge 5.2. HSLA-DIN EN 10149 çelik malzemenin kimyasal bileşimi (% maks.)

C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	V	Fe
0.12	0.50	1.50	0.025	0.020	0.015	0.09	0.15	0.20	Diğer

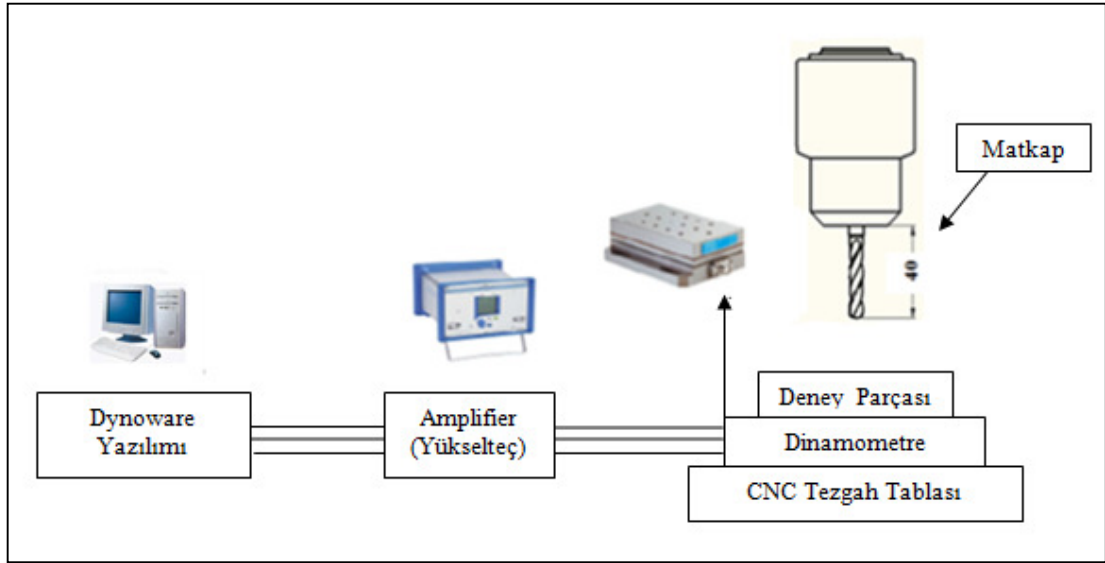
5.2. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Donanımlar

Deneylerde, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Sanayi CNC laboratuvarı ile ölçme laboratuvarında bulunan makina/cihazlar kullanılmıştır. Bu laboratuvarlarda, deneylerin yapılması için kullanılan makina/cihaz ve donanımların özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan makina/cihaz ve donanım özellikleri

Makina/Cihaz	Özellik
Tezgah	JohnFord VMC-850 Dik işleme merkezi 7.5kW, 6000 dev/dak
Dinamometre	Kistler 9257B, Fx, Fy, Fz, ±5kN, boyut: 170x100x60mm
Amplifier (Yükselteç)	Kistler 5070A, 8 kanaldan veri alma, 1.25-2.5-5-10V ölçüm aralığı
Yazılım	Dynoware, Veri sayısı/süresi ayarlama, grafik oluşturma

Deneylerde kullanılan bu cihaz ve donanımların montaj ve bağlantıları Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Deneylerde kullanılan cihaz ve donanımların montaj ve bağlantıları

Kuvvet ve moment ölçümü için kullanılan dinamometre, tezgâh tablasına monte edilmiş ve deney numuneleri bu dinamometre üzerine bağlanmıştır. Her bir deneyde oluşan sinyaller dinamometre vasıtası ile yükseltece (amplifier), oradan da Dynoware yazılımı sayesinde bilgisayara aktarılmıştır.

5.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

Alaşımlı çelik malzemeler, ağırlıklı olarak otomotiv ve uzay sanayisinde kullanım alanına sahip olmasından dolayı, bu malzemelerin işlenebilirliği son derece önem arz etmektedir. Alaşımlı çelikler, plaka halinde genellikle perçinli birleştirmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Perçinli birleştirmelerin hassas yapılabilmesi için delik yüzey kalitesi, ovalite, aksenel kaçıklık, çapak oluşumu gibi durumların iyi olması gerekmektedir. Bu nedenle, bu malzemelerin delinebilirliği için kesme parametrelerinin doğru seçilmesi oldukça önemlidir.

Deneyler, ıslak şartlarda gerçekleştirilmiş olup ıslak şartlarında “Hocut 3380” marka (%20 emülsiyon) kesme sıvısı kullanılmıştır. Deneylerde kesme sıvısı CNC tezgâhına ait soğutma sistemi ile kesici ve iş parçası üzerine tek taraftan püskürtülerek kullanılmıştır. Kesici takım olarak WALTER firması tarafından

üretileen kaplamasız UFL A1148 ve TiAlN kaplamalı UFLTFL A1149 HSS matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak 10-18-26-34-42 m/dak kesme hızı, 0,05-0,075-0,1 mm/dev ilerleme hızı ve kesme mesafesi boydan boya olacak şekilde kullanılmıştır. Çizelge 5.4'te deneylerde kullanılan kesici takımlara ait detaylar ve Çizelge 5.5'te kullanılan kesme parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Deneylerde kullanılan kesici takımlar

Kesici Takım	Üretici Kodu	Çap (mm)	Kaplama Bileşimi	Kaplama Kalınlığı (μ)	Ağız sayısı	Helis Açısı	Helis Boyu (mm)	Kesici Takım Resmi
Kaplama sız Takım	UFL A1148	8	-	-	2	30°	24	
Kaplamalı Takım	UFLTFL A1149	8	TiAlN	3μ	2	30°	24	

Çizelge 5.5. Kesme parametreleri

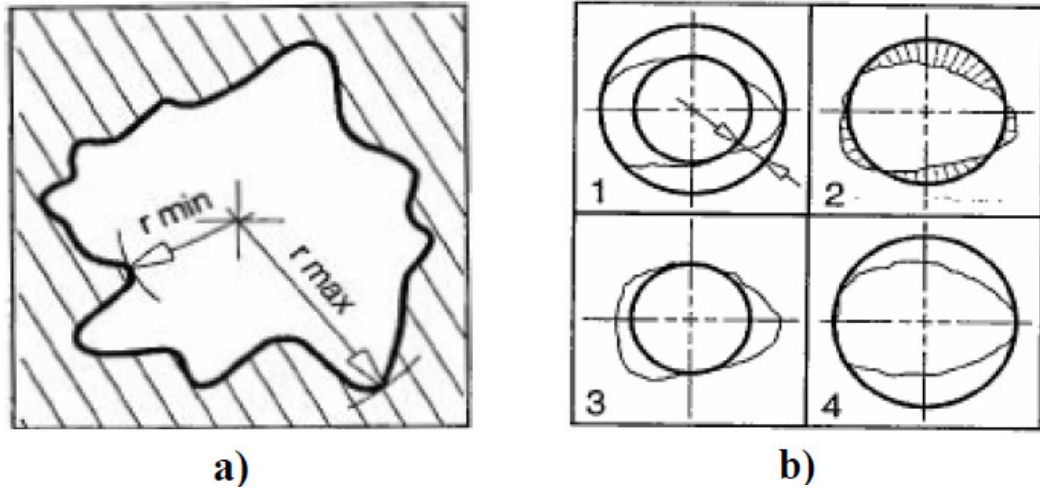
Kesme Hızı (m/dak)	10-18-26-34-42
İlerleme (mm/dev)	0,05-0,075-0,1

5.4. Delik Çapı, Çapak Yüksekliği ve Ovalitenin Kontrolü

Delğin ovalitesi genellikle sehim, titreşim, yetersiz yağlama, aşınma gibi etkilerin bir sonucudur. Ovalite yüzeyde dalgalanmaların olması demektir. Ovalite belirli bir merkez noktadan ölçülen en büyük ve en küçük yarıçap arasındaki fark olarak tanımlanır (Şekil 5.3.a). Ancak, bir delğin merkezinin belirlenmesinin çeşitli yolları vardır (Şekil 5.3.b). Bunlar;

- En çok kullanılan metot, en küçük radyal sapmanın elde edildiği noktayı merkez olarak tanımlamaktır (Şekil 5.3.b (1)). Bu metot MRS (Minimum Radyal Sapma) veya TIR (Toplam İbre Okuma) olarak da bilinir.
- En küçük merkez daire (LSC) metodu (Şekil 5.3.b (2)). Bu metotta merkez nokta, radyal koordinatlarının kareleri toplamı en küçük olan dairenin merkezidir.

- İçeri çizilebilecek en büyük ember (MIC) (ekil 5.3.b (3)).
- Dışarı çizilebilecek en küçük ember (MLC) (ekil 5.3.b (4)) [58].



Şekil 5.3. Dairesellik lmleri a) Ovalite, b) Delik merkezinin belirlenmesi [58].

Delinebilirlik çalışmalarında, delik çapı, ovalitenin ölçümü ve apak yüksekliği delik kalitesinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Delik çapındaki değişim, apak yükseklikleri ve ovalite lmleri Mikron Makine San. ve Tic. Ltd. şirketinde Dea marka üç boyutlu CMM (Coordinat Measuring Machine) cihazında yapılmıştır. Delik çapındaki değişim, ovalite ve apak yükseklikleri ölçümleri, her delikte üç ayrı noktadan koordinat alınarak tespit edilmiştir. Delik apı, ovalite ve apak yükseklikleri değerlendirilmesinde kullanılan bu ölçümler doğrudan CMM tezghından alınmıştır. Resim 5.1’de ölçümlerin yapıldığı CMM tezgahı grlmektedir. Bu tezgaha ait teknik özellikler ise izelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Ölçümlerin yapıldığı tezgahın özellikleri

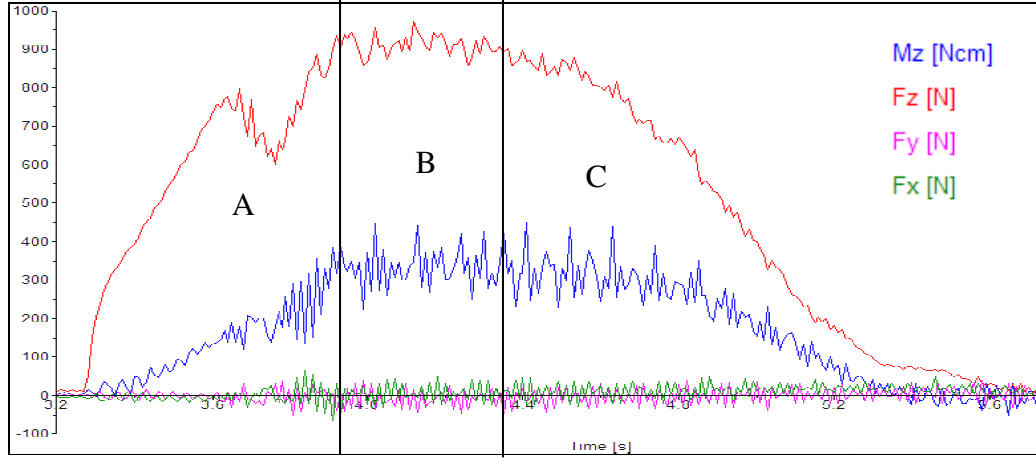
Ölçüm Alanı x, y, z (mm)		505, 405, 405
Ölçme hassasiyeti (mm)		0,0001
Maksimum ölçüm hızı (mm/s)		8
İş parçası	Mak. Yükseklik (mm)	545
	Mak. Ağırlık (kg)	180



Resim 5.1. Delik çap ve daireselliklerinin ölçüldüğü CMM tezgahı

5.5. Kuvvet ve Moment Değerlerinin Belirlenmesi

Kuvvet ve moment verilerini belirlemede Şekil 5.4'te görüldüğü gibi her deney için kuvvet ve moment grafikleri çıkartılmıştır. Çıkartılan bu grafiklerden ilerleme kuvveti ve moment verilerini belirlemede, her deneyin grafiğinden kesmenin kararlı olduğu bölgede (Şekil 5.4 B bölgesi) ortalama ilerleme kuvveti ve ortalama moment değerleri alınarak bu verilerle grafikler oluşturulmuştur. Şekil 5.4'teki A bölgesi matkabın malzemeye girişini ve C bölgesi ise matkabın malzemeyi delip çıktığı anı göstermektedir. Bu sebeple değerlendirmelerde B bölgesi dikkate alınmış A ve C bölgeleri dikkate alınmamıştır.



Şekil 5.4. İlerleme ve moment değerlerini belirlemede kullanılan deney grafiği
(Kaplamasız matkap 42 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme)

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneylerde, yüksek dayanımlı düşük alaşımlı HSLA-DIN EN 10149 çeliğin delinmesinde kesme parametrelerinin, eksenel (ilerleme) kuvveti, moment, çap değişimi, çapak yüksekliği ve ovalite gibi delik kalitesini etkileyen unsurlar araştırılmıştır. Kesme parametreleri olarak, 10-18-26-34-42 m/dak beş farklı kesme hızı ve 0,05-0,075-0,1 mm/dev olmak üzere üç farklı ilerleme hızı değeri kullanılmıştır. Deneylerde kaplamalı ve kaplamasız 8 mm çapında 130° uç açılı ve 30° helis açılı HSS matkaplar kullanılmıştır.

Bu girdiler baz alınarak her bir deney için yeni bir matkap kullanmak suretiyle toplam 30 adet deney yapılmıştır. Matkap çeşidi ve kesme parametrelerinin girdi olarak değerlendirildiği deneysel çalışmada çıktı olarak; ölçülen kesme kuvvetleri içerisinde delme sırasında büyük öneme sahip olan eksenel (ilerleme) kuvvet, moment ve delik kalitesinin belirlenmesi için ise delik ölçüsünün tamlığı (çap değişimi), çapak yüksekliği ve ovalite değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.1 ve 6.2’de tüm deneylerde elde edilen eksenel kuvvetleri, moment değerleri, çap değişimi, çapak yükseklikleri ve ovalite değerleri her bir deney için verilmiştir.

Çizelge 6.1. UFL A1148 kaplamasız takıma ait deney veri tablosu

Deney No	Kesici Takım	İlerleme (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Eksenel Kuvvet (N)	Moment (Nm)	Çap Değişimi (mm)	Çapak Yüksekliği (mm)	Ovalite (mm)
1	UFL A1148 kaplamasız	0,05	10	421	152	8,05	0,185	0,013
2			18	525	135	8,07	0,1703	0,014
3			26	540	139	8,086	0,15	0,016
4			34	543	129	8,09	0,12	0,017
5			42	545	120	8,12	0,09	0,019
6		0,075	10	517	180	8,07	0,45	0,016
7			18	620	224	8,09	0,42	0,017
8			26	675	208	8,093	0,36	0,019
9			34	682	205	8,097	0,3	0,02
10			42	718	182	8,121	0,25	0,02
11		0,1	10	667	240	8,06	0,75	0,02
12			18	712	260	8,0875	0,65	0,0222
13			26	887	246	8,0895	0,6	0,02323
14			34	945	255	8,1	0,6	0,025
15			42	883	225	8,12	0,48	0,02526

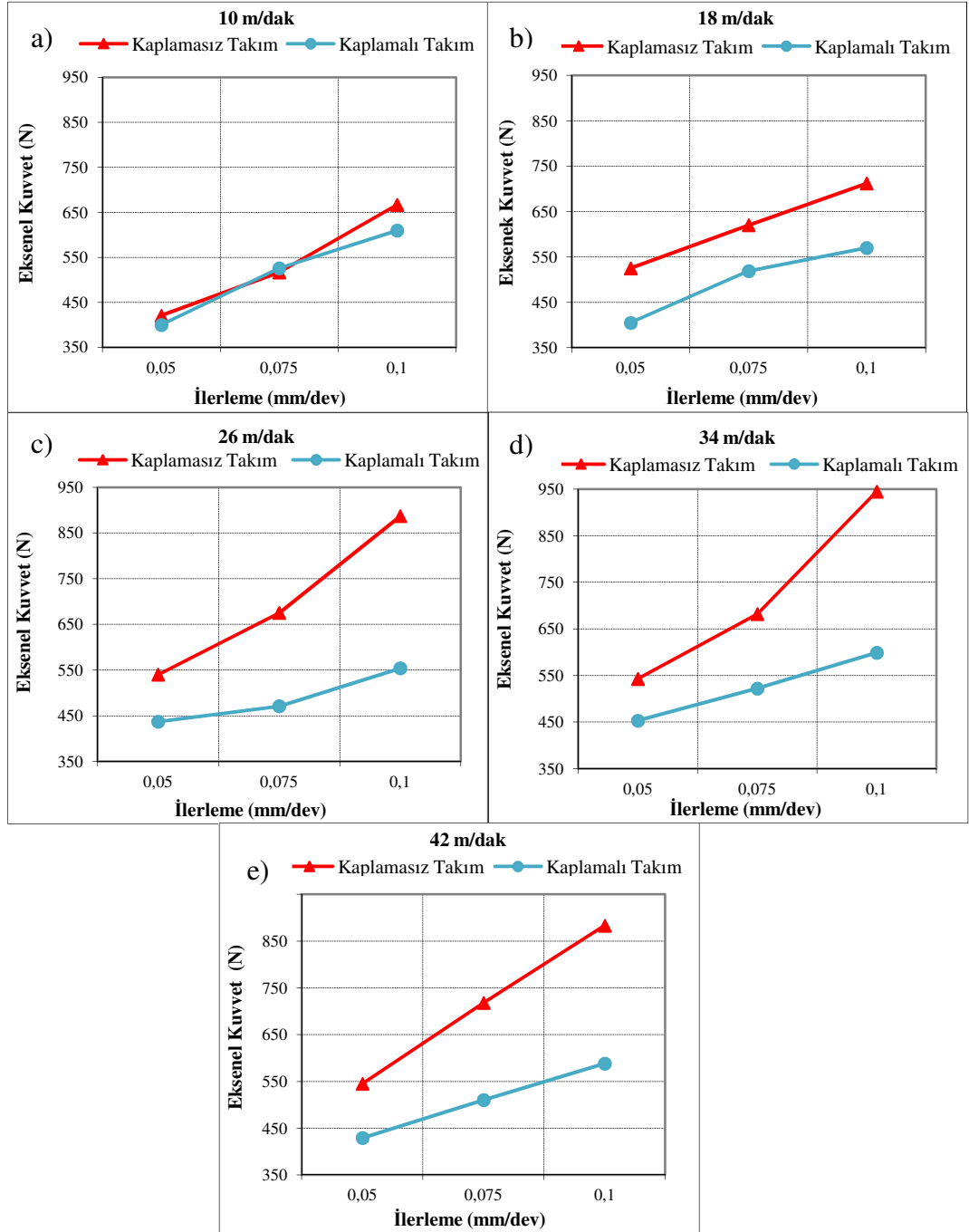
Çizelge 6.2. UFLTFL A1149 kaplamalı takıma ait deney veri tablosu

Deney No	Kesici Takım	İlerleme (mm/dev)	Kesme Hızı(m/dak)	Eksenel Kuvvet (N)	Moment (Nm)	Çap Değişimi (mm)	Çapak Yüksekliği (mm)	Ovalite (mm)
16	UFLTFL A1149 kaplamalı	0,05	10	400	183	8,08	0,5	0,01
17			18	405	199	8,088	0,43	0,012
18			26	437	225	8,097	0,39	0,015
19			34	453	200	8,1	0,35	0,016
20			42	429	230	8,15	0,3163	0,018
21		0,075	10	526	240	8,1	0,6	0,014
22			18	519	254	8,13	0,57	0,0145
23			26	471	278	8,15	0,569	0,015
24			34	522	264	8,16	0,52	0,014
25			42	510	268	8,18	0,45	0,0155
26		0,1	10	610	304	8,08	1,002	0,016
27			18	570	318	8,1	0,988	0,018
28			26	554	326	8,14	0,85	0,02
29			34	599	183	8,16	0,8	0,02
30			42	588	199	8,19	0,73	0,02345

Deneylerden elde edilen bu veriler ışığında ortalama eksenel kuvvet, moment, çap değişimi, çapak yüksekliği, ovalite grafikleri çizilerek deneysel sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

6.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Delik delme işleminde kesme kuvveti olarak eksenel (ilerleme) kuvvetler değerlendirilmiştir. HSLA-DIN EN 10149 malzemesi her bir kesme hızı değeri için kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla yapılan deneylerde, ilerleme hızına bağlı ortalama eksenel kuvvet (Fz) grafikleri Şekil 6.1’de verilmiştir. Bu grafiklerden yola çıkarak seçilen parametrelerin eksenel kuvvet üzerindeki etkisi yorumlanmıştır.



Şekil 6.1. İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızında eksenel kuvvetler

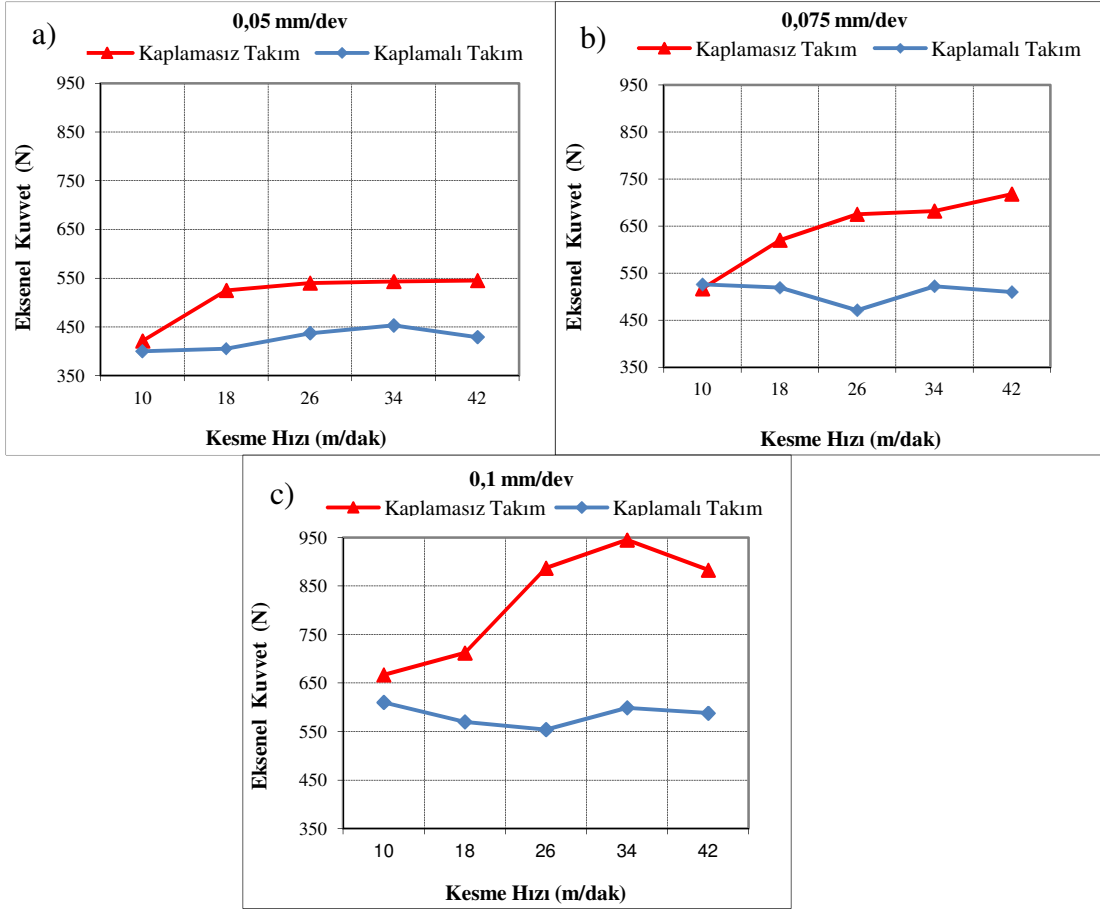
Şekil 6.1'deki grafikler incelendiğinde tüm kesme hızlarında, ilerleme hızının artması ile eksenel kuvvetlerde artış olduğu görülmektedir. İlerleme hızının artması ile eksenel kuvvetlerin artması, talaşlı imalatta beklenen bir durumdur. Bu durumu; ilerleme hızının artışı sonucunda artan talaş kesiti ile ilişkilendirmek mümkündür [3].

Talaş kesitinin artması sonucu, talaşı kaldırmak için gerekli olan enerjinin de artması demektir. Enerjinin artması da eksenel kuvvetlerinin artmasına sebep olmaktadır [59].

Kesici takımlar açısından değerlendirme yapılırsa, kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde, artan ilerleme hızlarına bağlı olarak eksenel kuvvetlerin, kaplamalı kesici takımlara göre daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir. Bunu da kesici takım üzerine uygulanan kaplamanın özelliğine bağlamak mümkündür. Kesici takım üzerindeki kaplama sürtünmeyi azalttığı için bu kesicilerde kuvvetler daha az çıkmıştır [2].

En düşük kuvvetler 0,05 mm/dev ilerleme hızında oluşurken en yüksek kuvvetler ise 0,1 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. Ayrıca, düşük ilerleme hızında kesici takımlar arasındaki kuvvet farkları az olurken ilerleme hızları arttıkça kuvvet farkları da artmıştır. Benzer durumu kesme hızları açısından da söylemek mümkündür. 10 m/dak kesme hızında oluşan kuvvetler birbirlerine çok yakın iken kesme hızlarının artışı ile kuvvetlerdeki farklar da artmıştır.

Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızı için kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinen deliklerin eksenel kuvvet grafikleri Şekil 6.2’de verilmiştir.

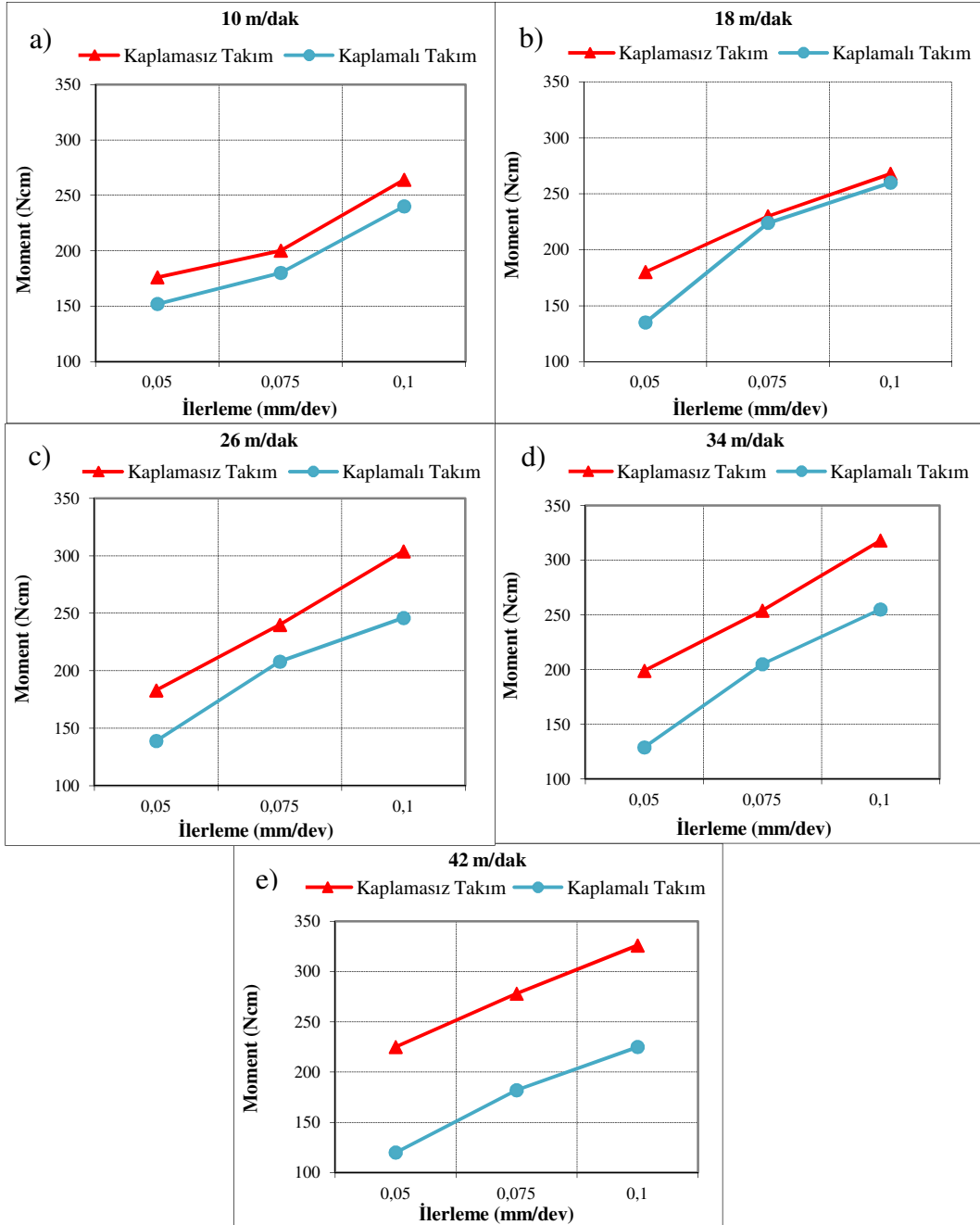


Şekil 6.2. Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızında eksenel kuvvetler

Şekil 6.2 incelendiğinde, kullanılan kesici takımlar farklı eğilim göstermişlerdir. Kaplamasız takımın ilerleme kuvveti, kesme hızının artışı ile sürekli artan bir eğilim sergilerken kaplamalı takımın, genelde orta kesme hızına kadar azalmış sonra artış eğilimine girmiştir. Eksenel kuvvetlerinin belli bir kesme hızına kadar artış eğilimi, kesici takımın parça üzerinden kaldırdığı talaşın daha kolay akışını sağlayan ısı enerjisine bağlamak mümkündür. Bu durum, kesici takımın parça üzerinden talaş kaldırması için talaş akışına kadar gerçekleşen tepkinin sonucu olarak açıklanabilir [3].

6.2. Momentlerin Değerlendirilmesi

İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızı değeri için kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinen deliklerin moment grafikleri Şekil 6.3'te verilmiştir.



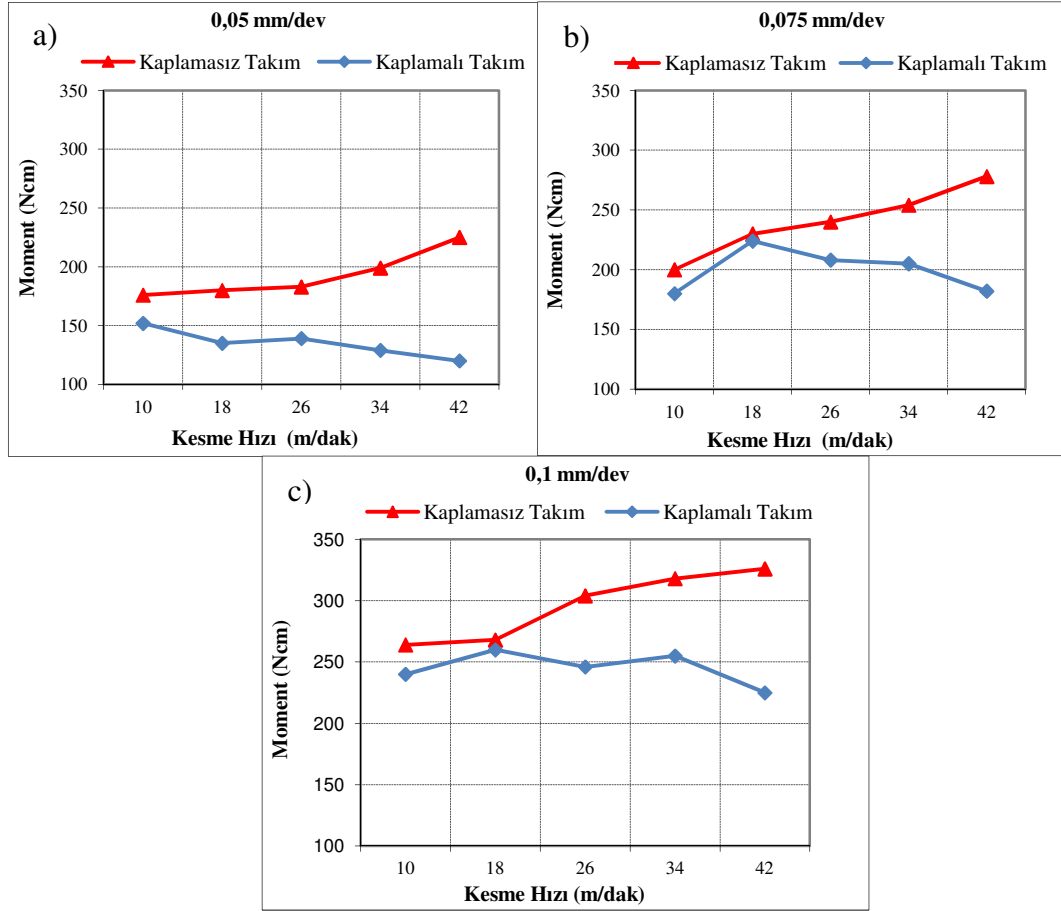
Şekil 6.3. İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızında momentler

Şekil 6.3'teki grafikler incelendiğinde, en düşük momentin 0,05 mm/dev ilerleme hızında oluşurken en yüksek moment değeri 0,1 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. Ayrıca kuvvetlerde olduğu gibi, artan ilerleme hızlarına bağlı olarak moment değerlerinde de artış olduğu gözlenmiştir. Momentteki bu artış, ilerleme hızlarının artması ile birim zamanda kaldırılacak talaş hacminin artması, toplamda daha büyük moment oluşumuna sebep olmaktadır [43].

Kesici takım açısından değerlendirme yapılırsa, kuvvet grafiklerinde olduğu gibi kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde, moment değerleri kaplamalı kesici takımlara göre daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca, düşük ilerleme hızlarında kesici takımlar arasındaki moment farkları az olurken ilerleme hızları arttıkça moment farkları da artmıştır. Benzer durumu kesme hızları açısından da söylemek mümkündür. 10 m/dak kesme hızında oluşan momentler birbirlerine çok yakın iken kesme hızlarının artışı ile momentlerdeki farklar da artmıştır (Şekil 6.3.a-e).

Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızı için kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinen deliklerin moment grafikleri Şekil 6.4'te verilmiştir.



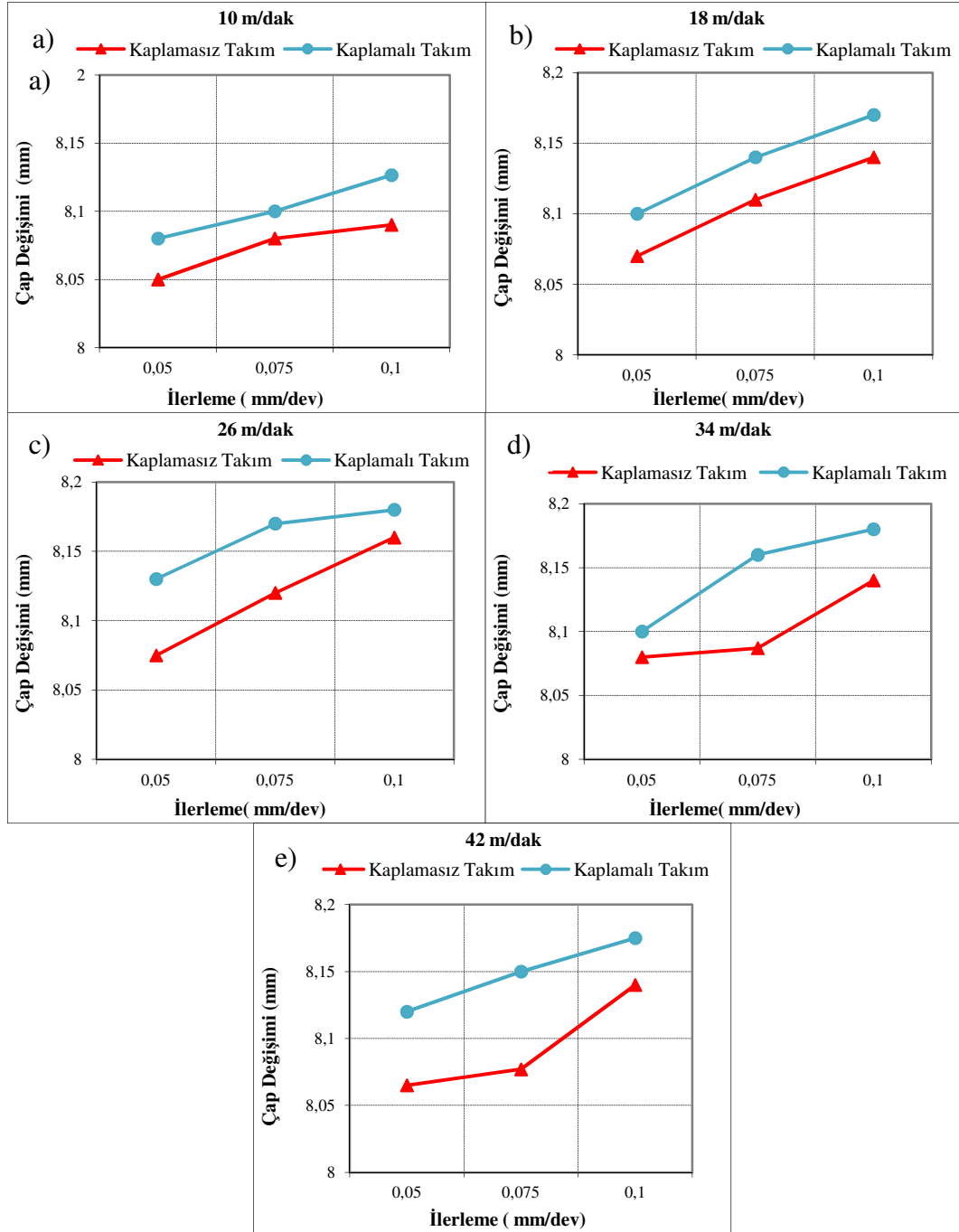
Şekil 6.4. Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızında momentler

Şekil 6.4 incelendiğinde, kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde kesme hızlarının artması ile moment değerlerinde sürekli bir artış olduğu görülürken, kaplamalı takımlarla yapılan deneylerde ise kesme hızlarının artması ile moment değerlerinde bir düşüş olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, kesici takım kaplaması daha düşük sürtünme katsayısına neden olduğu için eksenel kuvvetinde düşüş yaşanmıştır buna bağlı olarak ta moment değerleri düşük çıkmıştır [2].

Her iki kesici takım için 10 ve 18 m/dak kesme hızında moment değerleri birbirine yakın çıkarken, 26 m/dak kesme hızından itibaren kesici takımlar arasındaki fark artmaya başlamıştır ve 26 m/dak kesme hızında % 25 oranında artmıştır. Kesme hızı değeri 42 m/dak olduğunda aradaki farkın % 33 ile en yüksek değerde olduğu görülmektedir.

6.3. Çap Değişimlerinin Değerlendirilmesi

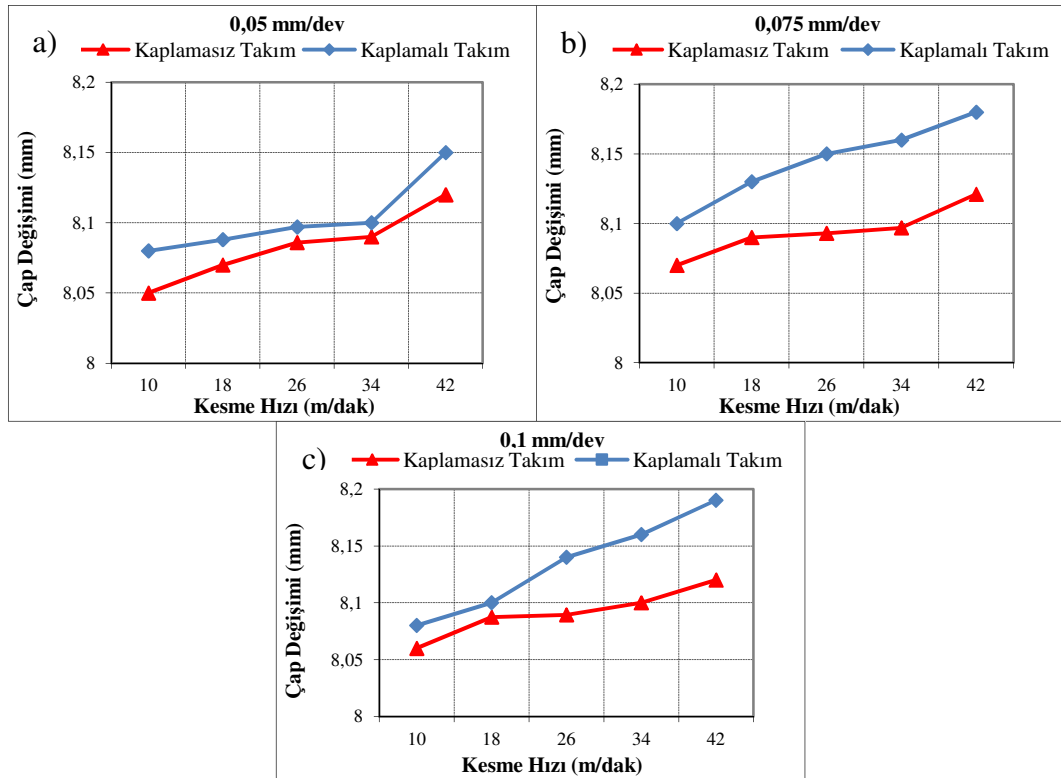
İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızı değeri için kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinen deliklerin çap değişim grafikleri Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5. İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızında çap değişimi

Şekil 6.5 değerlendirildiğinde, bütün kesme hızı ve ilerleme hızı kombinasyonlarında, çap değişimi bakımından en iyi sonuç kaplamasız takımlardan alınmıştır. Bütün kesme hızlarında her iki takım da en iyi çap değerlerinin alındığı ilerleme hızı 0,05 mm/dev'dir. Ayrıca ilerleme hızı arttıkça çap değerleri de artmıştır. Kesme hızları içinde, en iyi sonuç üç ilerleme hızında da 10 m/dak değerinde olmuştur (Şekil 6.5.a). En büyük çap değerlerinin alındığı ilerleme hızı ise en yüksek ilerleme hızı olan 0,1 mm/dev'dir. Bütün kesme hızı ve ilerleme hızı kombinasyonlarında elde edilen çap değerleri nominal çaptan daha büyük olmuştur. İlerleme hızlarının artması ile delik çaplarında artış olması, yüksek kesme hızı ve ilerleme hızı kombinasyonlarında delik çap değerlerinin kötü olması matkabın malzemeye dalma hızının büyük olmasına bağlı olarak birim zamanda kaldırılan talaş miktarının daha fazla olması sonucu kesme işleminin daha zor olması ile açıklanabilir [4].

Kesme hızına bağlı her bir ilerleme hızı için kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinen deliklerde oluşan çap değişim grafikleri Şekil 6.6'da verilmiştir.



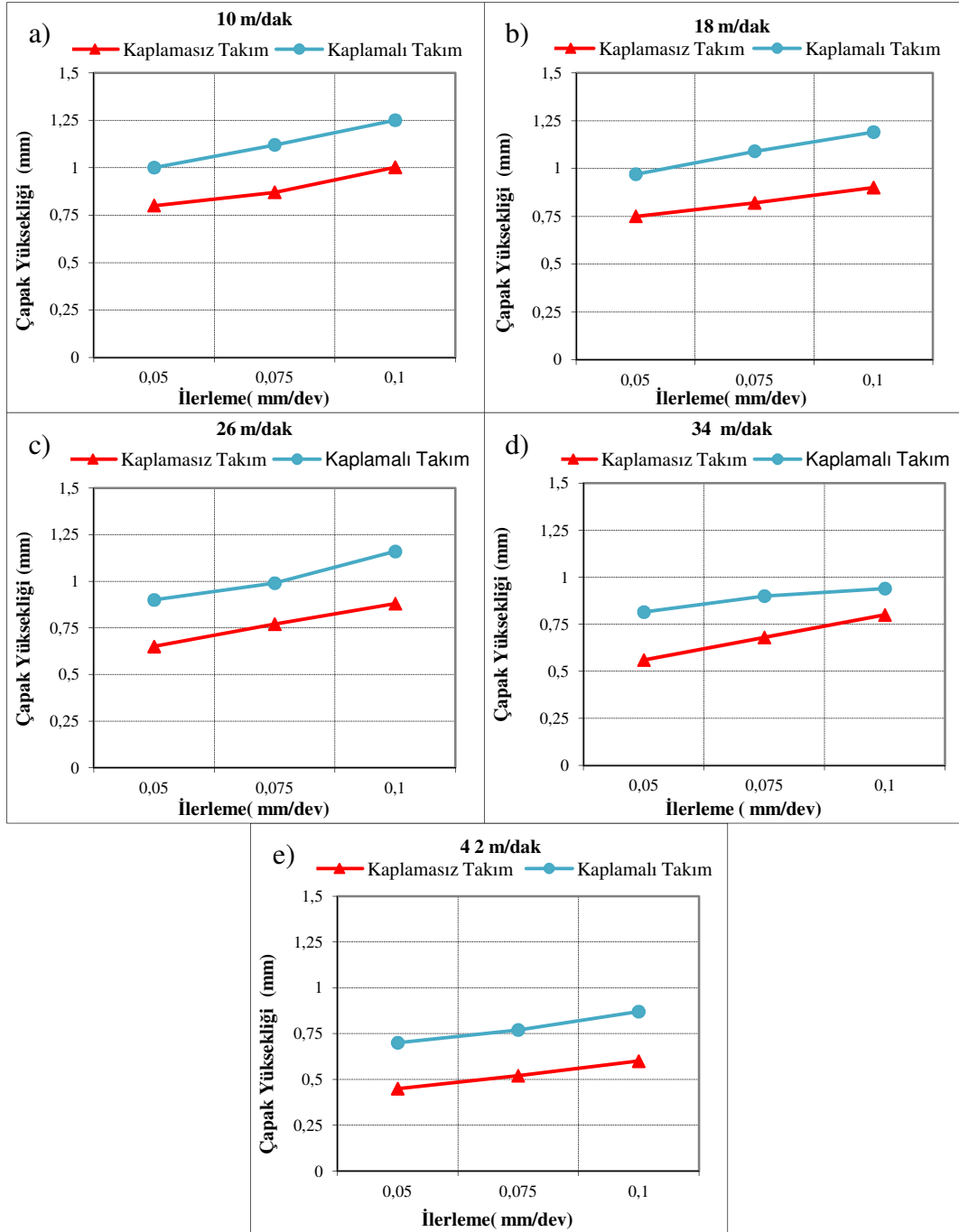
Şekil 6.6. Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızında çap değişimi

Şekil 6.6 incelendiğinde, kaplamalı ve kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde kesme hızlarının artması ile delik çap değerlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Kaplamalı takımlarla yapılan deneylerde delik çaplarındaki değişim, kaplamasız takımlara göre daha fazla olmuştur. Bunun sebebi, kesici takım kaplamasından dolayı, kaplamasız kesicilere göre kesici kenar keskinliğinin azalması söylenebilir. Buna bağlı olarak, matkabın parçayı ağızlamasını zorlaştırdığı ve kaplamadan dolayı ezerek kesme yapıldığı da söylenebilir [60].

Her iki kesici takım için başlangıç çap değişimleri, en yüksek 0,1 mm/dev ilerleme hızında olduğu gözlenirken, 42 m/dak kesme hızında kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar karşılaştırıldığında, çap değerlerindeki farkın en fazla 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.6.c).

6.4. Çapak Yüksekliklerinin Değerlendirilmesi

İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızı değeri için kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinen deliklerin çapak yüksekliği grafikleri Şekil 6.7’de verilmiştir.



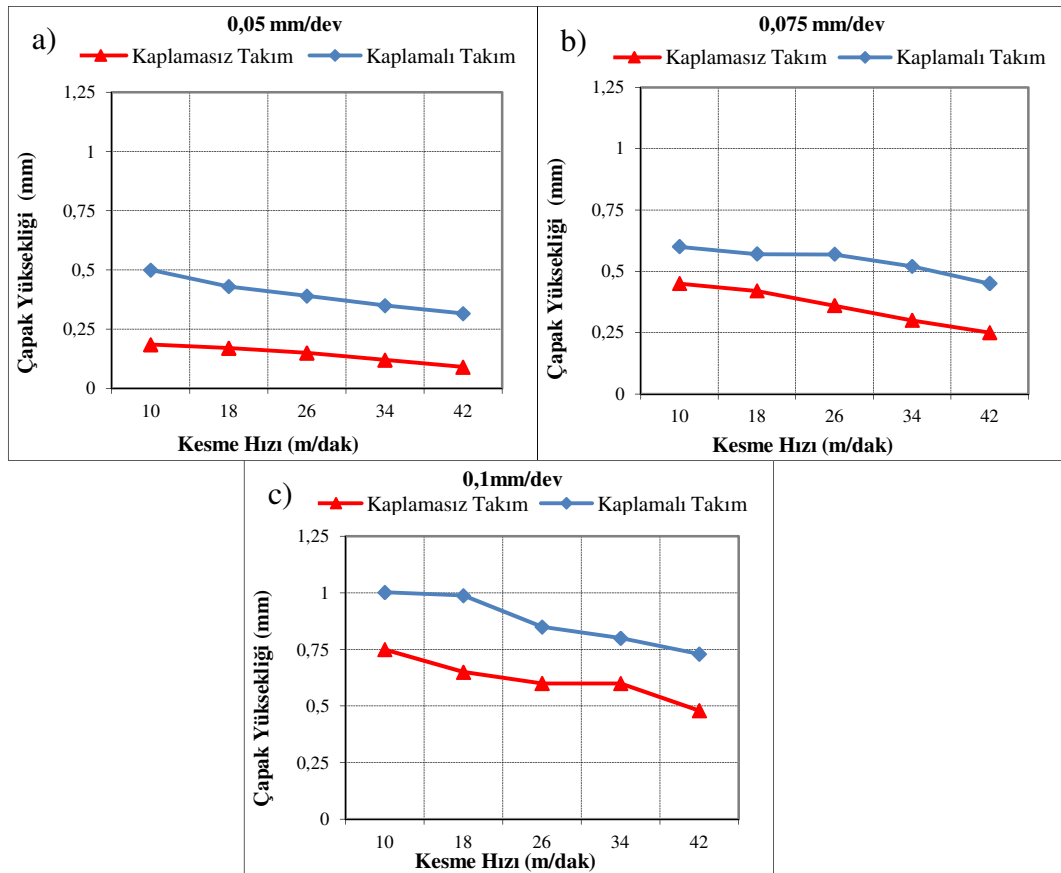
Şekil 6.7. İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızında çapak yükseklikleri

Şekil 6.7'deki grafikler incelendiğinde, ilerleme hızlarının artması ile çapak yüksekliğinde artış olduğu görülmektedir. Bu durumu, matkabın çıkış esnasında delik sonundaki patlatma hızına bağlamak mümkündür. Yüksek ilerleme hızlarında

patlatma hızı daha yüksek, düşük ilerleme hızlarında patlatma hızı daha düşük olmaktadır. Buda çapak yüksekliğini etkilemektedir.

Kesici takımlar açısından değerlendirme yapılırsa, kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde, kaplamalı takımlara göre çapak yüksekliğinin daha az olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi, kaplamasız kesicilerin kaplamalı kesicilere oranla kesme kenarının daha keskin olması ve kaplamanın kesici kenarda azda olsa kalınlık artışına neden olması ile açıklanabilir. Dolayısı ile kaplamalı kesicilerde aynı cins kaplamasız kesicilere oranla malzemeye batmada zorlanmalar olabilir. Bu sebeple kaplamalı kesicilerde çapak yüksekliği daha fazla oluşmuştur.

Kesme hızına bağlı her bir ilerleme hızı için kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinen deliklerde oluşan çapak yüksekliği grafikleri Şekil 6.8’de verilmiştir.

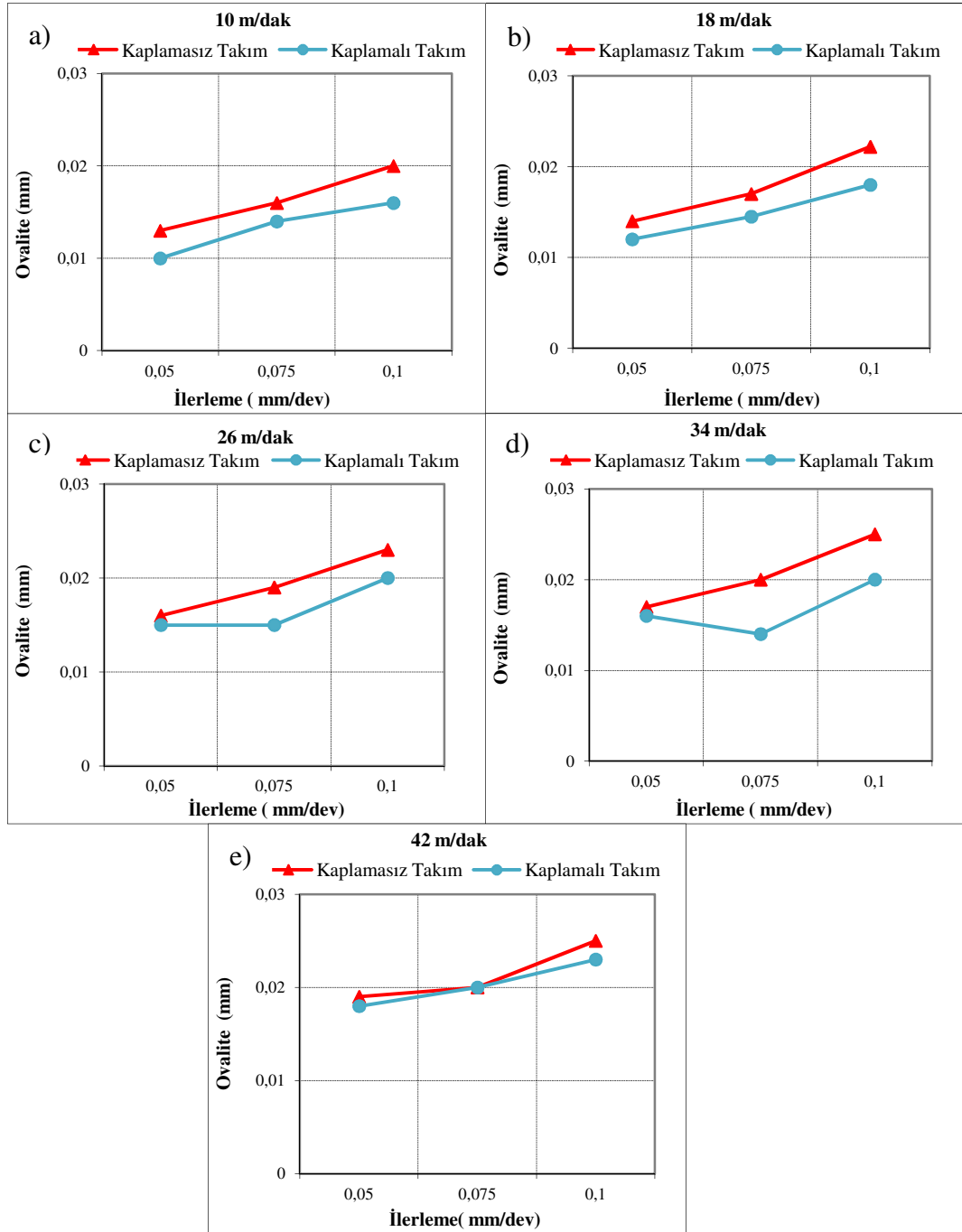


Şekil 6.8. Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızında çapak yükseklikleri

Şekil 6.8 incelendiğinde, kesme hızlarının artması ile çapak yükseklik değerlerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Düşük kesme hızında (10 m/dak) ve yüksek ilerleme hızında (0,1 mm/dev) çapak yüksekliği en fazla (0,75 mm) olmuştur (Şekil 6.8.c). 42 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında çapak yüksekliğinin en az olduğu (0,09 mm) gözlenmiştir (Şekil 6.8a). Kesme bölgesinde, yüksek kesme hızından dolayı yüksek delme sıcaklıkları oluşmaktadır. Oluşan bu yüksek delme sıcaklıkları talaş akışını kolaylaştırmaktadır [61]. Dolayısı ile bu talaş akışının kolaylaşması çapak yüksekliğinin azalmasına neden olmaktadır.

6.5. Dairesellikten Sapma (Ovalite)

İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızı değeri için kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinen deliklerin ovalite grafikleri Şekil 6.9’da verilmiştir.



Şekil 6.9. İlerleme hızlarına bağlı her bir kesme hızında ovalite

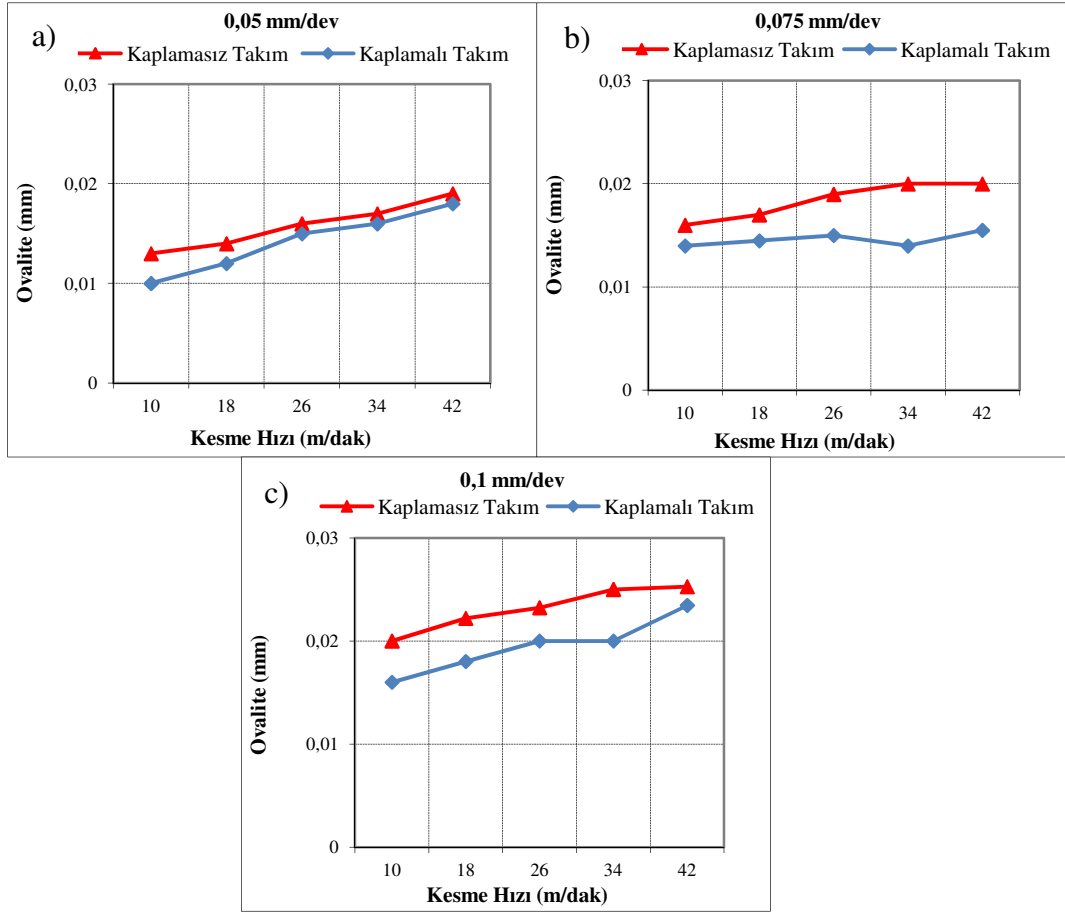
Şekil 6.9'daki grafikler incelendiğinde ilerleme hızının artması ile ovalite miktarında bir artış olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, birim zamanda kaldırılan talaş kesitinin ve kesici takım üzerinde oluşan yüklerin artmasıdır [4]. Buna bağlı olarak,

kesici takım üzerindeki yüklerin azalmasını sağlamak için uygun kesme hızı ve ilerleme hızlarının seçilmesi gerektiği söylenebilir.

Kesici takımlar açısından değerlendirme yapılırsa, kaplamalı takımlarla yapılan deneylerde ovalite, kaplamasız kesici takımlara göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi, kaplamalı takımların sahip oldukları düşük sürtünme katsayısı sebebiyle kesme işlemi nispeten kolaylaşmış ve bununla birlikte kesme esnasında meydana gelen kesme basıncı/kuvvetleri de düşmüştür. Bu durum kaplamalı takımlarda ovalite değerlerinin daha düşük çıkmasını sağlamıştır [62].

En düşük ovalite 0,05 mm/dev ilerleme hızında oluşurken en yüksek ovalite ise 0,1 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. Ayrıca, düşük ilerleme hızlarında kesici takımlar arasındaki ovalite az olurken ilerleme hızları arttıkça ovalite farkları da artmıştır. Bu durumun deney parametreleri arasında en düşük seçilen kesme hızı ve ilerleme hızında meydana gelmesi kesme esnasında meydana gelen titreşimlerin nispeten daha az olmasıyla ovalitenin daha düşük çıkmasına atfedilebilir [62].

Kesme hızına bağlı her bir ilerleme hızı için kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinen deliklerde oluşan ovalite grafikleri Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10. Kesme hızlarına bağlı her bir ilerleme hızında ovalite

Şekil 6.10 incelendiğinde, kaplamalı ve kaplamasız takım ile yapılan deneylerde kesme hızlarının artması ile ovalite değerlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise, kesme hızının artması neticesinde kesme esnasında meydana gelen titreşimlerin artması olarak söylenebilir [62]. Yüksek kesme hızı değerlerinde yapılan kesme işlemlerinde takım üzerindeki mekanik ve kimyasal yüklerin artmasına bağlı olarak elde edilen değerlerin istenilen nitelikte olmaması beklenen bir durumdur [4].

Her iki kesici takım için ovalite değerleri, en yüksek 42 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev (Şekil 6.10.c) ilerleme hızında olduğu gözlenirken, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar arasındaki en büyük fark 34 m/dak kesme hızı değerlerinde oluşmuştur.

6.6. Deney Sonuçlarının YSA İle Analizi ve Değerlendirilmesi

Yapay Sinir Ağları, literatüre bakıldığında Mühendisliğin birçok alanında kullanılmış ve bu alanlarda da olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Yapay sinir ağlarının kullanıldığı alanlarda zamandan tasarruf sağlanmış ve maliyetlerde azalma görülmüştür. Deneysel olarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında hata oranının çok az olduğu tespit edilmiştir [63].

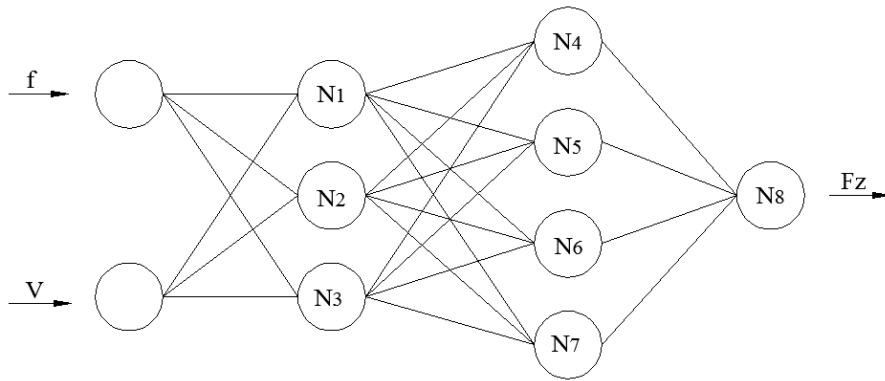
Bu çalışmada, eksenel kuvvet ve moment değerleri için YSA modellemesi Pythia programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pythia’da YSA ile modelleme genellikle eğitim süreci ve test süreci olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Eğitim sürecinde ağa verilen giriş ve çıkış değerleri kontrol edilerek hata (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 15 olmak üzere aynı kesme parametreleriyle gerçekleştirilen toplam 30 adet deney sonucunda ölçülen kesme kuvveti (F_z) ve moment (M_z) değeri için kesici takım özelliği esas alınarak ayrı ayrı YSA analizleri yapılmıştır. Programda kesme hızı ve ilerleme miktarı giriş değerleri F_z ve M_z değerleri de çıkış olarak girilmiştir.

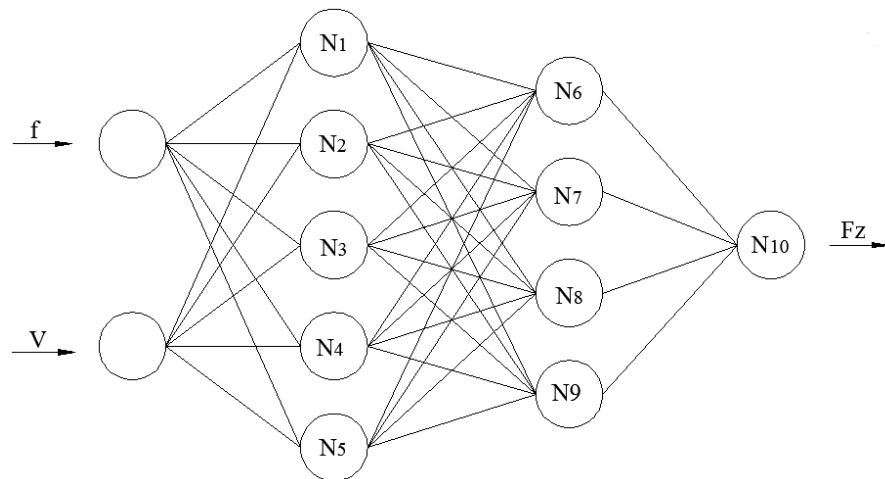
Her bir kesici için YSA ile modellemede 4 adet deney sonuçları test edilmesi (doğrulanması) için seçilmiş, bunun dışında kalan diğer 11 adet deney değerleri ise Pythia’da öğrenme verisi olarak kullanılmıştır. Giriş ve çıkış bilgileri programa aktarıldıktan sonra, model için en uygun ağ yapısının analizine geçilmiştir. Program veri setindeki iki giriş ve bunlara bağlı olarak bir çıkış değerini inceleyerek uygun ağ yapısını bulmak için denemeler yapılmıştır.

Eksenel kuvvetin YSA’da modellenmesinde kaplamasız kesici uçlar için uygun ağ yapısı 2-3-4-1 olarak belirlenmiştir. Kaplamalı kesici uçlar için uygun ağ yapısı analizlerinde ise 2-5-4-1 seçilmiştir. Her iki kesici uç içinde, iki seviyeli gizli katmanın uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Buna göre birinci ve ikinci

seviyedeki gizli katmanlarda kullanılacak nöron sayısı program tarafından sırasıyla 8 ve 10 olarak seçilmiştir. Buna göre $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8$, nöronları kaplamasız takım için, $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}$ nöronları ise kaplamalı takım için gizli katman seviyeleri olarak belirlenmiştir. Kaplamasız ve kaplamalı kesici uçlar için sırasıyla N_8 ve N_{10} nöronları ağın çıkış nöronlarıdır. Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de sırasıyla kaplamasız ve kaplamalı kesici uçlar için F_z ’nin tahmininde kullanılacak en uygun ağ topolojisi verilmiştir.

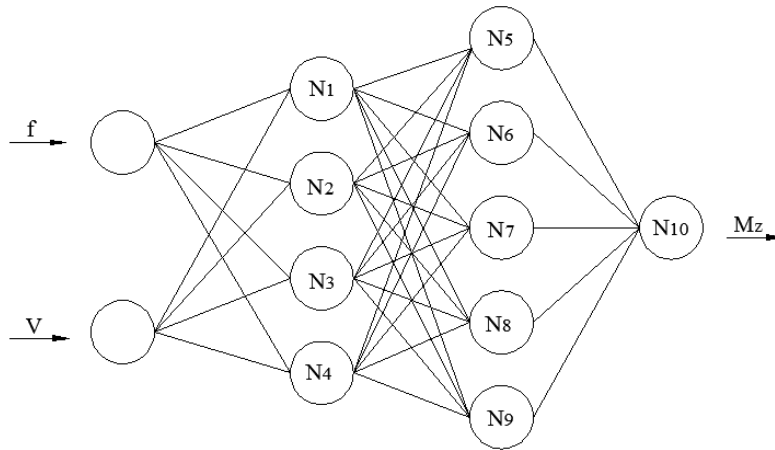


Şekil 6.11. Kaplamasız takım için ağ yapısı

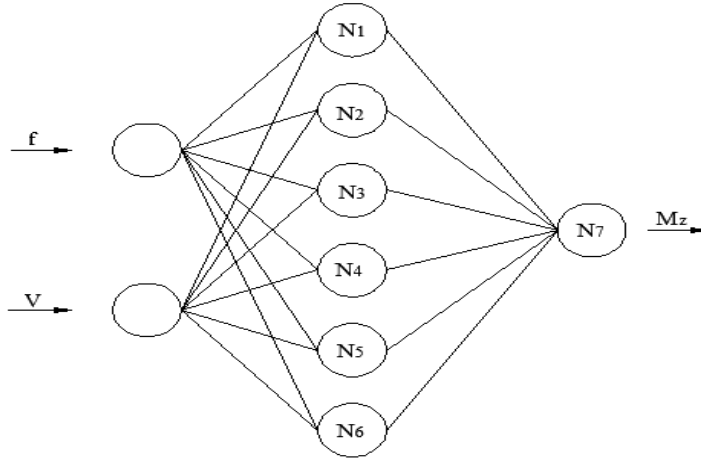


Şekil 6.12. Kaplamalı takım için ağ yapısı

Delme esnasında oluşan momentin 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 2-6-1 seçilmiştir. Buna göre birinci ve ikinci seviyedeki gizli katmanlarda kullanılacak nöron sayısı program tarafından sırasıyla 8 ve 10 olarak seçilmiştir. Birinci ve ikinci seviyedeki gizli katmanlarda kullanılacak nöron sayısı program tarafından sırasıyla 10 ve 7 olarak seçilmiştir. Buna göre $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}$ nöronları kaplamasız takım için, $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7$ nöronları ise kaplamalı takım için gizli katman seviyeleri olarak belirlenmiştir. Kaplamasız ve kaplamalı kesici uçlar için sırasıyla N_{10} ve N_7 nöronları ise ağın çıkış nöronlarıdır. Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'te sırasıyla kaplamasız ve kaplamalı kesici uçlar için M_z nin tahmininde kullanılan en uygun ağ topolojisi verilmiştir.



Şekil 6.13. Kaplamasız takım için ağ yapısı



Şekil 6.14. Kaplamalı takım için ağ yapısı

YSA'da ağın eğitilmesi için gerekli parametreler girilmiş ve ağın eğitilmesi sağlanmıştır. Eğitim sonucunda nöronlara ait ağırlıklar bulunmuş ve YSA çıktı değerleri ile gerçek deney sonuçlarından ortalama sapma değeri bulunmuştur. Kaplamasız ve kaplamalı takımlar için kesme parametrelerine göre eksenel kuvvet ve moment değeri, Fermi aktivasyon fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Fi = \frac{1}{1 + e^{-4(NE_i - 0,5)}} \quad (6.1)$$

Burada;

N_i : Gizli katmanda bulunan her bir nöronun etkisi

$$Ni = \frac{1}{1 + e^{-Ei}} \quad (6.2)$$

$$E_i = 4 * (C_{1i} * V + C_{2i} * f - 0,5) \quad (6.3)$$

biçiminde tanımlanmıştır. Burada C_{ij} 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_{ij} sabitleri) Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Kaplamasız matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri

i	C1i	C2i	C3i	C4i	C5i
Birinci seviye nöronlar					
1	2,976423	-2,440815	---	---	---
2	-3,387854	1,397997	---	---	---
3	1,179827	1,326455	---	---	---
İkinci seviye nöronlar					
4	-2,938404	-2,980633	3,377295	---	---
5	2,242457	-0,392305	-2,74571	---	---
6	0,889141	1,402045	-1,84259	---	---
7	-1,14023	-2,389343	0,971426	---	---

Kaplamasız matkap için kesme parametrelerine dayalı F_z değeri (ağın çıkış nöronu; N_8), Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre (6.1) aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$NET_{i(1-3)=w_{1i}} * f + w_{2i} * V \quad (6.4)$$

$$NET_{i(4-7)} = w_{3i} * F_1 + w_{i4} * F_2 + w_{5i} * F_3 + w_{i6} * F_4 \quad (6.5)$$

$$F(N) = \frac{1}{1 + e^{-4 * (1,666194 * F_5 + 1,241606 * F_6 - 4,33805 * F_7 - 1,7829 * F_8 - 0,5)}} \quad (6.6)$$

Kaplamalı matkap için her bir nöronun F_z değeri üzerindeki etkisinin tanımlamasında kullanılan ağırlık değerleri w (başka bir deyişle C_{ij} sabitleri) Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Kaplamalı matkap için her bir nöronun ağırlık değerleri

i	C1i	C2i	C3i	C4i	C5i
Birinci seviye nöronlar					
1	-0,355913	-1,71656	---	---	---
2	0,926046	1,693488	---	---	---
3	0,981829	-1,91684	---	---	---
4	3,946938	-1,75235	---	---	---
5	-2,244708	0,52448	---	---	---
İkinci seviye nöronlar					
6	-0,746209	0,570189	-0,03909	-4,89061	-1,410803
7	-0,355597	0,595866	5,349203	-4,1098	-0,133196
8	2,562953	-1,73731	0,373294	0,920943	0,787017
9	-0,795947	-5,41626	-3,77603	5,735668	-1,019939

Kaplamalı matkap için kesme parametrelerine dayalı F_z değeri (ağın çıkış nöronu; N_{10}), Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$NET_{i(6-9)} = w_{3i} * F_1 + w_{4i} * F_2 + w_{5i} * F_3 + w_{6i} * F_4 + w_{7i} * F_5 + w_{8i} * F_6 \quad (6.7)$$

$$F(N) = \frac{1}{1 + e^{-4*(1,850453*F_7 + 0,898053*F_8 - 3,07005*F_9 + 3,408489*F_{10} - 0,5)}} \quad (6.8)$$

Delme esnasında oluşan momentin YSA'da modellenmesinde kaplamasız kesici uçlar için her bir nöronun moment değeri üzerindeki etkisinin tanımlamasında kullanılan ağırlık değerleri w (başka bir deyişle C_{ij} sabitleri) Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Kaplamasız matkap için kesme parametrelerine dayalı M_z değeri (ağın çıkış nöronu; N_{10}), Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

$$NET_{i(1-4)} = w_{1i} * f + w_{2i} * V \quad (6.9)$$

$$NET_{i(6-9)} = w_{3i} * F_1 + w_{4i} * F_2 + w_{5i} * F_3 + w_{6i} * F_4 + w_{7i} * F_5 + w_{8i} * F_6 \quad (6.10)$$

$$F(M_z) = \frac{1}{1 + e^{-4*(2,17479*F_7 - 2,69693*F_8 - 0,76674*F_9 + 0,81483*F_{10} - 1,54287*F_{11} - 0,5)}} \quad (6.11)$$

Çizelge 6.5. Kaplamasız matkap için her bir nöronun ağırlık değerler

i	C1i	C2i	C3i	C4i	C5i
Birinci seviye nöronlar					
1	-0,23135	-0,17147	---	---	---
2	1,01448	-0,10376	---	---	---
3	-0,24562	-0,16315	---	---	---
4	-1,27202	1,742401	---	---	---
İkinci seviye nöronlar					
5	-1,77325	0,46997	-0,42425	1,091505	---
6	1,513737	-0,17271	1,614645	-0,60595	---
7	-0,41242	-0,14142	-0,53542	-0,38813	---
8	-1,01923	-1,50086	-0,12016	0,562698	---
9	0,084157	-1,76304	0,367404	1,479363	---

Kaplamalı matkap için her bir nöronun Mz (N) değeri üzerindeki etkisinin tanımlamasında kullanılan ağırlık değerleri w (başka bir deyişle C_{ij} sabitleri) Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Kaplamalı matkap için her bir nöronun ağırlık değerler

i	C1i	C2i	C3i	C4i	C5i
Birinci seviye nöronlar					
1	0,00342	-0,46935	---	---	---
2	0,634813	-1,79399	---	---	---
3	-2,750781	0,457887	---	---	---
4	0,013614	-0,8278	---	---	---
İkinci seviye nöronlar					
5	-2,429558	1,400905	---	---	---
6	0,082282	1,215586	---	---	---

Kaplamalı matkap için kesme parametrelerine dayalı $Mz(N)$ değeri (ağın çıkış nöronu; N7), Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$NET_{i(6-9)} = w_{3i} * F_1 + w_{4i} * F_2 + w_{5i} * F_3 \quad (6.12)$$

$$F(Mz) = \frac{1}{1 + e^{-4 * (2,234184 * F_7 - 1,54476 * F_8 - 2,35414 * F_9 + 1,273268 * F_{10} + 1,298384 * F_{11} + 0,751768 * F_{12} - 0,5)}} \quad (6.13)$$

YSA'daki öğrenme ve test işlemleri belirli bir hata (deney sonucu elde edilen değer ile YSA sonucu bulunan değer arasındaki fark, e) 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.

$$MSE = \frac{1}{p} \sum_i e_i^2 = \frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2 \quad (6.14)$$

$$RMS = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i e_i^2} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2} \quad (6.15)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_i (t_i - o_i)^2}{\sum_i (o_i)^2} \right] \quad (6.16)$$

$$\%Hata = \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (6.17)$$

$$MAPE = \frac{1}{p} \sum_i \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (6.18)$$

Eş. 6.14 – Eş. 18’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. 6.15’deki RMS’nin 0’a yakınlığı geliştirilen modelin başarı oranını gösteren bir kriter olarak kullanılmıştır. Eş. 6.16’daki R^2 gerçek deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki uyumu

belirtir. R^2 değeri 1'e yaklaştıkça geliştirilen modelin başarı oranı yükselir. Eş. 6.18'deki en küçük MAPE değeri modelin uygulanabilirlik başarısını gösterir.

YSA ile modellemede, test için belirlenen 16 adet deney sonuçları kullanılarak Çizelge 6.7'de kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerine bağlı olarak kaplamasız ve kaplamalı kesici takımlar üzerinde oluşan kuvvet ile momentin deneysel sonuçları ile YSA tahmin sonuçları verilmiştir. Bu değerlere göre de Şekil 6.15-Şekil 6.18'deki grafikler çizilmiştir. Çizelge 6.8'de ise test için ayrılan kuvvet ve moment deney sonuçları ile tahmin sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 6.7. Deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

KAPLAMASIZ					KAPLAMASIZ				
Parametreler			Deney Sonuçları	YSA Sonuçları	Parametreler			Deney Sonuçları	YSA Sonuçları
No	f mm/dev	V m/dak	F _z (N)	F _z (N)	No	f mm/dev	V m/dak	M _z (N)	M _z (N)
1	0,05	10	421	429,5091	1	0,05	10	176	176,824
2	0,05	26	667	664,9381	2	0,05	26	183	183,1781
3	0,05	34	525	522,6303	3	0,05	34	199	198,834
4	0,05	42	620	608,2893	4	0,05	42	225	224,5163
5	0,075	18	687	691,1674	5	0,075	18	230	233,7974
6	0,075	26	734	735,5449	6	0,075	26	240	247,4117
7	0,075	34	887	884,1568	7	0,075	34	264	268,4073
8	0,1	10	682	678,0733	8	0,1	10	268	271,9484
9	0,1	18	945	938,3188	9	0,1	18	304	306,332
10	0,1	26	545	547,5159	10	0,1	26	326	324,3299
11	0,1	42	883	883,9015	11	0,1	42	176	176,824
KAPLAMALI					KAPLAMALI				
1	0,05	10	400	400,9583	1	0,05	10	152	152,1803
2	0,05	26	610	609,1403	2	0,05	26	139	138,1939
3	0,05	34	405	406,9194	3	0,05	34	129	128,0737
4	0,05	42	519	523,8826	4	0,05	42	120	123,339
5	0,075	18	437	437,0123	5	0,075	18	224	224,2987
6	0,075	26	471	471,5	6	0,075	26	208	207,6914
7	0,075	34	554	553,3464	7	0,075	34	205	205,0681
8	0,1	10	522	522,054	8	0,1	10	240	240,0289
9	0,1	18	599	598,931	9	0,1	18	260	258,5328
10	0,1	26	429	428,7032	10	0,1	26	246	245,9505
11	0,1	42	588	588,7574	11	0,1	42	225	225,0807

Çizelge 6.8. Test için ayrılan deney sonuçları ile tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

KAPLAMASIZ					KAPLAMASIZ				
Parametreler			Deney Sonuçları	YSA Sonuçları	Parametreler			Deney Sonuçları	YSA Sonuçları
No	f mm/dev	V m/dak	F_z (N)	F_z (N)	No	f mm/dev	V m/dak	M_z (N)	M_z (N)
1	0,05	18	517	548,5071	1	0,05	18	180	178,2082
2	0,075	10	687	518,372	2	0,075	10	200	212,6419
3	0,075	42	543	534,4894	3	0,075	42	278	245,7009
4	0,1	34	718	749,7733	4	0,1	34	318	324,9052
KAPLAMALI					KAPLAMALI				
1	0,05	18	526	538,78	1	0,05	18	135	152,2038
2	0,075	10	570	534,0838	2	0,075	10	180	236,1499
3	0,075	42	453	452,7695	3	0,075	42	182	202,4805
4	0,1	34	510	482,1224	4	0,1	34	255	227,8052

Eksenel kuvvet değerleri incelendiğinde kaplamasız takımda $f=0,075$ mm/dev, $V=10$ m/dak kesme şartlarında 687 N olarak elde edilen deney sonucu YSA tahmininde % 2,4 azalarak 670,372 N, $f=0,05$ mm/dev, $V=18$ m/dak kesme şartlarında 517 N olarak elde edilen deney sonucu YSA tahmininde % 2,6 artarak 530,5071 N, $f=0,1$ mm/dev, $V=34$ m/dak kesme şartlarında deney sonucu 518 N ölçölüp, YSA tahmin sonucunda % 4,4 artarak 749,7733 N, $f=0,075$ mm/dev, $V=42$ m/dak kesme şartlarında ise deney sonucu 543 N ölçölüp, YSA tahmin sonucunda % 1,6 azalarak 534,4834 N olarak elde edilmiştir.

Kaplamalı takımda ise; $f=0,075$ mm/dev, $V=10$ m/dak kesme şartlarında 579 N olarak elde edilen deney sonucu YSA tahmininde % 6,3 azalarak 534,0938 N, $f=0,05$ mm/dev, $V=18$ m/dak kesme şartlarında 526 N olarak elde edilen deney sonucu YSA tahmininde % 2,4 artarak 538,78 N, $f=0,1$ mm/dev, $V=34$ m/dak kesme şartlarında deney sonucu 510 N ölçölüp, YSA tahmin sonucunda % 4,4 azalarak 482,24 N, $f=0,075$ mm/dev, $V=42$ m/dak kesme şartlarında ise deney sonucu 553 N ölçölüp, YSA tahmin sonucunda % 0,1 azalarak 452,7995 N olarak elde edilmiştir.

Kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için elde edilen eksenel kuvvet tahmin sonuçları ile deney sonuçları arasında $\pm\% 6,5$ 'ten az hatanın olduğu görölmektedir.

Moment değerleri incelendiğinde kaplamasız takımda $f=0,075$ mm/dev, $V=10$ m/dak kesme şartlarında 200 N olarak elde edilen deney sonucu YSA tahmininde % 5,8 azalarak 188,208 N, $f=0,05$ mm/dev, $V=18$ m/dak kesme şartlarında 180 N olarak elde edilen deney sonucu YSA tahmininde % 1 azalarak 178,208 N, $f=0,1$ mm/dev, $V=34$ m/dak kesme şartlarında deney sonucu 318 N ölçölüp, YSA tahmin sonucunda % 2,3 artarak 324,905 N, $f=0,075$ mm/dev, $V=42$ m/dak kesme şartlarında ise deney sonucu 278 N ölçölüp, YSA tahmin sonucunda % 6,2 azalarak 260,701 N olarak elde edilmiştir.

Kaplamalı takımdaki moment değerleri ise; $f=0,075$ mm/dev, $V=10$ m/dak kesme şartlarında 180 N olarak elde edilen deney sonucu YSA tahmininde % 4,5 azalarak 188,1499 N, $f=0,05$ mm/dev, $V=18$ m/dak kesme şartlarında 135 N olarak elde

edilen deney sonucu YSA tahmininde % 5,3 artarak 142,2038 N, $f=0,1$ mm/dev, $V=34$ m/dak kesme şartlarında deney sonucu 255 N ölçülüp, YSA tahmin sonucunda % 2,8 azalarak 247,8052 N, $f=0,075$ mm/dev, $V=42$ m/dak kesme şartlarında ise deney sonucu 190 N ölçülüp, YSA tahmin sonucunda % 6,7 artarak 202,8052 N olarak elde edilmiştir.

Kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için elde edilen aksenal kuvvet tahmin sonuçları ile deney sonuçları arasında $\pm\% 7$ 'den az hatanın olduğu görülmektedir.

Kaplamasız ve kaplamalı matkapların her biri için geliştirilen modelle hesaplanan $F_z(N)$ ve $M_z(N)$ sonuçlarının gerçek sonuçlarına uygunluğunda kullanılan RMS, belirlilik katsayıları (R^2), ve ortalama hata değerleri ($\pm \% \text{ MAPE}$) gösterilmiştir.

Çizelge 6.9. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarda aksenal kuvvet için YSA modeline ait istatistiksel veriler

KAPLAMASIZ			
	RMS	R^2	MAPE
YSA Eğitim Verisi	0,00267331	0,999942739	0,695873698
YSA Test Verisi	0,043667832	0,97847475	9,158089347
KAPLAMALI			
YSA Eğitim Verisi	0,000832958	0,9999893	0,203819442
YSA Test Verisi	0,011807084	0,997798047	3,561956149

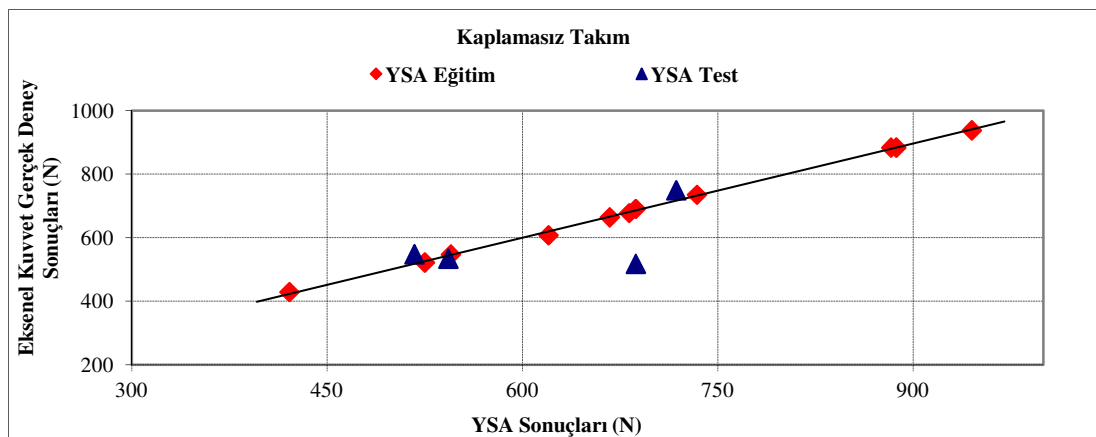
Kaplamasız ve kaplamalı matkapların her biri için öğrenme ve test sonucunda elde edilen YSA model sonuçları ile gerçek deney sonuçları arasında her bir sonuç için % hata ve MAPE değerleri hesaplanmıştır. Öğrenme sonucundaki MAPE; kaplamasız matkaplarda aksenal kuvvet için YSA %0,695873698 olurken, kaplamalı matkaplarda %0,203819442 olarak hesaplanmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında ise ortalama hata; kaplamasız matkaplarda %9,158089347 olurken, kaplamalı matkaplarda %3,561956149 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.10. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarda moment için YSA modeline ait istatistiksel veriler

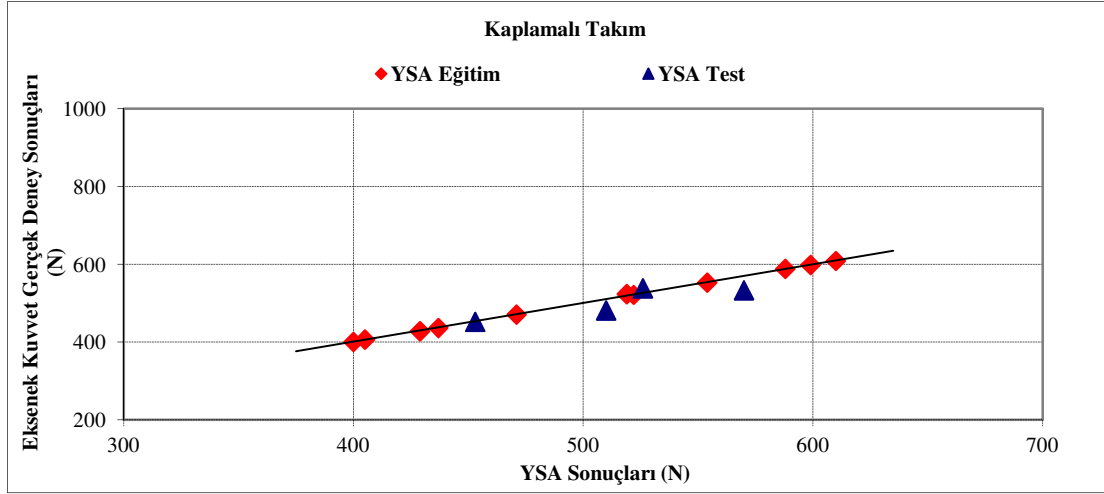
KAPLAMASIZ			
	RMS	R^2	MAPE
YSA Eğitim Verisi	0,001684988	0,999824586	1,002527217
YSA Test Verisi	0,00885276	0,994061339	5,27655557
KAPLAMALI			
YSA Eğitim Verisi	0,000584668	0,999966199	0,467852689
YSA Test Verisi	0,016970176	0,973183447	16,46389847

Kaplamasız ve kaplamalı matkapların her biri için öğrenme ve test sonucunda elde edilen YSA model sonuçları ile gerçek deney sonuçları arasında her bir sonuç için % hata ve MAPE değerleri hesaplanmıştır. Öğrenme sonucundaki MAPE; kaplamasız matkaplarda moment için YSA %1,002527217 olurken, kaplamalı matkaplarda %0,467852689 olarak hesaplanmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında ise ortalama hata; kaplamasız matkaplarda %5,27655557 olurken, kaplamalı matkaplarda %16,46389847 olarak hesaplanmıştır.

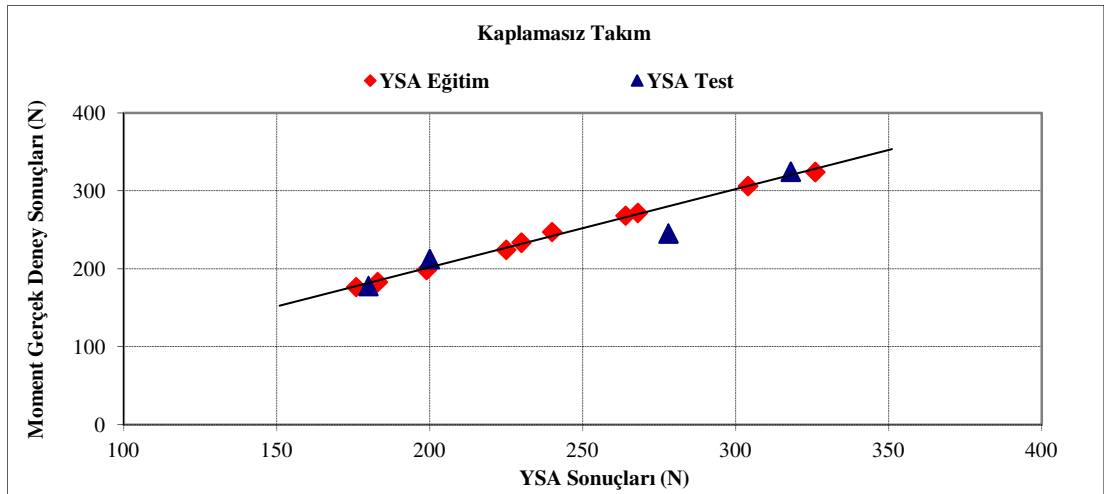
Kaplamasız ve kaplamalı matkapların her biri için geliştirilen YSA modeli ile hesaplanan kuvvet ve moment sonuçlarına uygunluğunda kullanılan öğrenme ve test sonucundaki değerler ile gerçek sonuçlara uygunluğunu gösteren grafikler Şekil 6.15-Şekil 6.18'de verilmiştir.



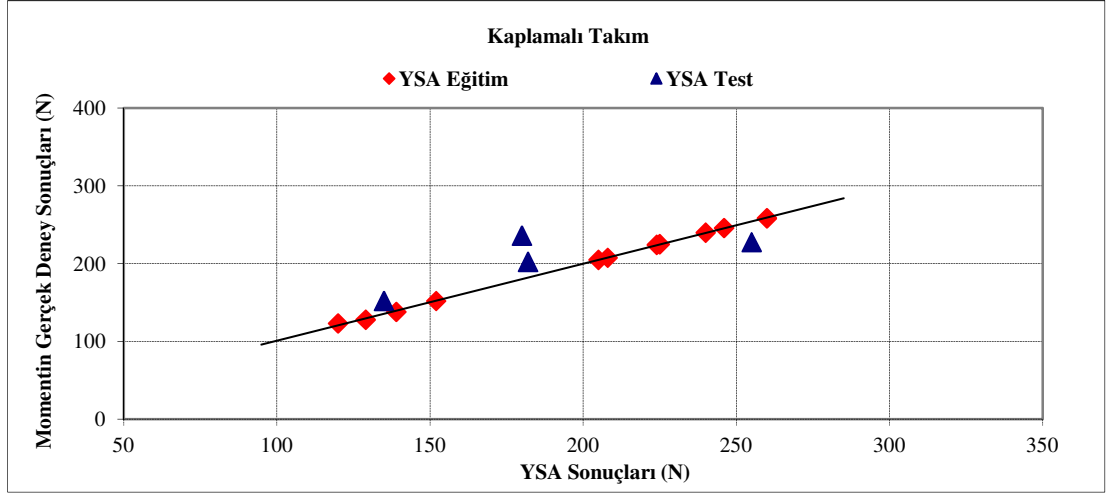
Şekil 6.15. Kaplamasız matkap için eksenel kuvvetin YSA performansı



Şekil 6.16. Kaplamalı matkap için eksenel kuvvetin YSA performansı



Şekil 6.17. Kaplamasız matkap için momentin YSA performansı



Şekil 6.18. Kaplamalı matkap için momentin YSA performansı

Şekil 6.15-Şekil 6.18’de de görüldüğü gibi, deney sonucu ile YSA sonuçlarının karşılaştırılmasında sonuçların birbiri ile yakın değerler içersinde olduğu ve doğrusal bir ilişkinin olduğu söylenebilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yüksek dayanımlı düşük alaşımlı HSLA-DIN EN 10149 çelik, CNC dik işleme merkezinde kaplamasız ve TiN kaplamalı HSS matkaplarla delinmiş, kesme parametrelerinin aksenel (ilerleme) kuvvet, moment ve delik kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kullanılan tüm kesme hızlarında, ilerleme hızının artması ile aksenel kuvvetler ve momentler artmıştır. Ayrıca en küçük kuvvet ve moment değerleri en düşük ilerleme hızında; en büyük kuvvet ve moment değerleri ise en yüksek ilerleme hızlarında elde edilmiştir.
- Düşük kesme hızlarında (10 ve 18 m/dak) kesici takımlar arasındaki kuvvet ve moment farkları az olurken, 26 m/dak kesme hızından itibaren kesici takımlar arasındaki fark artmaya başlamıştır ve 26 m/dak kesme hızında %25 oranında artmıştır. Kesme hızı değeri 42 m/dak olduğunda aradaki farkın %33 ile en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Benzer durumu ilerleme hızları açısından da söylemek mümkündür.
- Kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde, kaplamalı takımlara göre kuvvet ve momentler daha büyük çıkmıştır.
- Kaplamasız takımda ilerleme kuvveti, kesme hızının artışı ile sürekli artan bir eğilim sergilerken kaplamalı takımda, genelde 26 m/dak kesme hızına kadar azalmış sonra artış eğilimine girmiştir.
- Kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı kombinasyonlarında, çap değişimi bakımından en iyi sonuç kaplamasız takımlardan alınmıştır.

- Her iki takım içinde, düşük ilerleme hızları ve düşük kesme hızlarında, çap değişimi en iyi sonuç verirken (nominal çapa en yakın çıkarken), ilerleme hızının artması veya kesme hızının artması ile çaplardaki değişim de artmıştır.
- Bütün kesme hızı ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında elde edilen çap değerleri nominal çaptan daha büyük olmuştur.
- Çapak yüksekliği açısından, kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde, kaplamalı takımlara göre çapak yüksekliği daha az olmuştur.
- İlerleme hızlarının artması ile çapak yüksekliğinde artış görülürken, kesme hızlarının artması ile çapak yükseklikleri azalmıştır.
- Ovalite açısından, kaplamalı takımlar kaplamasız takımlara göre daha iyi sonuç vermiştir.
- Kaplamalı ve kaplamasız her iki takım için de, ilerleme hızlarının artması ile ovalite artmıştır. Aynı şekilde kesme hızlarının artışı ile ovalite artmıştır.
- Deneysel olarak bulunan sonuçlar, uygulanan YSA modeli ile elde edilen sonuçlar ile birbirine yakın çıkmıştır.
- Yapılan YSA modellemesinde, çok parametrelili işleme koşullarında, YSA tekniği kullanılarak işleme performanslarının iyileştirilebileceği ortaya konmuştur.

Yapılan bu çalışma sonucunda, bundan sonraki çalışmalara ışık tutması açısından şu tavsiyelerde bulunulabilir;

- Bu çalışmada kaplamasız takım ile beraber tek bir kaplama uygulaması ele alınarak farklı kesme hızları ve farklı ilerleme hızları kullanılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda sırf kaplamanın etkisi araştırılabilir.

- Kaplamasız matkaplarda, bileme sayısı dikkate alınarak performans açısından karşılaştırma yapılabilir.
- Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarda farklı uç ve helis açısı dikkate alınarak performans açısından karşılaştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Tonshoff, H.L., Spintig, W., Konig, W., Neises, A., “Machining of Holes Developments in Drilling Techonolgy”, *Annals of the CIRP*, 43 (2): 551-560 (1994).
2. 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, 24-74 (2009).
3. Çakıroğlu, R., “Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-20, 48-50, 75-76 (2011).
4. Kıvak, T., “Inconel 718’in Delinebilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 55-74, 78-82 (2007).
5. Özkul, İ., Buldum, B.B., Akkurt, A., “Dievar Sıcak İş Takım Çeliğinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Kalitesine Etkisinin Regrasyon Analiziyle Modellenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1-9 (2013).
6. Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U., “AISI 1050 Çeliğinin Delinmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel Olarak Araştırılması”, *International Iron & Steel Symposium*, 1276-1283 (2012).
7. Tosun, N., Özek, C., Tosun, G., “Delme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi”, *11.Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, Antalya, (2004).
8. Jurko, J., Panda, A., “Identification the Tool Wear Mechanisms and Form at Drilling of a New Stainless Steels” *AASRI Procedia* 3: 127-132 (2012).
9. Paro, J.A., Gustafsson, T.E., Koskinen, J., “Drilling of Conventional Cast Stainless Steel With HIPed NiTi Coating”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154 : 622-629 (2004).
10. Li, R., Hegde, P., Shih, A.J., “High-Throughput Drilling of Tiyanium Alloys”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 63-74 (2007).
11. Chen, W.C., Liu, X.D., “Stud on Various Coated Twist Drills for Stainless Steels Drilling” *Journal of Materials Processing Technology*, 99: 226-230 (2000).
12. Gariboldi, E., “Drilling a Magnesium Alloy Using PVD Coated Twist Drills”, *Journal of Materials Processing Technology*, 134: 287-295 (2003).

13. Nomani, J., Pramanik, A., Hilditch, T., Littlefair, G., “Machinability Study of First Generation Duplex (2205), Second Generation Duplex (2507) and Austenite Stainless Steel During Drilling Proces “, *Wear*, 304: 20-28 (2013).
14. Kıvak, T., Samtaş, G., Çiçek, A., “Taguchi Method Based Optimisation of Drilling Parameters in Drilling of AISI 316 Steel With PVD Monolayer and Multilayer Coated HSS Drills”, *Measurement*, 45: 1547-1557 (2012).
15. Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Achyutha, B.T., Siddeswarappa, B., “Genetic Algorithm-Based Burr Size Minimization in Drilling of AISI 316L Stainless Steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 197: 225-236 (2008).
16. Kumar, J.P., Packiaraj, P., “Effect of Drilling Parameters on Surface Roughness, Tool Wear, Material Removal Rate and Hole Diameter Error in Drilling of OHNS”, *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 150-154 (2012).
17. Kıvak, T., Çiçek, A., Uygur, İ., Özbek N.A., “AISI 316 Östenik Paslanmaz Çeliğin Delinmesinde Tek Katlı ve Çok Katlı Kaplamaların Delik Kalitesi Üzerindeki Etkileri” , *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu Ankara*, 28-33 (2012).
18. Rahman, A.A., Mamat, A., “Effect of Machining Parameters on Hole Quality of Micro Drilling for Brass”, *Modern Applied Science*, 221-229 (2009).
19. Kıvak, T., Habalı, K., Şeker, U., “The Effect of Cutting Parameters on The Hole Quality and Tool Wear During The Drilling of Inconel 718”, *Journal of science*, 25(2):533-540 (2012).
20. Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Achyutha, B.T., Siddeswarappa, B., “Taguchi Optimization in Drilling of AISI 316L Stainless Steel to Minimize Burr Size Using Multi-Performance Objective Based on Membership Function”, *Journal of Materials Technology*, 202: 374-379 (2008).
21. Belluco, W., De Chiffre, L., “Performance Evaluation of vegetable-Based Oils in Drilling Austenitic Stainless Steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 148: 171-176 (2004).
22. Wang, Y., Yan, X., Li, B., Tu, G., “The Study on the Chip Formation and Wear Behavior for Drilling Forged Steel S48CS1V With TiAlN-Coated Gun Drill”, *Int. Journal Refractory Metals and Hard Materials*, 30: 200-207 (2012).
23. Kaplan, Y., Nalbant, M., Gökkaya, H., “AISI D2 ve AISI D3 Soğuk İş Çeliklerinin Delinmesinde İşleme Parametrelerinin Çapak Oluşumuna Etkilerinin Deneyisel Olarak İncelenmesi”, *Karaelmas Fen ve Edebiyat Dergisi*, 1: 37-46 (2011).

24. 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).
25. 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).
26. Tsao, C.C., Hocheng, H., “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).
27. Jahromi, A.S., Rahman, K.H.U., Bahr, R.B.B., “Investigation of the effect of different parameters in the drilled hole quality in composite materials”, *Proceedings of the 3rd Annual GRASP Symposium*, 219-220 (2007).
28. 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).
29. Kılıçkap, E., “CEPT Kompozitlerin Delinmesinde Oluşan Deformasyona Delme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi”, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi (Timak), 76-84 (2010).
30. Tosun, G., “The Drilling of An Al/SiCp Metal-Matrix Composites. PartI:Microstructure”, *Composites Science and Technology*, 64: 299–308 (2004).
31. Canpolat, N., “Değişik Takviyeli Kompozit Malzemenin Matkapla Delinebilirliğinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi,*Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 1-2 (2008).
32. 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).
33. Ay, M., Turhan, A., “Tornalama işleminde kesme parametrelerinin ve iş parçası uzunluğunun yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, *Journal of Machine Technology*, 7 (3): 55-67 (2010).
34. Neşeli, S., Taşdemir, Ş., Yaldız, S., “Yapay sinir ağı yaklaşımı ile tornalamada yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi”, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*, 22 (3): 66-75 (2009).

35. Uçun, İ., Aslantaş, K., Bedir, F., “İnconel 718 süper alaşımının işlenmesinde kaplanmış mikro takımların aşınma davranışları ve performans analizi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* 7 (4): 47-55 (2010).
36. Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul 23-90 (1998).
37. Taşgetiren, S., Aslantaş, K., “Tornada kesme için yeni bir sert metal uç tutucusu tasarımı”, *3. GAP Mühendislik Kongresi*, Şanlıurfa, 150-157 (2000).
38. Mendi, F., “Takım tezgahları teori ve hesapları”, *ISBN 975-96008*, Ankara, 5-40 (1996).
39. 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).
40. Şahin, Y., “Kesici Takım Geometrisi ve Seçimi”, *Talaş Kaldırma Prensipleri*, Cilt 1 Ankara, 240-241 (2000).
41. Krar, F. S. Rapisarda, M., Check, F.A., ”Machine Tool and Manufacturing Technology” *Delmar Publishers*, U.S.A., (1998).
42. Korucu, S. “Delik işlemlerinde kesiciler üzerine etki eden gerilmelerin matematiksel olarak modellenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 38-40 (2007).
43. 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, 38-48, 51 (2010).
44. Kaynak, Y., “Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 15-21 (2006).
45. Sandvik Coromant, “Modern metal cutting-A practical handbook”, English Edition, Sandvik Coromant, Sweden, (1994).
46. Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul 23-90 (1998).
47. Çakır, A., “Al 7075 ve Al 6013 Alüminyum Malzemelerin Delme Operasyonları Esnasındaki Kesme Parametrelerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 31-34 (2009).

48. Mısıkoğlu, S., “Torna Tezgahlarında Kesici Kaleme Gelen Kuvvet ve Gerilmelerin Bilgisayar Desteğiyle Ölçülerek Denetimi, Simülasyonu ve HSS Kalemlerinin Optimum Profilinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 47-56 (1995).
49. Eggeleston, D.M., Herzog, R., Thomson, E.G., “Observation on the Angle Relationship in Metal Cutting”, **The American Society of Mechanical Engineers**, 58-A-138 (1959).
50. Kaminise, A. K., “Study of burr formation during cylindrical turning of ABNT 1045 steel, MSc. Dissertation, **Universidade Federal de Uberlândia**, Portuguese, 25 (4): 30-36 (2004).
51. Soares, F. M., “Study of burr formation in the drilling process”, **MSc dissertation**, Portuguese, 27 (1): 36-40 (1995).
52. Bordinassi, E. C., Almeida Filho, C. O. C, Filho, M. S. e Batalha, G. F., “Deburring control and cutting forces”, **Máquinas e Metais**, Portuguese, 31 (1): 58-63 (2004).
53. Min, S., Kim, J., Dornfeld, D. A., “Development of a Drilling Burr Control Chart for Low Alloy Steel, AISI 4118”, **Journal of Materials Processing Technology**, 113: 4-9 (2001).
54. Öztemel, E., “Yapay Sinir Ağları”, **Papatya Yayıncılık**, Mart, 68-83 (2003).
55. Toktaş, İ., “Mekanik sistemler için bir kavramsal tasarım modelinin geliştirilmesinde yapay sinir ağlarının kullanılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 24-40 (2003).
56. Hamzaçebi, C., Kutay, F., Taguchi metodu bir uygulama, Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, Karabük, 6 (3-4): 7-17 (2003).
57. Soycan, T.Y., “Yapay sinir ağları yaklaşımı ile kompaksiyon parametrelerinin tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, **Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Niğde, 74-81 (2008).
58. Çakır, M.C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, **Vipaş A.Ş.**, Bursa, 350-390 (2000).
59. Yağmur, S., “Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklığın deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 95 (2011).

60. Bayraktar, Ş., “Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Frezeleme İşleminde İşlenebilirliğinin Deneysel Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 80 (2011).
61. Bakkal, M., Shih, Albert J., Samuel B. McSpadden, C.T. Liu, Ronald O. Scattergood., “Light emission, chip morphology, and burr formationin drilling the bulk metallic glass” *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45: 741–752 (2005).
62. Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U., “AISI 1050 Çeliğinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin ve Kaplama Uygulamasının Dairesellikten Sapma (Ovalite) Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, *Journal of Polytechnic*, 16 (3): 105-109 (2013).
63. Koç, S., “Kritik ünitelerin performansını etkileyen faktörlerin deneysel tasarım yöntemi ile optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 70-73 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SİYAMBAŞ, Yusuf
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 23.05.1987 Ünye
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (535) 231 86 27
 e-mail : yusufsiyambas@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/Talaşlı Üretim Öğretmenliği	2010
Lise	Trabzon Endüstri Meslek Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2014	Şehit Büyükelçi Daniş Tunalıgil Teknik ve End. Mes. Lisesi	Makine Tek. Öğretmeni
2011-2014	Gazi Üniv. OSTİM MYO	Öğr.Gör. (Dışardan)

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, Bilgisayar teknolojileri, Kitap okuma, Yürüyüş