

**SERTLEŞTİRİLMİŞ SOĞUK İŞ TAKIM  
ÇELİĞİNİN İŞLENMESİNDE KESİCİ TAKIMDA  
OLUŞAN GERİLMELERİN MODELLENMESİ**

**2015  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Mehmet Erdi KORKMAZ**

**SERTLEŞTİRİLMİŞ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN İŞLENMESİNDE  
KESİCİ TAKIMDA OLUŞAN GERİLMELERİN MODELLENMESİ**

**Mehmet Erdi KORKMAZ**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Ocak 2015**

Mehmet Erdi KORKMAZ tarafından hazırlanan “SERTLEŞTİRİLMİŞ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN İŞLENMESİNDE KESİCİ TAKIMDA OLUŞAN GERİLMELERİN MODELLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım. 23/01/2015

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR (KBÜ)

.....

Üye: Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT (GÜ)

.....

Üye: Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

.....

...../...../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Mehmet Erdi KORKMAZ

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **SERTLEŞTİRİLMİŞ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN İŞLENMESİNDE KESİCİ TAKIMDA OLUŞAN GERİLMELERİN MODELLENMESİ**

**Mehmet Erdi KORKMAZ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Mustafa GÜNAY**

**Ocak 2015, 95 Sayfa**

Bu çalışmada, sertleştirilmiş DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliği malzemesi üzerinde sert tornalama yöntemiyle işleme deneyleri yapılmıştır. Taguchi  $L_{27}$  deney tasarımı uygulanarak gerçekleştirilen deneyler sonrasında; kesme derinliği, ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesici uç yarıçapının kesici takımında oluşan kesme kuvveti ve gerilmeler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Öncelikle, CNC torna tezgâhında yapılan sert tornalama işleminde, kaplamasız seramik kesici takımlar kullanılarak Kistler 9257B tipi dinamometre ile kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Deneysel olarak elde edilen kuvvet değerleri kullanılarak ANSYS paket programı yardımıyla kesici takımında meydana gelen gerilmeler analiz edilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ölçülen esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve paket programdan elde edilen von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmeleri için yapay sinir ağları (YSA) yöntemine dayalı matematiksel modeller oluşturulmuştur. Elde edilen  $F_c$  değerleri ve  $S_{EQV}$  gerilmeleri için grafik halinde yorumlanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre;  $F_c$

üzerinde en önemli faktör kesme derinliği olurken, ikinci önemli faktör ilerleme miktarı olarak tespit edilmiştir. Ölçülen  $F_c$  ve hesaplanan  $S_{EQV}$  değerleri ile bunların YSA modelleri sonuçlarının uygunluğu çeşitli hata kontrol yöntemleriyle değerlendirilmiştir.  $F_c$  ve  $S_{EQV}$  değerleri için yapılan deney/analiz çalışmaları, özellikle belirlilik katsayısı ( $R^2$ )'nın % 99 olarak bulunmasıyla onaylanmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Sert tornalama, DIN 1.2210, kesme kuvveti, yapay sınır ağları, sonlu elemanlar yöntemi.

**Bilim Kodu :** 914.3.028

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **MODELING OF CUTTING TOOL STRESSES ON MACHINING OF HARDENED COLD WORK TOOL STEEL**

**Mehmet Erdi KORKMAZ**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜNAY**

**January 2015, 95 Pages**

In this study, machining experiments on DIN 1.2210 hardened cold work tool steel by hard turning process were carried out. The effects of cutting depth, feed rate, cutting speed and tool nose radius on cutting forces and stresses in cutting tool were determined in the experiments carried out with  $L_{27}$  experimental design. In this study on ceramic cutting tools, stresses on cutting tool were analyzed with ANSYS package program by the help of cutting forces measured by dynamometer. In the last part of the study, mathematical model of measured cutting forces and analyzed stresses were created. The resultant cutting force and cutting tool stresses values were graphically interpreted, the results were evaluated. Applied mathematical model with artificial neural networks (ANN) were compared with actual values. These comparisons were graphically interpreted and the results were discussed. According to analysis of variance, while depth of cut has become the most important factor on

$F_c$ , feed rate has become second important factor. Relevance of computed values with mathematical models developed by ANN and actual values of  $F_c$  and  $S_{EQV}$  were approved by % 99  $R^2$ .

**Key Words** : Hard turning, DIN 1.2210, cutting force, artificial neural networks, finite element method.

**Science Code** : 914.3.028



## TEŞEKKÜR

Emek ve bilgisiyle bu tez çalışmasının ortaya çıkarılmasında tüm gücüyle yardımcı olan, hiçbir aşamasında beni yalnız bırakmayan tez danışmanım çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Tez çalışmama maddi olarak destek olan Karabük Üniversitesi ÖYP Koordinatörlüğü'ne, deneysel çalışmalarında yardımını esirgemeyen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Dr. Gültekin UZUN, Uzman Selçuk YAĞMUR ve Emre AY'a teşekkür ederim. Çalışmalarında tecrübelerinden yararlandığım KBÜ Meslek Yüksekokulu Öğr. Gör. Nafiz YAŞAR, Öğr. Gör. Dr. Mehmet BOY, Bozok Üniversitesi Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu Öğr. Gör. Hakan YURTKURAN ve Hüseyin UZUN'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu tezin ortaya çıkarılma sürecinde benimle birlikte olan ve desteklerini esirgemeyen çok değerli iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olarak maddi ve manevi hiçbir yardımını esirgemeyen sevgili aileme ve eşime tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
2.2. MATEMATİKSEL MODELLEME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	8
2.3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	11
BÖLÜM 3 .....	15
TALAŞLI İMALAT YÖNTEMLERİ .....	15
3.1. GİRİŞ.....	15
3.2. METAL KESME MEKANİĞİ .....	16
3.2.1. Kesme Kuvvetleri .....	17
3.2.2. Kesici Takım .....	19
3.2.2.1. Kesici Takım Geometrisi .....	19
3.2.2.2. Kesici Takım Malzemeleri.....	20
3.2.2.3. Kesici Takım Aşınması.....	24

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.3. SERT İŞLEME.....	26
3.3.1. Sert Tornalama.....	27
BÖLÜM 4 .....	29
DENEYSSEL TASARIM VE MATEMATİKSEL MODELLEME YÖNTEMLERİ	29
4.1. DENEY TASARIMI .....	29
4.2. TAGUCHİ YÖNTEMİ.....	30
4.2.1. Sistem Tasarımı .....	30
4.2.2. Parametre Tasarımı.....	31
4.2.3. Tolerans Tasarımı .....	31
4.3. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	33
4.3.1. Biyolojik Sinir Sistemi ve Yapay Sinir Ağları .....	33
4.3.2. Yapay Sinir Ağları Modeli Yapısı.....	35
4.3.3. Transfer Fonksiyonu Çeşitleri .....	37
4.3.4. Yapay Sinir Ağları Topolojisi .....	38
4.4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ.....	39
4.4.1. SEY’de Kullanılan Elemanlar .....	41
BÖLÜM 5 .....	45
MATERYAL VE YÖNTEM .....	45
5.1. GİRİŞ.....	45
5.2. DENEY MALZEMESİ .....	45
5.2.1. Deney Malzemesinin Isıl İşlemi .....	46
5.3. DENEY MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ .....	47
5.3.1. Takım Tezgahı ve Kesici Takımlar .....	48
5.3.2. Kesme Kuvveti Ölçüm Cihazı ve Deney Düzeneği .....	49
5.4. DENEY TASARIMI .....	51
5.5. GERİLME ANALİZİ ÇALIŞMALARI.....	52
5.5.1. Kesici Takımın Modellenmesi .....	53
5.5.2. Kesici Takımlara Ait Malzeme Modelleri.....	55
5.5.3. Elemanlara Ayırma ve Temas Çiftleri.....	56
5.5.4. Yükleme Durumu ve Sınır Şartları.....	58

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.5.4.1. Sıkma Kuvvetinin Uygulanması .....	58
5.5.4.2. Kesme Kuvvetleri İçin Yükleme Durumunun Belirlenmesi.....	58
5.5.4.3. Başlangıç ve Sınır Şartları .....	59
5.5.4.4. Çözüm Prosedürü.....	60
BÖLÜM 6 .....	61
DENEY/ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	61
6.1. KESME KUVVETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	63
6.2. KESİCİ TAKIM GERİLMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	68
6.3. MATEMATİKSEL MODELLEME SONUÇLARI .....	72
6.3.1. Yapay Sinir Ağları (YSA) Analizi.....	72
6.3.1.1. Esas Kesme Kuvvetinin Modellenmesi .....	72
6.3.1.2. Kesici Takım Gerilmelerinin (von Mises_ $S_{EQV}$ ) Modellenmesi.....	75
6.4. DENEYSEL SONUÇLAR İLE MODEL SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....	78
BÖLÜM 7 .....	86
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	86
KAYNAKLAR .....	88
ÖZGEÇMİŞ .....	95

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Dik kesme modeli.....	16
Şekil 3.2. Plastik deformasyon bölgeleri .....	17
Şekil 3.3. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri .....	18
Şekil 3.4. Kesici takım geometrisi .....	19
Şekil 3.5. Takım ucundaki krater ve yan yüzey aşınması.....	25
Şekil 4.1. Biyolojik sinir hücresinin şematik yapısı .....	34
Şekil 4.2. Yapay nöronun grafik gösterimi.....	36
Şekil 4.3. Sabit girişlerin YSA modellemesinde gösterimi .....	36
Şekil 4.4. Tam bağlantılı çok katmanlı ağ yapısı.....	39
Şekil 4.5. Sonlu eleman analizlerinde kullanılan bazı elemanlar .....	41
Şekil 4.6. Üç standard katı eleman geometrisi.....	42
Şekil 4.7. Dört yüzlü, kama ve altı yüzlü elemanlar kullanarak düzenli 3B ağların yapılması.....	42
Şekil 4.8. Standard elemanlarda ilave düğümlerin kullanımı .....	42
Şekil 5.1. Takım tutucu.....	48
Şekil 5.2. Kistler 9257B dinamometre ve elemanları .....	49
Şekil 5.3. Deney düzeneği .....	50
Şekil 5.4. Kesici takım çifti katı modeli .....	53
Şekil 5.5. Takım-talaş temas alanı .....	54
Şekil 5.6. Kesici takım çiftine ait katı model ve takım-talaş alanı .....	55
Şekil 5.7. Analizlerde kullanılan ağ yapısı .....	57
Şekil 5.8. Sıkma kuvvetinin uygulanması .....	58
Şekil 5.9. $F_c$ 'nin yayılı yük biçiminde uygulanması .....	59
Şekil 6.1. Kistler 9257B tipi dinamometre ile zamana bağlı ölçülen kesme kuvvetleri.....	63
Şekil 6.2. Kesme parametrelerine bağlı $F_c$ 'nin değişimi; $r=0,4$ mm.....	64
Şekil 6.3. Kesme parametrelerine bağlı $F_c$ 'nin değişimi; $r=0,8$ mm.....	64
Şekil 6.4. Kesme parametrelerine bağlı $F_c$ 'nin değişimi; $r=1,2$ mm.....	64

## **Sayfa**

Şekil 6.5. $F_c$ 'nin kesme parametrelerine göre değişimi .....	66
Şekil 6.6. Kesme parametrelerine bağlı SEQV'nin değişim; $r=0,4$ . .....	68
Şekil 6.7. Kesme parametrelerine bağlı SEQV'nin değişim; $r=0,8$ . .....	68
Şekil 6.8. Kesme parametrelerine bağlı SEQV'nin değişim; $r=1,2$ . .....	69
Şekil 6.9. SEQV'nin kesme parametrelerine göre değişimi.....	70
Şekil 6.10. $a=0,3\text{mm}$ , $f=0,15\text{mm/dev}$ , $r=0,4\text{mm}$ için SEM ve ANSYS görüntüleri .	71
Şekil 6.11. $a=0,3\text{mm}$ , $f=0,15\text{mm/dev}$ , $r=0,8\text{mm}$ için SEM ve ANSYS görüntüleri .	72
Şekil 6.12. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) için ağ yapısı. ....	73
Şekil 6.13. Von Mises (SEQV) gerilmesi için ağ yapısı. ....	76
Şekil 6.14. $F_c$ 'nin deney, YSA eğitim ve test sonuçları.....	82
Şekil 6.15. SEQV'nin analiz, YSA eğitim ve test sonuçları. ....	82
Şekil 6.16. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) için YSA performansı. ....	85
Şekil 6.17. Von Mises (SEQV) gerilmesi için YSA performansı.....	85

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 4.1. Biyolojik sınır sistemi ve YSA'nın karakteristiği.....	34
Çizelge 5.1. Deney numunesinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %). ....	46
Çizelge 5.2. Faktörler ve seviyeleri. ....	51
Çizelge 5.3. Deneylerde uygulanan Taguchi L27 deney tasarımı .....	52
Çizelge 5.4. Kesici takımların malzeme özellikleri .....	56
Çizelge 5.5. Eleman boyutuna göre oluşan gerilmeler .....	56
Çizelge 5.6. Kesici takım ve takım tutucu için kullanılan eleman ve düğüm sayıları.....	57
Çizelge 6.1. Deney ve analiz sonuçları .....	62
Çizelge 6.2. Esas kesme kuvveti için ANOVA sonuçları. ....	67
Çizelge 6.3. Fc için her bir nöronun ağırlık değerleri. ....	75
Çizelge 6.4. SEQV için her bir nöronun ağırlık değerleri. ....	78
Çizelge 6.5. Fc için deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması. ....	79
Çizelge 6.6. SEQV için ANSYS analizi ile matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması. ....	80
Çizelge 6.7. Test için ayrılan deney sonuçları ile tahmin sonuçları. ....	81
Çizelge 6.8. Fc için YSA modeline ait hata kontrol tablosu. ....	84
Çizelge 6.9. SEQV için YSA modeline ait hata kontrol tablosu. ....	84

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- V : Kesme hızı (m/dak)  
F : İlerleme miktarı (mm/dev)  
a : Kesme derinliği (mm)  
r : Kesici uç yarıçapı (mm)  
F<sub>r</sub> : Radyal kuvvet (N)  
F<sub>f</sub> : İlerleme kuvveti (N)  
F<sub>c</sub> : Esas kesme kuvveti (N)  
S<sub>EQV</sub> : Von Mises gerilmesi (MPa)

### KISALTMALAR

- YSA : Yapay Sinir Ağı  
YZ : Yapay Zeka  
CVD : Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Çökertme)  
PVD : Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Çökertme)  
PCBN : Polycrystalline Cubic Boron Nitride (Çok Kristalli Kübik Bor Nitrür)  
CBN : Cubic Boron Nitride (Kübik Bor Nitrür)  
TiN : Titanyum Nitrür  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Alüminyum Oksit  
TiC : Titanyum Karbür  
CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)  
FEM : Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Yöntemi)  
MSE : Mean Squared Error (Hata Kareler Ortalaması)  
RMS : Root Mean Square (Hata Kareler Ortalaması Karekökü)  
MAPE : Mean Absolute Percentage Error (Ortalama Mutlak Yüzde Hata)



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Talaşlı imalat yöntemlerinden olan tornalama, frezeleme ve taşlama, karmaşık geometriye sahip parçaların imal edilebilmesi açısından döküm, haddeleme, dövme gibi şekillendirme ve kalıpla biçimlendirme yöntemlerinden sonra uygulanan işlemlerdir. Bu yüzden, bir parça üretilirken istenilen ölçünün doğruluğunu ve tamlığını elde edebilmek için önce döküm ve kalıpla biçimlendirme gibi şekillendirme yöntemleri uygulanır. Daha sonra, imalatı yapılacak parça/ürün talaş kaldırma yöntemleriyle son halini alır [1,2]. Talaşlı imalat işleminde iş parçasının istenilen boyut ve yüzey kalitesine ulaşabilmesi için üzerindeki fazlalıklar, uygun bir takım tezgâhı ve kesici takım kullanarak atılabilir. Bu süreçte; kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, kesici takım ömrü, talaş tipi, kesme sırasında harcanan enerji, kesme sıcaklığı gibi bağımlı değişkenler ile iş parçası malzemesi, takım malzemesi, kesme parametreleri (kesme derinliği, ilerleme miktarı, kesme hızı), takım geometrisi, takım tezgâhı ve kesme sıvısı gibi bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler iyi değerlendirilmelidir [2].

Farklı geometrilerdeki iş parçalarını talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirebilmek için çeşitli talaşlı imalat işlemleri ve işlemlere özgü takım tezgâhları geliştirilmiştir. Talaşlı imalat işlemlerinde; kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, enerji tüketimi gibi işleme çıktılarını etkileyen en önemli kesme parametreleri, kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğidir [1]. Kesme kuvvetleri, kesici takım performansını doğrudan etkilemesi sebebiyle, talaşlı imalatta önem arz eden hususlardan birisidir. Ayrıca, takım tezgâhı imalatı yapanlar için kesme kuvvetlerinin bilinmesi gerekir. Çünkü tezgâh gücünün ne olması gerektiği bilindiği takdirde tezgâhın parçaları kesme kuvvetleri sonucu oluşan gerilmelere dayanabilecek rijitlikte ve titreşimsiz olarak tasarlanabilir. Talaş kaldırma parametrelerinin

işlenebilirliğe etkileri birçok araştırmacı tarafından araştırılmış ve halen de araştırılarak en uygun kesme koşulları tespit edilmeye çalışılmaktadır [3].

Günümüzde sertleştirilmiş çelikler, yüksek aşınma dirençleri ve dayanımları nedeniyle başta makinelerin aşınabilecek kısımları olmak üzere birçok endüstriyel uygulamada tercih edilmektedir [4]. Özellikle, kesici takımlar alanında sağlanan gelişmeler sonucunda, sertleştirilmiş çeliklerin geleneksel talaşlı imalat yöntemleriyle (tornalama, frezeleme vb.), taşlama işlemine gerek kalmadan, son geometrilerinde işlenmesi mümkün hale gelmiştir [5]. Sert tornalama, 45 HRC'nin üzerinde sertlik gösteren demir-çelik alaşımlarını işlemek için tek noktadan kesme yapan kesici takım ve yüksek hızların kombinasyonunu kullanan bir talaş kaldırma yöntemidir [6]. Bu çalışmada;

- DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliğinin kaplamasız seramik kesici takım ve farklı kesme parametrelerinde (kesme derinliği, ilerleme miktarı, kesme hızı, kesici uç yarıçapı) sert tornalama yöntemiyle işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçülmesi,
- Deneysel olarak belirlenen kesme kuvvetlerinin kesici takım üzerindeki etkilerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)'e dayalı analizi,
- Sert tornalama deneyleri sırasında ölçülen esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) verilerini kullanmak suretiyle,  $F_c$  için YSA yöntemi kullanılarak bir matematiksel modelin geliştirilmesi,
- Kesme kuvvetleri etkisiyle kesici takımda oluşan von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmesi için bilgisayar destekli mühendislik yazılımıyla (ANSYS) hesaplanan gerilme değerleri referans alınarak  $S_{EQV}$  gerilmesi için bir matematiksel modelin geliştirilmesi,

- Deney sonucunda ölçülen  $F_c$  ve gerilme analiziyle hesaplanan  $S_{EQV}$  ile bunların matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması ve dolayısıyla geliştirilen modellerin uygulanabilirliğinin tespiti amaçlanmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 2.1. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Chou ve Song, AISI 52100 çeliğinin sert tornalanmasında kesici uç yarıçapının etkilerini incelemişler ve kesici uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlüğünün azaldığını, fakat daha fazla özgül kesme enerjisinin gerektiğini fark etmişlerdir. Ayrıca, kesici uç yarıçapının artmasıyla kesilmemiş talaş kalınlığının azalacağını vurgulamışlardır [7].

Kundrak ve arkadaşları, günümüzde taşlamanın yerini alan sert tornalamanın hassasiyetinden bahsederek, sertleştirilmiş AISI 5115 çeliğinin PCBN kesici takımlarla işlenmesi üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Genel olarak, sert tornalama sonrasında işlenen parçalarda oluşabilen dairesellik, silindiriklik ve paralellik hatalarını değerlendirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, sert tornalamanın hassasiyetindeki en kritik toleransın dairesellik hatası olduğuna karar vermişlerdir. Son olarak sert tornalamanın taşlamadan yaklaşık 4-5 kat daha hassas yüzeyler oluşturduğu sonucuna varmışlardır [8].

Aouici ve arkadaşları, CBN kesici takımlarla sert tornalama işleminde kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü analiz etmişlerdir. Cevap yüzey metoduna göre AISI H11 çeliğinin CBN7020 kesici takımla sert tornalanması işleminde kesme derinliğinin ilerleme kuvveti ve kesme kuvveti üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır. Fakat kesme hızının bu kuvvetler üzerinde çok küçük bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir [9].

Sahoo ve arkadaşları, kaplamasız ve çok katmanlı kaplamalı karbür kesici takımlar ile AISI 4340 çeliğinin işlenebilirliğini sert tornalama yöntemini kullanarak

incelemişlerdir. Deneylerden elde edilen kuvvetler değerlendirildiğinde, TiN ve ZrCN kaplamalı kesici takımlara kıyasla üç boyuttaki ( $F_r$ ,  $F_f$ ,  $F_c$ ) kesme kuvvetlerinin kaplamasız kesici takımlarla yapılan deneylerde daha fazla olduğu görüşmüştür. Kuvvetler arasında en büyük değere sahip kuvvetin radyal kuvvet ( $F_r$ ) olduğunu belirtmişlerdir. Kaplamalı kesici takımlarla yapılan deneyler incelendiğinde, TiN kaplamalı kesici takım kullanıldığında oluşan kesme kuvvetlerinin, ZrCN kaplamalı takımdan biraz daha büyük çıktığı belirlenmiştir [10].

Dahlman ve arkadaşları, sert tornalamada talaş açışı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. AISI 52100 çeliği kullanılarak sabit kesme hızında yapılan deneyler sonucunda ilerleme miktarının artmasıyla basma gerilmelerinin arttığı belirlenmiştir. Talaş açısının artmasıyla maksimum gerilme noktasının malzemenin iç kısmına doğru hareket ettiği anlaşılmıştır. Ayrıca kesme derinliğinin kalıntı gerilmelere etkisinin olmadığını vurgulamışlardır [11].

Kurt ve Şeker, AISI 52100 çeliğinin PCBN kesici uç kullanılarak yapılan bitirme tornalama işleminde pah açısının kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kesme deneylerinden elde edilen kesme kuvvetleri ve sonlu elemanlar analizinden alınan veriler, pah açısının kesme kuvveti ve kesme gerilmeleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Pah açısının artmasıyla kesme kuvvetlerinin de arttığı, hatta radyal kuvvetin diğerlerine göre daha fazla arttığı görülmüştür [12].

Bouacha ve arkadaşları, 64 HRC sertliğindeki AISI 52100 rulman çeliğinin CBN kesici takımla sert tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetlerini analiz etmişlerdir. Asıl amaçları, kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarı gibi kesme parametrelerinin bu şartlar altında yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetini nasıl etkilediği olmuştur. Sonuçlara bakıldığında, kesme kuvveti üzerinde, işlenen malzemenin sertliğinin kesme hızından daha önemli olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, ilerleme miktarı ve kesme derinliği kesme kuvvetini artırırken, kesme hızının kesme kuvvetini azalttığı görülmüştür. Son olarak, kesme kuvvetini etkileyen en önemli parametrenin kesme derinliği olduğu tespit edilmiştir [13].

Suresh ve arkadaşları, AISI H13 takım çeliğinin seramik kesici takım ile sert tormalanması sırasında kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Hem kesme kuvveti için hem de takım aşınması için ikinci derece regresyon modeli geliştirmişlerdir. Her bir kesme parametresinin etkisi varyans analizi (ANOVA) yöntemiyle irdelenmiştir. Sonuç olarak, kesme hızı ve kesme derinliğinin ilerleme kuvveti üzerinde, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin ise radyal kuvvet üzerinde etkili olduğunu vurgulamışlardır [14].

Navas ve arkadaşları, kesme parametrelerinin AISI 4340 çeliğinin tormalanmasında oluşan yüzey kalıntı gerilmeler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, takım uç yarıçapının ve ilerleme miktarının artmasıyla oluşan kalıntı gerilmelerin arttığı fark edilmiştir. İlerlemenin artmasıyla oluşan kalıntı gerilmelerin daha çok çekme kalıntı gerilme şeklinde olduğu bulunmuştur. Ayrıca kesme hızının yüzey kalıntı gerilmeler üzerinde fazla bir etkiye sahip olmadığını, olsa bile kesme hızının artmasıyla gerilmelerin azaldığını gözlemlemişlerdir [15].

Kountaya ve arkadaşları, 100Cr6 çeliğinin sert tormalanması işleminde deneysel ve simüle edilmiş talaş morfolojisi üzerinde kesici uç geometrisinin ve kesme parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlara bakıldığında, talaş açısının ve kesme hızının artmasıyla bütün kesme kuvvetlerinin azaldığını, fakat kesici uç yarıçapının artmasıyla esas kesme kuvvetinin ( $F_c$ ) değişmediğini, radyal kuvvetin ( $F_r$ ) azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca deney sonuçları ile sonlu elemanlar metoduna bağlı simüle edilmiş sonuçlar arasında % 20'den az hata olduğunu belirtmişlerdir [16].

Chinchanikar ve Choudhury, farklı sertliklere sahip AISI 4340 çeliğinin kaplamalı karbür kesici takım ile tormalanması sırasında malzeme sertliklerinin ve kesme parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. 35 ve 45 HRC sertliklerde yapılan deneylerde malzemenin sertliğinin artması kesme kuvvetlerinde ciddi bir artışa sebep olmuştur. Ayrıca kesme derinliğinin ve ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinde bir artış meydana geldiğini, fakat kesme hızındaki artışın kesme kuvvetlerinde azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak kesme

parametrelerinin kuvvetler üzerindeki etki oranları düşünülürken, kesme derinliğinin en büyük etkiye sahip olduğunu (% 60-70), ilerleme miktarının (% 25-30) ve kesme hızının (% 4-5) bunu takip ettiği belirtilmiştir [17].

Bartarya ve Choudhury, sert tornalamadaki son gelişmeler hakkında yeniden inceleme yapmış ve üretim yöntemleri ile ilgili temel sorunları anlamaya çalışmışlardır. Bu inceleme, radyal kuvvetin sert tornalamada en etkin kuvvet olduğunu ve bu durumun sert tornalamayı geleneksel işleme yöntemlerinden farklı kıldığını göstermektedir. Bartarya ve Choudhury, radyal kuvvetin en etkin faktör olduğunu inceleyen bir modelleme çalışmasının henüz olmadığını vurgulamışlardır. Ayrıca, birçok sert tornalama işleminde kesme sıvısı kullanılmazken, az da olsa kesme sıvısı kullanılarak yapılan sert tornalama işleminin de yapıldığını gözlemlemişlerdir. Kesme sıvısının yanak aşınmasının oluşumunu yavaşlattığını fakat kesme sıvısını kullanıp kullanmamakla alakalı günümüzde hala tartışmaların devam ettiğini vurgulamışlardır [18].

Guddat ve arkadaşları, 58-62 HRC sertliğindeki AISI 52100 rulman çeliğinin PCBN kesici takımla sert tornalanması sırasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İlerleme miktarının kesme kuvvetleri üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu ve geleneksel kesici uç yerine silici uç kullanıldığında ilerleme ve radyal kuvvetin arttığını fakat esas kesme kuvvetinde pek bir değişim olmadığını gözlemlemişlerdir [19].

Uysal ve Altan, dik kesme işleminde kesici ağız yuvarlatma yarıçapının kesme kuvvetlerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel olarak ani durdurma cihazı kullanılmış olup, ayrıca kesici ağız yuvarlatılmamış kabul edilen ve kesici ağız 50 µm, 100 µm ve 150 µm yuvarlatılmış kesici takımlar kullanılmıştır. Üç farklı kesme derinliği ve kesme hızında, iki farklı talaş açısında gerçekleştirilen deneyler sonucunda, kesici kenar yuvarlatma yarıçapı ve kesme derinliği arttığında kesme kuvveti ve radyal kuvvet artarken, kesme hızı ve talaş açısı arttığında kesme kuvveti ve radyal kuvvetin azaldığı belirlenmiştir [20].

Köksal ve arkadaşları, radyüslü ve pahlı kesici kenar mikro geometrilerinin kesme kuvveti, takım sıcaklığı ve takım aşınmasına etkisini incelemiştir. Dik tornalama ile yapılan deneylerde keskin kenarlı, 55 µm, 155 µm radyüslü ve 50 µm, 150 µm pahlı kesici kenara sahip beş farklı takım kullanılmış olup hepsi HSS malzemenin üretilmiştir. İş parçası olarak AISI 1020 çeliği kullanılmış ve deneyler farklı kesme, ilerleme hızlarında kuru ortamda yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, düşük ilerleme değerinde kesme kuvvetinin dalgalı bir seyir izlediği, fakat ilerlemenin artmasıyla daha kararlı bir değişim sergilediği görülmektedir. Ayrıca 55 µm radyüslü takımla keskin kenarlı takım veya 50 µm pahlı takımla keskin kenarlı takım kıyaslandığında bu durumların kesme kuvvetini açısından pek bir öneme sahip olmadığı gözlemlenmiştir [21].

Remadna ve Rigal, 52 HRC sertliğindeki alaşımlı bir çeliğin CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme parametrelerinin takım aşınması ve kesme kuvveti üzerindeki etkilerini incelemiştir. Deneysel sonuçlar takım ömrü, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması gibi özelliklerin analiz edilmesini sağlamıştır. Buna göre, kesme kuvvetinin kesme mesafesi ve takım yan aşınması ile arttığını ve CBN kesici takımın ömrünün kesme geometrisi ile doğrudan ilişkili olduğunu gözlemlenmiştir [22].

## **2.2. MATEMATİKSEL MODELLEME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Metal kesme işlemi, imal usulleri arasında en çok kullanılan yöntemdir. Bilimin bu alanındaki araştırmaları 19. yüzyılın ortalarında başlamıştır. Prensip olarak, kesme işlemini etkileyen faktörler, talaş oluşum mekanizması ve kesme işlemine eşlik eden olaylar bilinmektedir. Ancak, işleme verimliliğinin nasıl artırılacağı her zaman bir sorun olmuştur. Düşük üretim maliyeti ve yüksek verimlilik ile istenen kaliteyi elde etmek bu soruna iyi bir örnektir. Matematiksel modelleme bu sorunu çözmek için atılabilecek ilk adımdır [23]. Talaşlı imalat alanında bu ve benzeri sorunları çözmek ya da en az seviyeye indirebilmek için yapay sinir ağı, bulanık uzman sistem, bulanık sinir ağı, regresyon analizi gibi birçok yöntem kullanılarak modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu yöntemler kullanılarak yapılan çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir:



Neşeli ve arkadaşları, tornalama işleminde cevap yüzey metodu ile radyal ( $F_r$ ), ilerleme ( $F_f$ ) ve esas kesme ( $F_c$ ) kuvvetlerinin kesme parametrelerine bağlı olarak modellenmesini amaçlamışlardır. Kuru kesme şartlarında AISI 4140 çeliği kullanılarak Taguchi  $L_{27}$  dikey dizinine göre gerçekleştirilen deneylerde kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği seçilmiştir. Kuvvet bileşenlerinin tahmini için cevap yüzey metoduyla bulunan regresyon denklemlerinin geçerliliği  $R^2$  oranlarına bağlı olarak ( $R^2_{F_r}=0.92$ ,  $R^2_{F_f}=0.93$ ,  $R^2_{F_c}=0.94$ ) son derece yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak, bu denklemlerin benzer çalışmalar için güvenle kullanılabileceği ifade edilmiştir [24].

Yücel ve Günay, yüksek alaşımlı beyaz dökme demirin (Ni-Hard) tornalanmasında oluşan esas kesme kuvvetinin ( $F_c$ ) modellenmesini amaçlamışlardır. Bu amaçla, Taguchi  $L_{18}$  deney tasarımına göre iki farklı kesici takım, üç farklı kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği seçilerek CNC torna tezgâhında kesme deneyleri yapmışlardır. Deneysel verileri kullanarak çoklu regresyon analizi yardımıyla  $F_c$ 'nin matematiksel modelini oluşturmuşlardır. Modelde değişkenler arasında % 91,7'lik yüksek derecede bir ilişki olduğu belirlenmiştir [25].

Rao ve arkadaşları, AISI 1050 çeliğinin KY1615 seramik kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin önemini araştırmışlardır. Deneyler, bu faktörlerin 3 farklı seviye seçilerek Taguchi  $L_{27}$  deney tasarımına göre yapılmıştır. Deneylerden alınan verilere göre yapılan regresyon analizi ile matematiksel bir model geliştirilmiş ve bu modelin % 75 belirlilik katsayısı ile uygun bir model olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca, kesme parametrelerinin önem seviyelerini belirlemek için yapılan ANOVA sonuçlarına göre en önemli faktörün % 49.88 ile ilerleme miktarı olduğu belirlenmiştir [26].

Umbrello ve arkadaşları, AISI 52100 rulman çeliğinin sert tornalanması işleminde oluşacak kalıntı gerilmeleri tahmin etmek ve en uygun kesme koşullarını bulabilmek için yapay sinir ağları (YSA) metodunu kullanarak bir model geliştirmeye çalışmışlardır. Kesici takım türü, kesme hızı ve ilerleme miktarı gibi 8 farklı kesme parametresi kullanılarak yapılan deneyler sonucunda 4 farklı aksenal gerilme ve 4

farklı dairesel gerilme olmak üzere toplam 8 farklı gerilme ölçmüşlerdir. 8 giriş nöronu, 17 ara katman ve 8 çıkış nöronu olacak şekilde tasarlanan YSA modelinin (8-17-8) en az %4, en fazla %16 hata payı ile deneysel verileri desteklediği sonucuna varmışlardır [27].

Ozel ve Nadgir, H13 takım çeliğinin CBN kesici takımla sert tornalanmasında kesme parametrelerinin takım aşınmasına etkilerini araştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme zamanı olarak üç kesme parametresi kullanılarak yapılan deneyler sonucunda itme ve esas kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Yapay sinir ağı modeli için bu değerlerden bazıları eğitim, bazıları da test için ayrılmıştır. Bir gizli katmanlı tasarlanan model incelendiğinde, gerçek değerler ile modelden alınan değerler arasında %15.09'luk bir hata saptanmıştır. Yazarlar, bu hata payının çok düşük olmasa da modelin uygulanabilirliğini gösterdiğini belirtmişlerdir [28].

Umbrello ve arkadaşları, AISI 52100 çeliğinin PCBN kesici takımlarıyla sert tornalanması sırasında, kesme parametrelerinin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları deneylerden faydalanarak YSA yaklaşımı ile bir matematiksel model elde etmişlerdir. Deney verilerinden bazılarını eğitim için ayırmışlar ve kalan verileri ise bu modeli doğrulamak için kullanmışlardır. Üç katmanlı yapılan bu yapay sinir ağı modelinde bütün veriler incelendiğinde gerçek değerler ile modelden elde edilen değerler arasında %4-10 arasında hata saptanmış ve modelin kullanılabilirliği vurgulanmıştır [29].

Senthilkumar ve arkadaşları, tekerlek akslarının farklı tipteki elmas kesici uçlarla sert tornalanması sırasında kesme parametrelerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Taguchi  $L_{18}$  deney tasarımına göre yapılan deney sonuçlarından bir YSA modeli geliştirmişlerdir. Sonuçların 12 tanesi eğitim için alınmış, geri kalan 6 tanesi modelin doğruluğunu test etmek için ayrılmıştır. Her bir katmanı 15 nöron olmak üzere iki gizli katmanlı tasarlanan sinir ağı modelinde, gerçek değerler ile modelden elde edilen değerler arasında belirlilik katsayısı ( $R^2$ ), hem aşınma hem de yüzey pürüzlülüğü için % 99 olarak bulunmuştur. Modeldeki maksimum hata payı, aşınma ve yüzey pürüzlülüğü için sırasıyla % 22,24

ve % 2.69 olarak bulunmuştur. Tasarlanan modelin aşınma için çok verimli olmadığı, fakat yüzey pürüzlülüğü için kullanılabilir olduğu belirtilmiştir [30].

Wang ve arkadaşları, H13 çeliğinin CBN kesici takımlarla sert tornalanması sırasında, kesme parametrelerinin takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Dört farklı kesme parametresi kullanılarak yapılan deneyler temel alınmış ve bir gizli katmanlı bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Modelden elde edilen veriler ile gerçek değerler kıyaslandığında maksimum % 12.81lik bir hatanın olduğu ve modelin uygulanabilirliği açısından yeterli olduğunu vurgulamışlardır [31].

### **2.3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Ucun ve arkadaşları, çok kaplamalı kesici takımla tornalama işleminde deneysel olarak tespit edilemeyen ya da tespit edilmesi çok zor olan bazı verileri (takım gerilmeleri, takımdaki sıcaklık dağılımı vb.) sonlu elemanlar yöntemiyle modellemeyi amaçlamışlardır. AISI 4340 çeliği kullanılarak yapılan deneylerde beş farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme miktarı seçilmiştir. Deneyler sonucunda, kesme hızının artmasıyla takım yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin azaldığı, fakat ilerleme miktarının artmasıyla bu gerilmelerin arttığı sonucuna varmışlardır. DEFORM 2D yazılımı kullanılarak yapılan sonlu elemanlar analizinde, benzer sonuçlarla karşılaşmışlardır. Deneysel veriler ile sonlu elemanlar analizi arasında yaklaşık % 10'luk bir hata olduğunu ve dolayısıyla oluşturulan modelin kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir [32].

Yan ve arkadaşları, AISI H13 kalıp çeliğinin sert tornalanmasında gerinim, gerinim hızı ve sıcaklık faktörlerinin akma gerilmelerini nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Sert tornalama sırasında oluşan akma gerilmelerinin mekanik davranışlarını belirlemenin zor olduğunu, bu yüzden sonlu elemanlar yöntemi ile bu durumu çözebileceklerini belirtmişlerdir. DEFORM 2D yazılımı kullanılarak yapılan sonlu elemanlar analizinden alınan veriler ile deney verilerinin yüksek oranda uyuşmasının bu modelin geçerliliğini gösterdiğini vurgulamışlardır [33].

Umbrello ve arkadaşları, AISI H13 takım çeliğinin sert tornalanmasının sayısal simülasyonu için sertliğe bağlı akma gerilmelerini incelemişlerdir. Malzeme sertliği, kesme hızı ve kesme derinliği gibi kesme parametreleri kullanılarak yapılan deneyler sonucunda kesme hızının artmasıyla takım üzerinde oluşan gerilmelerin azaldığı, fakat malzemenin sertliğinin artmasıyla gerilmelerin arttığı sonucuna varmışlardır. DEFORM yazılımı kullanılarak yapılan sonlu elemanlar analizi ile deneylerden elde edilen veriler karşılaştırıldığında, sonuçların çok yakın olduğunu fark etmişlerdir. Buradan, sonlu elemanlar modelinin kullanılabilirliğinin çok yüksek olduğunu vurgulamışlardır [34].

Kurt, Inconel 718 malzemesinin seramik kesici takımlarla işlenmesinde kesici takımda oluşan gerilmeleri YSA yöntemi kullanılarak modellemiştir. Yapılan deneylerde kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği parametrelerinin farklı seviyeleri kullanılmış ve kesici takım üzerinde oluşan kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Bu kesme kuvvetlerinin kullanılarak ANSYS yazılımı yardımıyla takım üzerindeki gerilmeler belirlenmiştir. Son olarak, YSA ile hem kesme kuvvetlerinin hem de takım gerilmelerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Kurt, deneylerinde ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin artmasıyla kesme kuvveti ve gerilmelerin arttığını, fakat kesme hızının fazla bir etkisinin olmadığını saptamıştır. YSA modelleriyle hesaplanan tahmini sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında çok küçük hata paylarının olduğunu tespit etmiş ve bu modellerin kabul edilebilirliğinin yüksek olduğunu vurgulamıştır [35].

Karpat ve Özel, H13 takım çeliğinin PCBN kesici takım ile sert tornalanmasında kesici kenar geometrisi, ilerleme miktarı ve kesme hızının takım aşınması ve kuvvetler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İki farklı kesici kenar geometrisi, üç farklı ilerleme ve üç farklı kesme hızı kullanılarak yapılan deneyler yardımıyla DEFORM 3D yazılımı kullanılarak üç boyutlu sonlu elemanlar modeli yapılmıştır. Deneyler sonucunda, pahlı kesici kenar geometrisine sahip takımda bilenmiş geometriye göre daha fazla gerilme ve takım aşınması olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak, üç boyutlu sonlu elemanlar modeline dayalı bulunan sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine çok yakın değerlerde olduğu saptanmıştır [36].

Rech ve arkadaşları, sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin CBN kesici takımlarla sert yüzey işlemede kalıntı gerilmeleri modelleme üzerine çalışmışlardır. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği faktörlerinin farklı seviyeleri kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde kesme derinliğinin gerilmeler üzerinde en büyük etken olduğu ve kesme derinliğinin artması halinde gerilmelerin de arttığından bahsedilmiştir. SYSTUS yazılımı kullanılarak yapılan üç boyutlu sonlu elemanlar modelinin deney sonuçlarını yansıttığı ve kullanılabilirliği gözlemlenmiştir [37].

Özel, AISI 4340 çeliğinin PCBN kesici takım ile sert tornalanmasında kesici takım geometrisinin kuvvet, gerilme ve takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmış ve daha sonra üç boyutlu sonlu elemanlar analizi yardımıyla bir model oluşturmuştur. Deneyler sonucunda, tek tip kesici takım yerine değişken kenarlı kesici takım kullanmanın daha iyi olduğu gözlenmiştir. Değişken kenarlı kesici takım hem daha uzun takım ömrü, hem de daha az güç harcanmasını sağlamaktadır. Son olarak, DEFORM 3D yazılımı kullanılarak tasarlanan modelle deneylerden elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve modelin geçerliliği vurgulanmıştır [38].

Gök ve arkadaşları, AISI 1006 çeliğinin tornalama sürecinde kesici takım uç yarıçapının kesme sıcaklığı ve kesme kuvveti üzerindeki etkisini numerik olarak araştırmışlardır. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak DEFORM yazılımıyla analizler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre takım uç yarıçapının artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, takım uç yarıçapının artmasıyla takım-talaş temas yüzeyi, dolayısıyla ara yüzeydeki sürtünme artarak takım üzerindeki kuvvetlerin artmasına neden olduğunu vurgulamışlardır [39].

Kurt ve Şeker, Al 2007 alüminyum alaşımının dik kesme işleminde kullanılan 0.1, 0.2 ve 0.4 mm paso derinliğinin normal, kayma ve von Mises gerilmeleri üzerindeki etkilerini ANSYS yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve derinliğe bağlı olarak kesme kenarındaki gerilmelerin değişimini incelemişlerdir. Analiz sonucunda, bütün paso derinlikleri için maksimum von Mises gerilmesinin yaklaşık olarak yuvarlatılmış kenarın orta noktasında gerçekleştiği görülmektedir. Esas kesme kuvvetinin radyal kuvvetten büyük olması sebebiyle, Y-ekseni doğrultusundaki

normal gerilmelerin, X-ekseni doğrultusundaki normal gerilmelerden daha büyük olduğu gözlenmiştir [40].

Literatür genel olarak değerlendirildiğinde; talaşlı imalat işlemlerinde oluşan kesme kuvvetlerinin ölçülmesi ve modellenmesi üzerine birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Ayrıca, farklı malzemelerin değişik kesme şartları altında sonlu elemanlar yöntemi esaslı nümerik analiz ve talaş kaldırma simülasyonlarının gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda, kesme kuvvetleri, takım aşınması, takım gerilmeleri, kesme sıcaklıkları vb. işleme çıktıları analiz edilmiştir. Fakat özellikle sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde oluşan kesme kuvvetleri, kesici takım üzerinde meydana gelen gerilmeler ve bunların matematiksel modelleri ile ilgili yeterli çalışmanın olmadığı belirlenmiştir.

## BÖLÜM 3

### TALAŞLI İMALAT YÖNTEMLERİ

#### 3.1. GİRİŞ

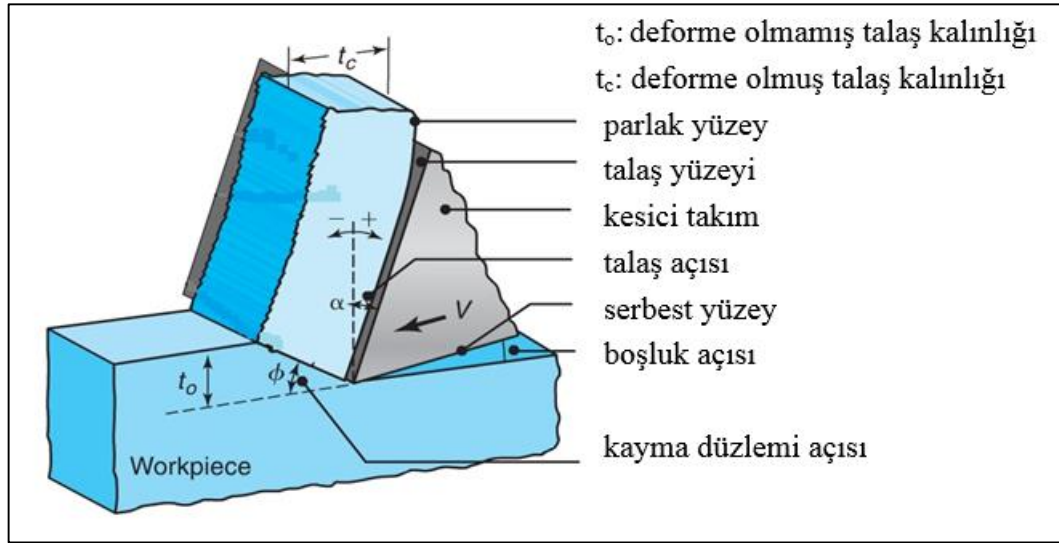
Talaşlı imalat, iş parçası üzerinde istenmeyen kısmın talaş biçiminde atılması yöntemidir. Eğer malzeme metal ise, bu yöneme metal kesme ya da talaş kaldırma işlemi denir. Birçok ülke metal kesme işlemine çok yüksek miktarlarda maddi yatırım yapmaktadır. Çünkü imal edilen ürünlerin çok büyük bir kısmı son şeklini alması için talaş kaldırma işlemine tabi tutulmaktadır. Daha iyi kalite ve daha düşük yüzey pürüzlülükleri için bu işlemin uygulanması gerekmektedir. Bundan dolayı, talaşlı imalat imal usulleri arasında şüphesiz en önemli yöntemdir. Talaş kaldırma yöntemleri; tornalama, frezeleme, delme, testere ile kesme, broşlama, planyalama ve taşlama olmak üzere temelde yediye ayrılır. Bunlar arasında en yaygın kullanılan yöntem tornalama ve frezelemedir [1].

Sertleştirilmiş malzemelerin tornalanması-düşük kesme derinliklerinde 45 HRC'den daha fazla sertliğe sahip malzemelerin tornalanması-bu yöntemlerden birisi olup, 1980'li yıllardan beri oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir [41]. Bu yöntem, düşük üretim maliyeti, kısa üretim zamanı, yüksek miktarda talaş kaldırma kapasitesi, işlenmiş parçalarda oluşan basma tipinde kalıcı gerilmelere bağlı yüksek yorulma dayanımı ve kesme sıvısının kullanımına çoğunlukla ihtiyaç duyulmaması gibi avantajlara sahiptir. Bu faydalarından dolayı; rulmanların, hareket ileten millerin, aksların, kalıp elemanlarının ve çeşitli motor parçalarının imalatında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [18].

### 3.2. METAL KESME MEKANIĞI

Metal kesme işlemi en karmaşık imalat yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Temel mekaniği diğer tüm metal kesme işlemleriyle aynı olmasına rağmen, her bir işlem birçok geometrik faktör ve malzeme özelliklerinden kaynaklanan karmaşıklık yüzünden farklı kabul edilir [42]. Talaşlı imalat işlemi gerçekte yeterince karmaşık ve üç boyutlu olmasından dolayı, metal kesme mekaniğinin tanımlanmasında Şekil 3.1’de görüldüğü üzere genellikle iki boyutlu ortogonal (dik) kesme modeli kullanılmaktadır [43].

Dik kesme işleminde, talaş kaldırmanın gerçekleşebilmesi için kesici takımla iş parçası arasında bağıl bir hareketin olması gerekmektedir. Bu modele göre, iş parçasının kayma gerilmesi değerinin aşılmasıyla ve iş parçasının kesici takımı zorlamasıyla kayma düzleminde talaş oluşumu gerçekleşmektedir.

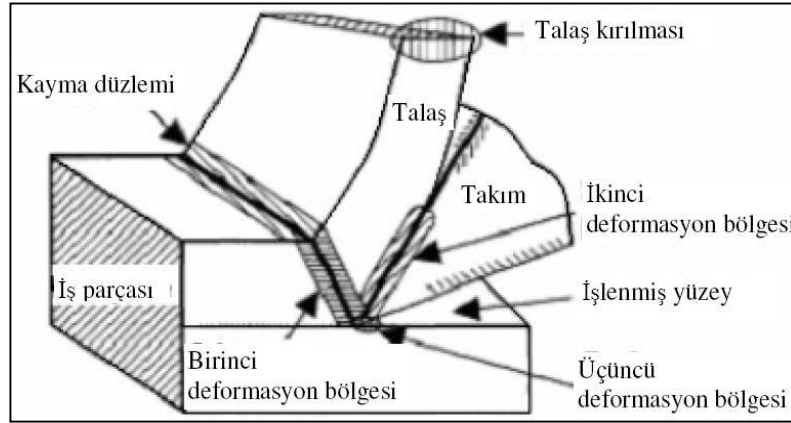


Şekil 3.1. Dik kesme modeli [2].

Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir süreç olup, gerçekte ince bir bölgede gerçekleşir. Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir. Şekil 3.2’de dik kesme işlemi sırasında oluşan plastik deformasyon bölgeleri gösterilmiştir. Birinci deformasyon bölgesi, iş parçasının kesici takım önünde hareketiyle oluşan ve



kayma düzleminde meydana gelen bölgedir. İkinci deformasyon bölgesi, sürtünme kuvveti ve takım-talaş teması boyunca meydana gelen basınçtan kaynaklanan takım-talaş ara yüzeyindeki bölgedir. Birinci deformasyon bölgesinde oluşan talaş kesici takımın talaş yüzeyinden geçerken kayma veya yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır. İşleme sürecinin anlaşılmasında ikinci deformasyon bölgesinin önemi büyüktür. Bu bölgenin alanı gerilme, gerinim ve sıcaklıktan çok fazla etkilenir. Bundan dolayı, maksimum kayma gerilmesi, maksimum kayma gerinim oranı ve talaştaki sıcaklığın en yüksek olduğu yer ikinci deformasyon bölgesidir. Üçüncü deformasyon bölgesi ise, işlenen yüzeye kesici takım yan yüzeyinin teması sonucunda oluşan sürtünmenin etkisiyle meydana gelen bölgedir.

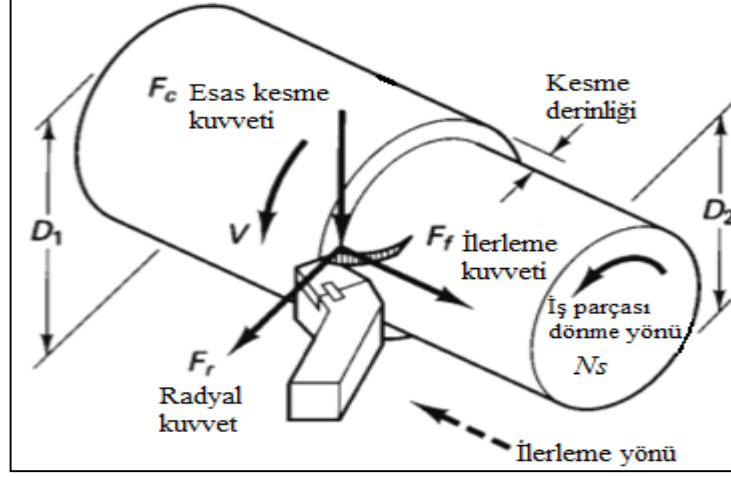


Şekil 3.2. Plastik deformasyon bölgeleri [44].

### 3.2.1. Kesme Kuvvetleri

Kesici takımların, takım tezgâhlarının ve bağlama kalıplarının tasarımında kullanılan ve talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri, işlenen yüzeyin kalitesi, iş parçasının boyutları ve takım ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [45]. Tornalama bir eğik kesme işlemi olup, bu yöntemle talaş kaldırma sırasında oluşan kuvvetin  $F_c$ ,  $F_f$  ve  $F_r$  olmak üzere üç farklı kesme kuvveti bileşeni bulunmaktadır. Bunlardan  $F_c$  esas kesme kuvveti olarak adlandırılır ve kesme hızı vektörü yönünde etki etmektedir. İşlem sırasında harcanan gücün yaklaşık % 99'unu  $F_c$  meydana getirmektedir ve en büyük kuvvettir.  $F_f$  ilerleme kuvveti olup, kesici takımın ilerlemesi yönündedir ve  $F_c$ 'nin yaklaşık % 50'si kadardır. Son olarak,  $F_r$  ise radyal

kuvvet olarak bilinmekte olup, işlenen yüzeye dik etki etmektedir ve  $F_c$ 'nin yaklaşık % 25'i kadardır.



Şekil 3.3. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [1].

Bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile bileşke kuvvet ( $F_R$ ) elde edilmektedir.

$$F_R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (3.1)$$

Kesme kuvvetleri; kesme derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızı gibi kesme parametrelerinden küçük veya büyük oranda fakat doğrudan etkilenmektedir. Ayrıca kesme kuvvetleri, üretilen parçanın kalitesini, kesici takımın aşınmasını ve üretim maliyetini de doğrudan etkilemektedir. Kesme hızı, ilerleme miktarı gibi kesme parametreleri takım tezgâhının gücünü belirlemekte ve dolayısıyla tezgâh tasarımında büyük önem arz etmektedir [46].

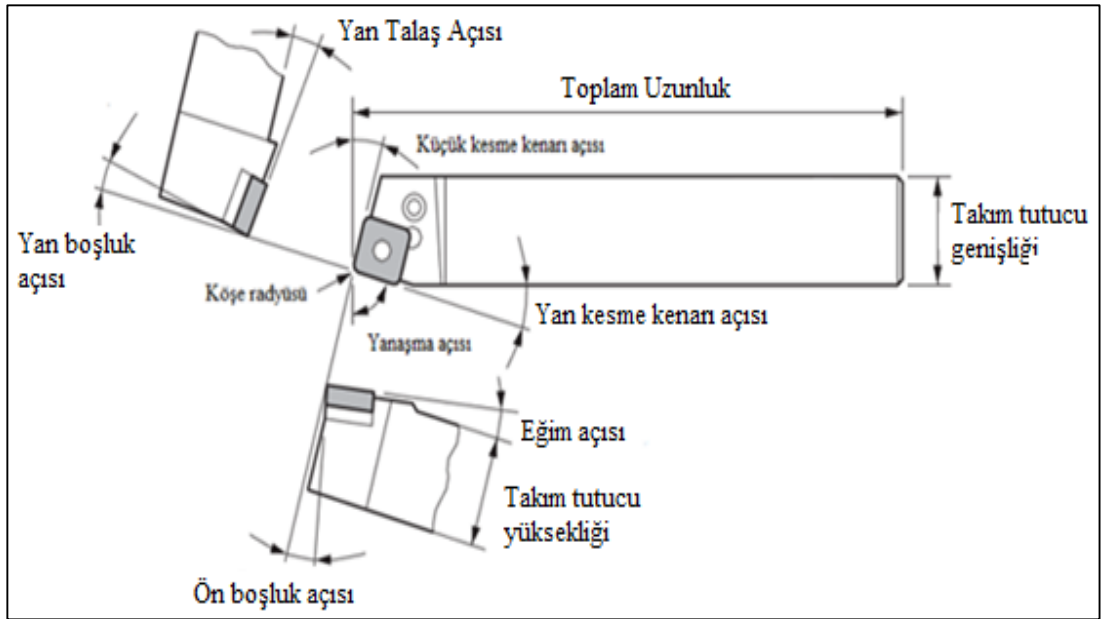
Yıllardır bu konu üzerinde çalışan araştırmacılar hala ARGE çalışmalarına devam etmektedirler. Çünkü kesme kuvvetlerinin düzgün bir şekilde ölçülmesi, devamında üretilen makinelerin ve parçalarının daha uzun ömürlü, daha emniyetli ve daha kaliteli olmasına imkân sağlamaktadır. Bu nedenle, kesme kuvvetlerini belirlemek için her ne kadar matematiksel modeller geliştirilmiş olsa da, dinamometreden alınan ölçümler gerçeğe en yakın ölçümlerdir [3].

### 3.2.2. Kesici Takım

#### 3.2.2.1. Kesici Takım Geometrisi

Günümüz teknolojisiyle kesici takım geometrisinde modern tasarımlar çok farklı boyutlara ulaşmıştır ve kesici uç geometrileri devamlı değişiklik göstermiştir. Çünkü tasarımlar genel olarak temel ihtiyaca göre yapılmaktadır. Bu tasarımlar kesici uç üreten firmaların Ar-Ge bölümlerinde farklı kesme değerlerinde farklı malzemelerde uygulanarak, yeni tasarımların daha sağlıklı bir şekilde ortaya çıkarılmasına olanak tanır. Kesici uç geometrisindeki temel kriterler, modern tasarımlar, talaş kırıcılar ve mikro geometriler sektörde çok önemli bir role sahiptir.

Kesici takımlar tek noktadan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Talaşlı imalat işlemlerinin hepsinde talaş oluşum mekanizması temelde aynıdır. Tek noktadan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımların ikisine de uygulanan kurallar aynıdır. Freze ve delme işlemlerinde genellikle çok noktadan kesme işlemi yapan takımlar kullanılsa da, tornalama işleminde tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar (Şekil 3.3) kullanılır [47].



Şekil 3.4. Kesici takım geometrisi [48].

### 3.2.2.2. Kesici Takım Malzemeleri

Özel uygulamalar için kesici takım malzemesinin seçimi, işleme operasyonlarının en önemli faktörleri arasındadır. Bu bölüm bütün önemli kesici takım malzemelerinin gerekli özelliklerini ve performans karakteristiklerini açıklamaktadır. Fakat karmaşık yapıları yüzünden, özel uygulamalar için kullanılan kesici takım malzemelerinin doğru seçimine tam olarak karar verilememektedir. Sonuç olarak, yıllardır endüstride kataloglar ve öneriler sunulmaktadır.

Talaşlı imalat sırasında yüksek gerilmeler ve sıcaklık nedeniyle kesici takımların aktif bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- *Yüksek sıcak sertlik*, kesici takımın işleme operasyonu sırasında oluşan yüksek sıcaklıkta herhangi bir değişime maruz kalmamasıdır.
- *Aşınmaya karşı direnç*, kabul edilebilir takım ömrü elde etmek için gereklidir.
- *Yüksek tokluk*; kesici takım üzerinde oluşan çarpma kuvvetleri ile takımda herhangi bir değişikliğin olmamasıdır.
- *Isıl şok direnci*, sıcaklığın bir anda azalması ya da artmasıyla kesici takımda herhangi bir değişiklik gerçekleşmemesidir.
- *Kimyasal kararlılık*, iş parçası malzemesinin kesici takım ile herhangi bir kimyasal bağ oluşturmamasıdır [2].

Günümüz imalat sektöründe endüstriyel anlamda talaşlı imalat yöntemlerinde kullanılan kesici takım malzemeleri aşağıda verilmiştir.

### Yüksek hız çeliği

Özellikle seri üretimde modern sanayi üretimi için, talaşlı imalat en önemli şekillendirme işleminden birisidir. Bu amaç için kullanılan hemen hemen tüm kesici takımlar yüksek hız çeliği (HSS)'nden yapılır. Son zamanlarda, yüksek hız çeliği kullanımı ekstrüzyon, kalıplama ve delme gibi talaşsız şekillendirme işlemleri için büyük bir önem kazanmıştır.

Yüksek hız çeliği kesici takımlar, sementit karbür ve seramik gibi daha sert kesici takımlardan daha iyi tokluk özellikleri sergilemektedir. Taşlamayla istenilen geometriye kolayca getirilebildikleri için, imalatçılar tarafından tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takım olarak kullanılırlar. Yüksek hız çeliği takımlar, özellikle matkaplar, kesme performanslarının artırılması için TiN ile kaplanırlar [49,50].

### Sementit karbür

Sert metal olarak bilinen sementit karbürler toz metalürjisi yöntemleriyle üretilen oldukça sert ve aşınmaya dirençli malzemelerdir. Bu malzemeler şekillendirme ve talaş kaldırma gibi işlemler için çok uygundur. Sementit karbürler karbonun matris yapısı içerisinde geçiş metalleriyle oluşturulmuş bileşiklerdir. Sementit karbür yapısı içerisinde Co, Fe ve Ni gibi çeşitli elementler bağlayıcı olarak bulunurlar. Sementit karbürlerin özelliklerini belirleyen ana faktörler tane boyutu, matrisin hacimsel fraksiyonu, gözenek yapısı, matris fazı kompozisyonu ve iç gerilmelerdir.

Çelik ve WC-Co arasındaki güçlü kimyasal reaksiyondan dolayı takım-talaş ara yüzeyinde yapışma ve difüzyon vasıtasıyla özellikle çeliklerin işlenmesi esnasında hızlı krater aşınması oluşur. Bunun için, WC-Co sementit karbür kesici takımlara TiC ve TaC ilave edilerek krater aşınma direnci önemli derecede iyileştirilmiştir [50].

### Kaplamalı sementit karbür

Kaplamalı sementit karbür, günümüzde tüm kesici takım uçlarının % 80-90'ını temsil etmektedir. Bir takım malzemesi olarak bunun başarısı, eşsiz aşınma direnci ve tokluk kombinasyonuna ve karmaşık şekillerde biçimlenebilme yeteneğine bağlıdır.

Kaplamalı sementit karbür, sementit karbürü bir kaplama ile birleştirir. Birlikte, uygulamasına göre özelleştirilmiş bir kalite oluştururlar.

Sementit karbürlerin aşınmaya dirençli TiC, TiN ve/veya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi malzemelerle kaplanması kesici takım alanındaki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilir. Kimyasal veya fiziksel buhar biriktirme (CVD/PVD) yöntemleriyle sementit karbür altlık üzerine birkaç mikron kalınlığında tek veya çoklu katman olarak kaplanan bu malzemeler, sementit karbür kesici takımın performansını önemli ölçüde artırır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, kesici takıma oksidasyon ve korozyon direnci, yüksek sıcaklık kararlılığı, krater ve aşınma direnci sağlarken, TiC sertlik ve tokluk sağlamaktadır. En dıştaki kaplama olan TiN ise kesici takıma kimyasal kararlılık ve düşük sürtünme katsayısı gibi özellikler katmaktadır [51].

### Sermet

Sermet takım malzemesi, titanyum bazlı sert parçacıkları olan bir sementit karbürdür. Sermet ismi seramik ve metal isimlerinin birleştirilmesiyle oluşmuştur. Orijinal olarak sermetler TiC ve Ni'in bileşimleridir. Modern sermetler nikelsizdir ve titanyum karbon nitratın Ti(C,N) çekirdek parçacıklarından ve bir tungsten (W) zengini kobalt bağlayıcının ikinci sert fazından tasarlanarak oluşturulan bir yapıya sahiptir.

Ti(C,N) takım kalitesine aşınma direnci kazandırır; ikinci sert faz, plastik deformasyon direncini artırır ve kobaltın miktarı da tokluğu kontrol eder. Sementit karbürlere kıyasla sermet, kesici takımın aşınma direncini artırmış ve talaşın yapışma

yatkınlığını azaltmıştır. Sermet kesici takımlar, aynı zamanda aşınma direncinin geliştirilmesi için PVD kaplamalı imal edilmektedir [51].

### Seramik

Tüm seramik kesici takımların yüksek kesme hızlarında mükemmel aşınma direnci vardır. Çeşitli uygulamalar için uygun seramik kaliteler mevcuttur. Bunlardan birincisi, oksit seramikler olup alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) esaslıdır ve çatlakları önlemek için zirkonyum dioksit ( $ZrO_2$ ) eklemesi/kaplaması vardır. Bu, kimyasal olarak oldukça istikrarlı olan ama ısıl şok direnci az olan bir malzeme oluşturur. İkinci olarak karışık seramikler, kübik karbürlerin veya karbon nitratların (TiC, Ti(C,N)) eklemesi ile parçacık takviyeli. Bu, tokluğu ve ısıl iletkenliği geliştirir. Üçüncü kalite olarak lif takviyeli seramikler, tokluğu ciddi derecede artırmak ve kesme sıvısı kullanımına imkan vermek için silikon karbür lifleri ( $SiC_w$ ) kullanır. Lif güçlendirmeli seramikler Ni bazlı alaşımların işlenmesi için idealdir. Son olarak silikon nitrat seramikler ( $Si_3N_4$ ) farklı bir seramik malzemeleri grubunu temsil eder. Uzatılmış kristalleri, yüksek tokluk ile kendinden güçlendirmeli bir malzeme oluşturur. Silikon nitrat kaliteleri, gri dökme demirlerde başarılıdır ancak kimyasal kararlılık düşüklüğü diğer iş parçası malzemelerindeki kullanımlarını sınırlar [51].

### Çok sert kesici takımlar

Doğal elmas (tek kristalli), çok kristalli elmas (PCD) ve kübik bor nitrid (CBN) çok sert kesici takımlar grubuna giren malzemelerdir.

Elmas, doğal olarak meydana gelmiş, tartışmasız en sert ve en iyi aşınma dayanımına sahip bir malzemedir. Baskı kuvvetlerine karşı sert maden kesici uçlara göre iki kat dayanıma sahip olup sıcaklıkla çok az genişlemektedir. Bunlardan dolayı, küçük toleranslarda ve çok yüksek yüzey kalitelerinde üretilmesi gereken işler için kullanılmaktadır. Demir içerikli metallerin işlenmesinde, yüksek kesme sıcaklıklarında oluşan kimyasal reaksiyon elmasın orijinal grafit yapısına dönmesine neden olur. Bu sebepten, elmas kesiciler sadece metal olmayan ve demir dışı malzemelerin üretimi ile sınırlandırılmıştır.

PCD kesici takımlar, doğal elmas gibi demir dışı ve metal dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır ve diğer kesici takımlarla karşılaştırıldığında aşınmaya karşı dayanımı mükemmeldir. Bununla birlikte çok uzun süre kesme hassasiyetini koruduğu için özel uygulamalar için çok uygundur. PCD kesici takımlar rastgele yönlenmiş elmas parçacıklarından oluştuğu için çoğu uygulamalarda izotropik davranış sergilerler. Doğal elmastan elde edilebilecek kadar mükemmel bir kesici ucun PCD kesici takımla elde edilmesi mümkün olmamakla birlikte kesici uç deformasyona daha az duyarlıdır.

Kübik bor nitrür (CBN), elmastan sonra en yüksek sertliğe sahip kesici takım malzemesi olarak bilinmektedir. CBN takımlar, dövme çelik, sertleştirilmiş çelik ve dökme demir, yüzeyi sertleştirilmiş parçalar, kobalt ve demir esaslı toz metaller, perlitik dökme demir ve ısıl dirençli alaşımların işlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Kırılgan bir malzeme olmasına karşın seramiğe göre daha toktur. Mükemmel aşınma direnci, iyi ısıl iletkenliği, düşük sürtünme ve ısıl genleşme katsayıları diğer özellikleridir [50].

### **3.2.2.3. Kesici Takım Aşınması**

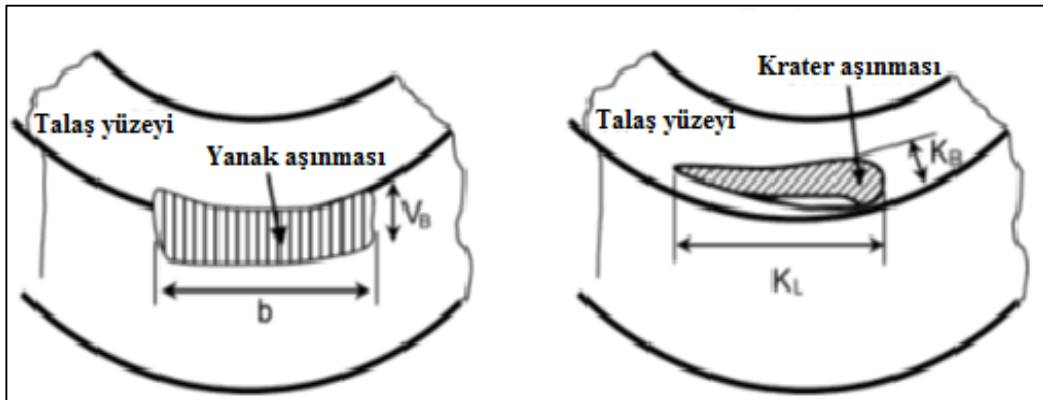
Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımlar bir miktar da olsa aşınırlar ve bu aşınma takımların ömürlerini tamamlayıncaya kadar devam eder. Kesici takımın ömrü dakika cinsinden ifade edilir. Günümüzde kesici takım ömürleri genellikle 15 dakikadan azdır. Fakat bazı durumlarda biraz daha uzun takım ömürlerinden bahsedilebilir. Takım ömrü belirli bir kritere ulaşmak için veya kesici kenarın iş parçasına ait uygun parametrelerini belirleyen sınırlar içerisinde kalması koşuluyla işlenmesi için gerekli olan kesme zamanıdır. Takım ömrü, takım malzemesi, iş malzemesi, takımın şekli, kesme hızı ve kesme şartlarına göre değişiklik göstermektedir [52]. Her malzemenin avantajlarını ve sınırlarını belirlemek için kesici takımların maruz kaldığı farklı aşınma biçimleri şu şekilde sıralanabilir:

- Yan yüzey aşınması
- Krater aşınması



- Talaş yığılması (BUE)
- Çentik aşınması
- Plastik deformasyon
- Termal çatlaklar
- Kenar tanecik kopması/kırılması [51].

Sert malzemelerin işlenmesinde; takım geometrisi, kesme şartları, kesici takım kalitesi ve kompozisyonu, iş parçası malzemesinin sertliği takım aşınma mekanizmalarını etkileyen önemli faktörlerdir. Temel aşınma mekanizmaları; sürtünme, yapışma, yorulma, difüzyon ve kimyasal reaksiyon olarak bilinmektedir. Kesme sırasında; yukarıda bahsedilen faktörlere bağlı olarak meydana gelen yüksek sıcaklık, takım gerilmeleri ve kimyasal etkileşimlerin sonucunda bu aşınma mekanizmalarından birisi veya birkaçı takım aşınmasına neden olmaktadır [53]. Sert tornalama yöntemi, küçük kesme derinliklerinde yapılması nedeniyle finiş tornalama işlemi olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntemde, kesici takımda aşınmalar genellikle takımın burun bölgesinde yan yüzey aşınması ve krater aşınması biçiminde meydana gelmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Takım ucu krater ve yan yüzey aşınması ( $K_L$ : Krater uzunluğu,  $K_B$ : Krater genişliği,  $V_B$ : Yanak aşınma genişliği,  $b$ : Yanak aşınma uzunluğu).

Kesme kuvvetleri ile kesici takım arasındaki etkileşimler kesici takım aşınması veya kırılması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple kesici takımda oluşan gerilme ve şekil değiştirmelerin dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Kesici uçta meydana gelen aşınma biçimindeki hasarlar, ara yüzeydeki sürtünme kuvvetlerinin artmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, takım-talaş arasındaki sürtünme katsayısı işlenen malzeme ile doğrudan ilişkilidir. Takım ile talaş arasındaki sürtünme katsayısı kesici yüzeyde ve yüzey altında meydana gelen gerilme dağılımını etkilemektedir. Ayrıca, kesici takımın yanal geometrisi negatif talaş açısına neden olarak radyal/pasif kuvvetin artmasına sebep olmaktadır. Bu oluşumların sonucunda, takım talaş yüzeyinde krater aşınmasının oluşması kaçınılmazdır.

### **3.3. SERT İŞLEME**

Sert işleme, 45-70 HRC sertliğinde bir iş parçasının kesici kenarları geometrik olarak tanımlanan kesici uçlar ile işleme süreci olarak tanımlanmaktadır. Sert işleme, her zaman takım ömrünü ve yüksek hassasiyetli işlemeyi kolaylaştıran kesici takım tiplerinin seçimine yardımcı olmaktadır. Sert işleme, iş parçasının ısıl işleminden sonra uygulanan son taşlama işlemi gibi geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında birçok avantaj sunmaktadır. Bu teknoloji ayrıca sürdürülebilir imalata da büyük katkı sağlamaktadır [55]. Sert işleme yöntemleri ile aşağıdaki avantajlar elde edilebilir:

- Karmaşık parça geometrilerine kolay uyum sağlama,
- İş parçası türleri arasında hızlı değişim imkanı,
- Tek seferde birçok işlem yapabilme,
- Yüksek talaş kaldırma oranı,
- Düşük maliyetli takım tezgâhı,
- Çoğu durumda kesme sıvısının kullanılmaması [56].

Sert işleme pratik olarak herhangi bir işleme operasyonunda kullanılmasına rağmen, sert tornalama, sert delme ve sert frezeleme en yaygın kullanılan talaş kaldırma yöntemleridir.

### **3.3.1. Sert Tornalama**

İmalat sektöründe, sertleştirilmiş malzemeler yüksek dayanımlarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesi optimum kesme koşulları ve kesici takım açısından popüler bir araştırma konusudur. Sert tornalama işlemi, düşük kesme derinliklerinde 45 HRC'den daha sert malzemelerin tornalanması olarak tanımlanmaktadır. Sert tornalama işleminin taşlama işlemine göre parça üzerinden daha hızlı talaş kaldırma ve işleme süresinin daha kısa olması gibi bazı avantajları vardır. Sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesinde, tornalama işlemi oldukça yaygındır. Geleneksel kesici takımlar kesme boyunca oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı hızlı bir şekilde aşınmaktadırlar. Bu yüzden takım tipi göz önüne alınarak uygun bir kesme koşulları tanımlanmalıdır [41].

Çalışmaları esnasında maruz kaldığı yükler sonucu dayanımı ve sertliği yüksek olması gereken çelik malzemeler geleneksel olarak yumuşak halde işlenerek son şekline yakın geometriye getirilirler. Taşlama işlemiyle son şekillerine getirilmeden önce sertleştirme ve temperleme ısı işlemlerine tabi tutulurlar. Son geometrileri ve gerekli yüzey topografyaları taşlama ve gerektiğinde süper bitirme işlemleriyle sağlanmaktadır [57]. Son 25 yılda yapılan bilimsel araştırmalar ve teknolojik gelişmeler sonucu sertleştirilmiş çelikleri doğrudan tornalama ve frezeleme yöntemleriyle işleyebilecek yüksek sertlikteki seramik veya CBN kesici takımların geliştirilmesi bu malzemeleri taşlama işlemine gerek kalmadan şekillendirmeyi mümkün hale getirmiştir. Bu kesici takımlar kullanılarak sertleştirilmiş çelikleri doğrudan işlemenin taşlama ile şekillendirmeye göre çok sayıda avantajları mevcuttur. Düşük üretim maliyeti, kısa üretim zamanı, yüksek miktarda talaş kaldırma kapasitesi, farklı geometrilerin tek bir kesici takımla oluşturulabilmesi, kesme sıvısının kullanımına çoğunlukla ihtiyaç olmaması ve yüksek parça kalitesi, üretilen parçaların yorulma dayanımlarının yüksek olması gibi birçok avantajdan bahsetmek mümkündür. Sert tornalama işlemi, üretilen parça sayısının az olması

durumunda daha da cazip olmaktadır. Bunun en önemli nedenleri ise taşlama işleminde üretime başlamadan önce ayar zamanlarının uzun olması ve özel profilleri oluşturmak için özel taş geometrilerine ihtiyaç duyulmasıdır [1,18,56].

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL TASARIM VE MATEMATİKSEL MODELLEME YÖNTEMLERİ

#### 4.1. DENEY TASARIMI

Deney tasarımı yöntemi 1930'larda Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiş ancak ilk kez, değişkenliğin azaltılması için Taguchi tarafından kullanılmıştır. Taguchi tarafından geliştirilen kalite sistemi 1950'li yıllarda savaş sonrası Japonya'nın telefon sistemi üzerinde yeniden yapılanma sürecinde uygulanmış ve son derece başarılı sonuçlar elde edilmiştir. 1980'lerden beri de ABD ve Avrupa'da, kalitenin daha tasarım aşamasında sağlanması amacıyla Deney tasarımı teknikleri kullanılmaktadır. Deney tasarımı metodu bugün birbirinden farklı alanlarda optimizasyon ve karar verme amacıyla kullanılmaktadır [58].

Deney tasarımının en temel amaçlarından biri deney hatalarını minimuma indirmektir. Deney tasarımı ve planlaması heyecan verici bir şey olmasına rağmen bir o kadar zaman alıcıdır. Deneyin planlaması sırasında bir kontrol listesinin oluşturulması gereklidir. Bir deneyin tasarımında kontrol listesinde oluşturulan adımların hiçbirisi birbirinden bağımsız değildir. Bazen listedeki bir önceki adıma dönülüp gerekirse revize edilebilir ve tekrar uygulamaya geçilir [59].

Deney tasarımı yöntemleri; klasik/geleneksel ve istatistiksel yöntem ile deney tasarımı olmak üzere ikiye ayrılır. Klasik yöntem ile yapılan deneysel çalışmada, deneyin parametreleri niceliksel ise o zaman deneyin seviye skalasının dışındaki bir değer deneye olan etkisi hesaplanabilir. Ancak deney parametresi niteliksel ise parametreye ait seviye skalasının dışındaki bir değeri tahmin etmek mümkün değildir. Geleneksel yöntemler ile yapılan deneysel çalışmalarda parametreler arasındaki etkileşim göz ardı edilmektedir. Aynı zamanda çok zaman harcanmakta ve

daha pahalıya mal olmaktadır. İstatistiksel deney tasarımının amacı minimum zaman, kaynak ve harcama ile maksimum anlamlı verileri toplamaktır. Bundan dolayı deney tasarımı geleneksel yöntemlerden uzak ve araştırmalara yeni bir yaklaşım getirir. Geleneksel deney tasarım yöntemleri yüksek malzeme maliyeti, uzun zaman ve kaynak gerektiren yöntemlerdir. Her bir parametrenin deney üzerindeki etkisini araştırmak için diğer bütün parametreler sabit tutularak her seferinde bir parametrenin denenmesi gerekir. Bu durumda parametrelerin aynı anda 4 ya da 5’den fazla seviyeleri olamaz. Sonuç olarak klasik ya da geleneksel yöntemlerle yapılan deney çalışmalarında eş zamanlı analiz mümkün olamamaktadır. Deney tasarımında klasik yöntemlerin yetersizliği istatistiksel deney tasarım yöntemleri ile giderilmiştir. İstatistiksel deney tasarımında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar; tam faktöriyel, kesirli faktöriyel ve Taguchi yöntemidir [59].

## **4.2. TAGUCHİ YÖNTEMİ**

Taguchi yöntemi, süreç optimizasyonu için etkili ve sistemli bir yöntem sağlayan bir tekniktir. Bu, yüksek kalite sistemlerinin tasarımı için güçlü bir araçtır. Taguchi yaklaşımı sınırlı bir bilgiye sahip kullanıcılar için bile benimsemesi ve uygulaması kolay bir deney tasarım yöntemidir. Bundan dolayı Taguchi, mühendislik ve bilimsel alanda geniş popülerlik kazanmıştır. Bu teknik, çeşitli nedenlere minimal duyarlı, düşük geliştirme ve üretim maliyetleri ile yüksek kaliteli ürünler üretmek için ürün ve süreç koşullarını optimize eden bir mühendislik yöntemidir [60].

Taguchi, tasarım kavramını kalite sağlama aşaması olarak hem ürün tasarımı hem de süreç tasarımı için üç kalite aşaması biçiminde tanımlamıştır. Bunlar; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır [61].

### **4.2.1. Sistem Tasarımı**

Taguchi tasarım kavramının ilk adımı sistem tasarımıdır. Müşterilerin ihtiyaçlarını ve işletmenin kendi yeteneklerini kullanarak bir ilk ürün tasarımı geliştirilir. Bu tasarım performans karakteristiklerinin değerini etkileyen parametre değerlerinin belirlenmesini içerir. Ürün tasarımı aşamasında malzeme, parça, prototip ürün

parametre değerleri seçimi vb., sreğ tasarımı aşamasında üretim ekipmanı ve geğici sreğ faktörleri değerlerinin seçimi söz konusudur [61].

#### **4.2.2. Parametre Tasarımı**

Sreğ yenilemesi ve iyileştirmesinin en önemli adımı parametre tasarımıdır. Bu adımda üretilecek olan ürünün ya da geliştirilecek olan ürünün özelliklerinin en iyi seviyeye getirilebilmesi amacıyla üretimde kullanılan parametrelerin iyileştirilmesi sağlanır. Parametreler için en iyi seviyeler seçilir. Üretim esnasında ürünün kalitesini olumsuz yönde etkileyecek kontrol edilemeyen etkiler belirlenir. Bunlara kontrol edilemeyen parametre adı verilir ve bu parametrelerin etkileri en az seviyeye indirilir. Bu adımda parametreler bloklara ayrılırken Taguchi'nin geliştirmiş olduğu dikey diziler kullanılır. Aynı zamanda sinyal/gürültü oranı (S/N) analizi ile hesaplama yapılabilir. Parametreler belirlendikten sonra Taguchi dikey dizisinden bir dizi seğmek gerekmektedir [62].

#### **4.2.3. Tolerans Tasarımı**

Parametre belirleme ęalıřmaları sonucu istenilen hedefe ulaşılmadığında yapılan ilave ęalıřmalardır. Bu aşamada gözlemlenen değerlerden yararlanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunarak sapsmalar azaltılır [59].

Sistem tasarımı tamamlayıp, sistemi oluşturan elemanların parametrelerinin en uygun değerleri belirlendikten sonra meydana gelen kalite kaybı katlanılacak kalite maliyeti ile birlikte değerlendirilerek, her bir parametre için tolerans elde edilmektedir. Tolerans sınırları daraldıkęa üretim maliyetleri artacağından dolayı ürün de daha maliyetli olarak üretilir. Üretim hattının sürekli kontrol edilmesi, daha dar toleransla ęalıřan teknolojik ağıdan daha pahalı tezghlara ihtiyaç duyulması üretim maliyetlerinde artışa sebep olmaktadır. Aksi takdirde, tolerans sınırları geniřledikęe, ürünün ilgilenilen fonksiyonunun hedef değerden sapsmaları da büyüyecek ve dolayısıyla kalite kayıpları artacaktır. Tolerans tasarım adımında en

ekonomik tolerans belirlenir. Belirlenen bu toleranslar ile hedef değerden kabul edilebilir sapmalara göre ürün maliyeti minimize edilmektedir [3].

Taguchi, varyasyonu azaltmak amacıyla deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirmiştir. Taguchi, uygulamadaki problemleri hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü (S/N) oranı tanımlamıştır. Tolerans tasarımına bağlı olan üç çeşit kalite değişkeni sinyal/gürültü oranlarıyla şu şekilde verilmiştir:

*En büyük en iyi:* Bu tip tolerans çalışmalarında kalite değişkeninin bir üst sınırı yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçü büyüdükçe verimlilik de artacaktır. Bu tür durumlarda Y'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/ gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$S/N \text{ Oranı} = -10 \cdot \log \left[ \sum (1/Y^2)/n \right] \quad (4.1)$$

*En küçük en iyi:* Bu tip toleranslar üretim sürecindeki hurda yüzdesi gibi amaç değerinin sıfır olduğu toleranslardır. Tolerans azaldıkça sistemin verimliliği artacaktır. Bu tür problemlerde, kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanmaktadır:

$$S/N \text{ Oranı} = -10 \cdot \log \left[ \sum Y^2/n \right] \quad (4.2)$$

*Hedef değer en iyi:* Sapmaların iki yönde de oluşabildiği tolerans tipidir. Tolerans tasarımı kalite geliştirme sürecinin bir adımı olmasının yanında aynı zamanda bir kalite değerlendirme faaliyetidir. Bu tür problemlerde, Y için belli bir hedef değer verilmiştir ve sinyal/gürültü oranı şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$S/N \text{ Oranı} = 10 \cdot \log \left[ \sum \bar{Y}^2/S^2 \right] \quad (4.3)$$

Her üç yaklaşımda hedef S/N oranını en yüksek seviyeye çıkarmaktır. Tolerans aralıklarını daralma yöntemiyle üründe gerçekleştirilecek değişkenlik en aza



indirilmek istenir. Buradaki hassas durum ise toleransları azaltmanın maliyeti artırıcı etkisinin olmasıdır [63].

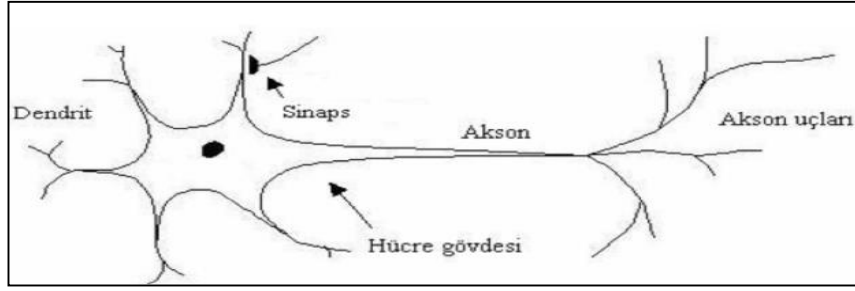
### **4.3. YAPAY SİNİR AĞLARI**

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. En genel anlamda bir YSA insan beynindeki birçok nöronun (sinir hücresinin), ya da yapay olarak basit işlemcilerin birbirlerine değişik etki seviyeleri ile bağlanması sonucu oluşan karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir.

YSA'nın çok farklı problemlerin çözümlenmesinde kolaylıkla kullanılabilmesinin anlaşılmasıyla konuya olan ilgi artmış ve çok farklı alanlarda çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak matematiksel modelleri oluşturulamayan veya matematiksel modelleri çok zor tanımlanabilen problemlerin çözümü için kullanılır. Veri işleme veya işlemci elemanların (nöronların) bir ağ yapısı tanımlayacak şekilde birbirlerine bağlanmaları fikri, beyin hücrelerinin birbirleriyle olan bağlantılarından esinlenerek gerçekleştirilmiştir [65]. İlk yapay sinir ağı modeli 1943 yılında, bir sinir hekimi olan Warren McCulloch ile bir matematikçi olan Walter Pitts tarafından gerçekleştirilmiştir. McCulloch ve Pitts, insan beyninin hesaplama yeteneğinden esinlenerek, elektrik devreleriyle basit bir sinir ağı modellemiştir [65].

#### **4.3.1. Biyolojik Sinir Sistemi ve Yapay Sinir Ağları**

Biyolojik sinir sistemi, bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten bir merkez ve bu merkezin kontrolünde bulunan alıcı ve tepki sinirlerinden oluşur. Alıcı sinirler (reseptör), iç veya dış ortamdan algıladıkları uyarıları, elektriksel sinyallere dönüştürerek beyine iletirler. Tepki sinirleri (efektör) ise, beyinin ürettiği elektriksel sinyalleri çıktı olarak uygun tepkilere dönüştürür [64].



Şekil 4.1. Biyolojik sinir hücresinin şematik yapısı [64].

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sinir hücreleri nöron olarak bilinmektedir. Nöron, sinir sisteminin temel birimidir ve hücre gövdesi (cell body), gövdeye giren sinyal alıcılar (dendrit), gövdeden çıkan sinyal ileticiler (akson) olmak üzere başlıca üç kısımdan oluşur [64].

Dendrit, bir nöronda birden fazla bulunabilir ve içyapıları sinir gövdesi ile aynıdır. Nörona gelen bilgiyi alan kısa uzantılardır. Akson, dendritlerden aldığı bilgiyi diğer hücrelere aktaran uzantılardır. Uzunluğu birkaç mikrondan 1 m’ye kadar değişebilir. Her nöronda bir akson bulunur. Aksonlar, akson kesecikleri denilen ve içlerinde çok miktarda vezikül bulunan birçok yapı ile sonlanırlar. Bu keseciklerde (vezikül) sinaptik geçişte aktif rol alan kimyasal taşıyıcılar (nörotransmitter) bulunur. Aksonlar sahip oldukları örtüye göre miyelinli veya miyelinsiz olmak üzere iki kısma ayrılırlar [64].

YSA’lar, birbirine bağlı doğrusal ve/veya doğrusal olmayan birçok elemandan oluşurlar. Biyolojik sinir sistemi ile yapay sinir sistemi arasındaki benzerlikler Çizelge 4.1’ de verilmiştir [64].

Çizelge 4.1. Biyolojik sinir sistemi ve YSA’nın karakteristiği.

<i>Biyolojik Sinir Sistem</i>	<i>Yapay Sinir Sistemi</i>
Nöron	İşlemci eleman
Dendrit (mesaj algılayıcı)	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer Fonksiyonu
Aksonlar	Yapay nöron çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

### 4.3.2. Yapay Sinir Ağları Modeli Yapısı

Yapay zeka (YZ) uygulamaları, klasik uygulamalardan farklı olarak kesin kurallar doğrultusunda, adım adım işleyen bir algoritmaya sahip değildir. Bu anlamda algoritmik olmayan veya sezgisel metotlar olarak adlandırılırlar. Sezgisel metotlar; deterministik olmayan, mutlak çözüme ulaşmayı hedeflemeyen, kötü veya yanlış da olsa bir karara varmayı, kararsızlık ya da mutlak kararlılığa tercih eden yöntemler olarak tanımlanabilirler. Bu yöntemlerin en önemli avantajı, işlem süresinin kısılması ve çözümsüzlük olasılığının ortadan kalkmasıdır. YZ yöntemlerinin hedefi, insan beyninin, karar verme, akıl yürütme ve düşünme sistemine benzer bir yapıya ulaşmaktır. Bu nedenle de tıp, fizyoloji, psikoloji, davranış bilimleri, biyoloji, dilbilim ve hatta felsefe gibi canlıların davranışlarını açıklamaya çalışan bilimlerin verilerinden yararlanılmakta; modellemeler bu alanlardaki çalışmalardan yola çıkılarak gerçekleştirilmektedir. Klasik algoritmik yöntemlerde karar vermedeki en önemli kıstas, bir soruya verilen yanıtları “doğru” ve “yanlış” olmak üzere iki sınıfa ayırmak, yanlış olanı elemektir. Oysa canlı sistemlerde mutlak doğru veya mutlak yanlışın dışında da seçenekler mevcuttur [65].

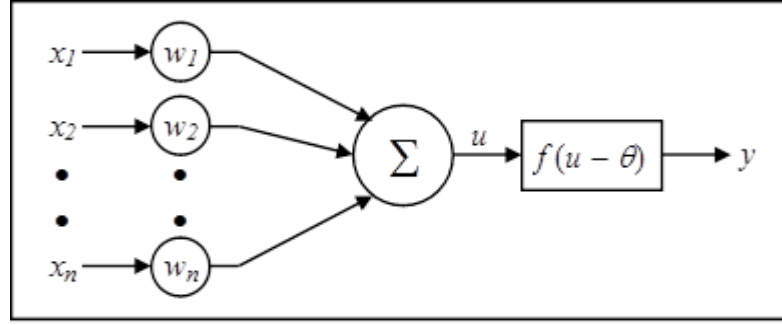
Canlı sistemlerin eleme kriteri daha iyi ve daha kötü olanlar arasında seçim yapma yeteneğinin geliştirilmesine bağlıdır. Nelerin daha iyi veya nelerin daha kötü olduğunu belirlemek, ancak birçok karmaşık veriyi, problemin gerektirdiği doğrultuda, bir arada ve mümkün olduğunca hızlı biçimde harmanlayarak makul bir yargıya varmak yoluyla ulaşılabilecek bir sonuçtur. YZ yöntemleri ile elde edilmek istenen de canlılarınkine benzer esneklikte, hızlı ve mutlak çözüm içeren karar mekanizmalarıdır.

Yapay nöron, YSA'nın temel elemanıdır. Sinyal iletiminde, biyolojik nörondaki kimyasal sürece karşılık, elektriksel potansiyelin toplam değeri iş görür. Bir nöronda üretilen sonuç tek olmasına karşın çok sayıda giriş olabilir. Her bir giriş ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) için bir de ağırlık değeri ( $w_1, w_2, \dots, w_n$ ) verilir. Söz konusu girişlerin ağırlıklı toplamları ( $u$ ), belli bir “0” değerini aştığında nöron aktive olur ve bir  $f(u)$  aktivasyon fonksiyonu üretir. Giriş ve ağırlık değerlerinin negatif olabilmelerine karşın, toplam değer negatif olamaz, bu durumlar için  $u = 0$  sonucu üretilir. Nöronun

grafik gösterimi ise Şekil 4.2’de verilmiş olup, nöronun matematiksel ifadesi şöyle gösterilir:

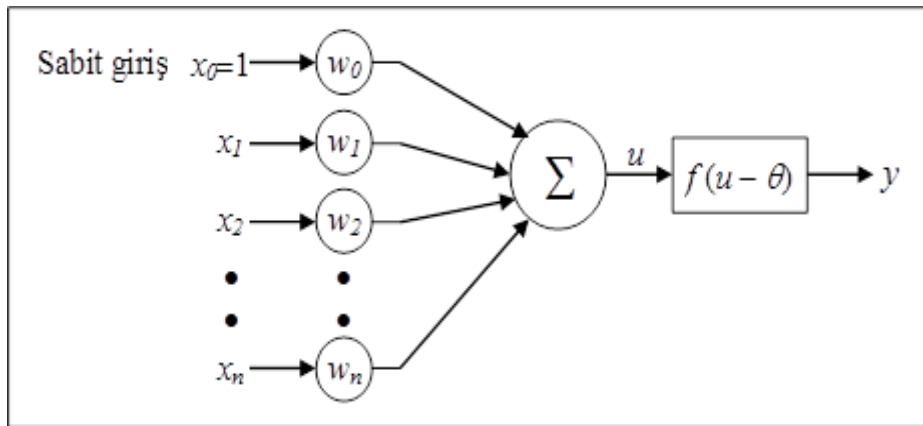
$$u = \sum_{i=1}^p x_i * w_i \quad (4.4)$$

$$y = f(u - \theta) \quad (4.5)$$



Şekil 4.2. Yapay nöronun grafik gösterimi [64].

Bir nöronda giriş ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) ve ağırlık ( $w_1, w_2, \dots, w_n$ ) değerleri reel olabilir. Ancak işlemleri kolaylaştırmak için genellikle giriş değerleri ve aktivasyon fonksiyonları, mantıksal bir karşılığı olacak şekilde hazırlanırlar. Bir tek nöron için sabit değer içeren giriş bulunabilir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Sabit girişlerin YSA modellemesinde gösterimi [65].

### 4.3.3. Transfer Fonksiyonu Çeşitleri

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 [65].

a) Doğrusal fonksiyon

$$F(o) = k \cdot o \quad (4.6)$$

b) Adım fonksiyonu

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

c) Rampa fonksiyonu

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

d) Sigmoid fonksiyonu

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

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

e) Fermi fonksiyonu

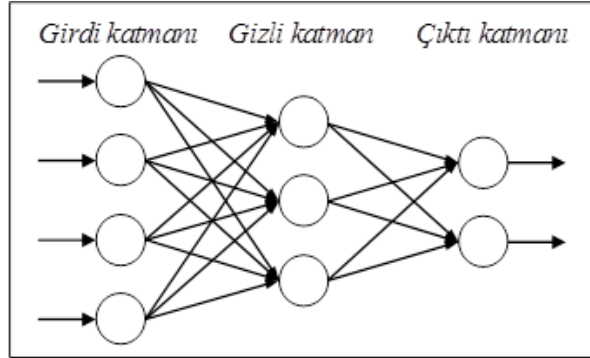
$$F(o) = \frac{1}{1 + e^{-4(\sum_{i=1}^n I_i \cdot w_i - 0.5)}} \quad (4.11)$$

#### 4.3.4. Yapay Sinir Ağları Topolojisi

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

YSA'lar işlem elemanlarının katman yapısına bağlı olarak tek ve çok katmanlı ağlar olmak üzere iki grupta tanımlanırlar. Tek katmanlı ağlar, verilerin ağa sunulduğu girdi katmanını ile çıkışların elde edildiği çıktı katmanından ibarettir ve sadece lineer problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Çok katmanlı ağlar, genel itibariyle birbirine bağlanan; ağın giriş değerlerinin verildiği girdi katmanını, girdi katmanından gelen bilgileri transfer (aktivasyon) fonksiyonuyla işleyerek çıktı katmanına ileten gizli katman ve ağın çıkış değerlerinin elde edildiği çıktı katmanını 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.



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. 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 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) [62-67].

#### 4.4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY), karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak, her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm tekniğidir. Bir anlamda, bilgisayar çözümüne uyarlanarak matris formunda ifade edilen denklemlerin kullanıldığı sayısal bir yöntemdir. SEY'in temeli uçakların

yapısal analizindeki gelişmelere dayanmaktadır. Sonlu elemanlar terimi ilk defa 1960 yılında *Clough* tarafından kullanıldı. 1960'ların ilk yıllarında mühendisler bu yöntemi gerilme analizlerinde, akışkanlar mekaniğinde, ısı transferinde ve diğer alanlarda kullanmışlardır [68].

SEY'in kullanılması ve bilgisayarların sanayiye girmesiyle, bugüne kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen bir çok makina elemanının (motor blokları, pistonlar vb.) kolayca incelenebilmesi, hatta çizim esnasında mukavemet analizlerinin kısa bir sürede yapılarak optimum tasarımın gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Günümüzde bilgisayarların hızla gelişmesi, daha hızlı ve kapasiteli bilgisayarların kullanılıyor olması, bu yöntemin mühendisler ve işletmeciler tarafından kullanımını artırmıştır [68]. Bugün piyasada, sonlu elemanlar yöntemine dayalı mühendislik analizi yapılan programlar arasında ANSYS, NASTRAN, ABAQUS ve COSMOSWORKS yazılımları yer alır.

Temel olarak SEY'de üç ana unsur bulunmaktadır [68]:

*Birincisi*, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan basit alt bölgelere ayrılır.

*İkincisi*, her elemandaki sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların doğrusal kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir.

*Üçüncüsü* ise aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktadaki (düğüm noktaları) değerlerin elde edilmesi problemin çözümünde yeterli olur. Genel olarak bir SEY uygulamasında temel olarak izlenen adımlar şu şekilde sıralanabilir [68]:

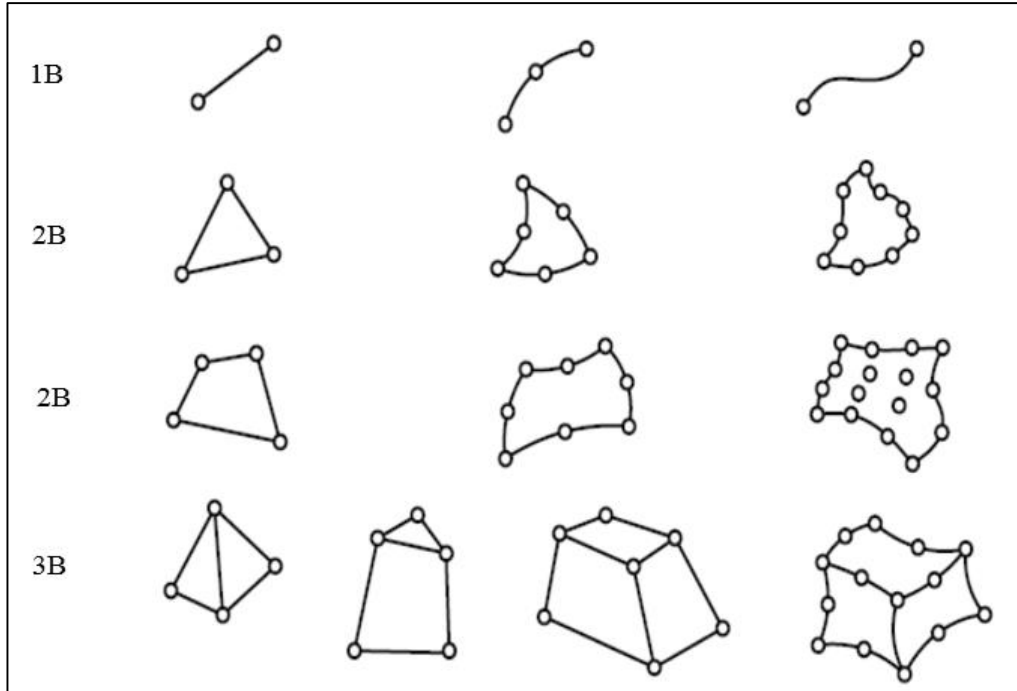
- Cismin sonlu elemanlara bölünmesi,
- İnterpolasyon fonksiyonlarının seçimi,
- Eleman direngenlik/rijitlik matrislerinin oluşturulması,



- Sistem dirençlik/rijitlik matrisinin hesaplanması,
- Sisteme etki eden kuvvetlerin bulunması,
- Sınır şartlarının belirlenmesi,
- Sistem denklemlerinin çözümü.

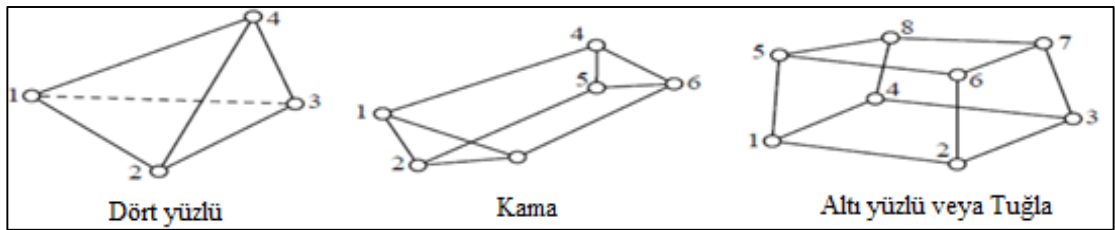
#### 4.4.1. SEY’de Kullanılan Elemanlar

Sonlu elemanlar yöntemine dayalı problemlerin çözümünde ilk adım, eleman tipinin belirlenmesi ve çözüm bölgesinin elemanlara ayrılmasıdır. Çözüm bölgesinin geometrik yapısı belirlenerek, bu geometrik yapıya en uygun elemanlar seçilir. Çözüm sonucunda gerçek çözüme yaklaşıma açısından, seçilen elemanların çözüm bölgesini temsil etme oranı son derece önemlidir. SEY’de kullanılan elemanlar boyutlarına göre temel olarak üç gruba ayrılabilir: *Tek boyutlu elemanlar (1B)*, *iki boyutlu (2B) elemanlar* ve *3B elemanlar* (Şekil 4.5).

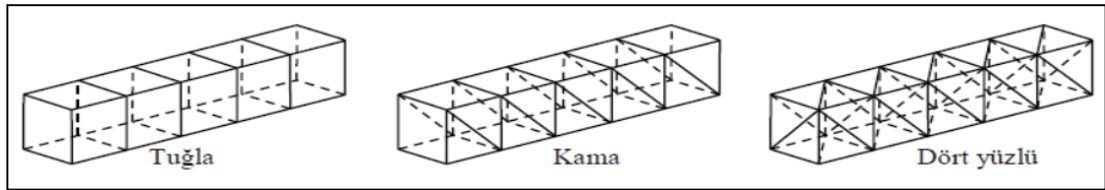


Şekil 4.5. Sonlu eleman analizlerinde kullanılan bazı elemanlar [69].

2B sonlu elemanlarda dörtgen (*quadrilateral*) ve üçgen olmak üzere iki standard geometri vardır. Beş veya altı kenarlı çokgenler gibi diğer bütün geometrik yapılar, standard olmayan veya özel yapılar olarak adlandırılır. 3B sonlu elemanlar ise değişiklik arz etmekte olup; bunların dört yüzlü (*tetrahedron*) (Şekil 4.6a), kama (*wedge*) (Şekil 4.6b) ve altı yüzlü veya tuğla (*hexahedron, brick*) (Şekil 4.6c) olarak adlandırılan üç tane standard geometrik yapısı bulunmaktadır. Bu yapıların her bir köşede 3 yüzey birleşecek şekilde sırasıyla 4, 6 ve 8 köşesi (*düğümü*) vardır. Bu elemanlar, topolojik olarak düzenli ağ oluşturmak için kullanılabilir (Şekil 4.7).

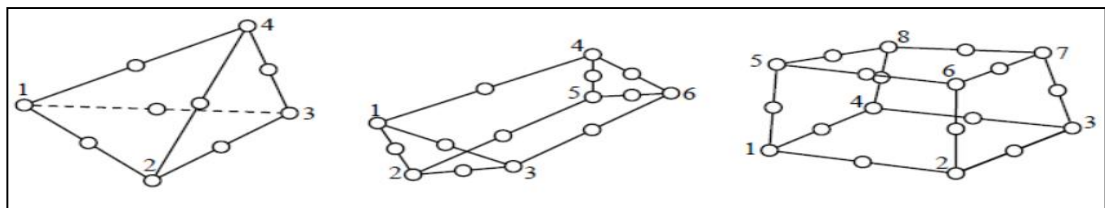


Şekil 4.6. Üç standard katı eleman geometrisi [70].



Şekil 4.7. Dört yüzlü, kama ve altı yüzlü elemanlar kullanarak düzenli 3B ağların yapılması [70].

Standard elemanlarda ilave düğümler de kullanılabilir. Örneğin Şekil 4.8'de gösterildiği gibi; Şekil 4.6'da gösterilen dört yüzlü, kama ve altı yüzlü elemanların kenarlarının orta noktalarında ilave düğümler bulunabilir. Bu ilave düğümler, gerilme analizlerinde daha yaklaşık doğru çözümlere ulaşılmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.8. Standard elemanlarda ilave düğümlerin kullanımı [70].

Sistem, elemanlara bölündükten sonra her elemana ait eleman rijitlik matrisi hesaplanır. Eleman rijitlik matrisinden sonra tüm sisteme ait olan rijitlik matrisi oluşturulur.

Temel gerilme-birim yer değiştirme ifadelerini komşu elemanlardan, düğüm noktaları üzerinden aktarılan kuvvetler sistemi kullanarak her bir elemandaki çökmelerin hesaplanmasıyla çözüm elde edilir. Gerilmeler birim şekil değiştirmelerden elde edilir. Her düğüm noktasındaki kuvvet diğer düğüm noktalarındaki kuvvetlere bağlıdır. Elemanlar yay sistemine benzer davranır ve tüm kuvvetler dengede olana kadar şekil değiştirirler. Buda aynı zamanda çözülmesi gereken lineer denklemler sistemini ifade eder. Rijitlik matrisi tatbik edilen kuvvetler nedeni ile düğüm noktalarının ne kadar yer değiştirdiğini tanımlayan bir yay sabiti olarak düşünülmektedir. Matris formu;  $\{f\}$  elemana etki eden kuvvetler vektörü,  $[k]$  elemanın rijitlik matrisi,  $\{u\}$  elemanın düğüm noktalarındaki yer değiştirme vektörü olmak üzere şu şekilde ifade edilir [71].

$$\{f\} = [k] \cdot \{u\} \quad (4.12)$$

Sistemi oluşturan tüm elemanlar için ise;  $\{F\} = \sum \{f\}$  her bir düğüm noktasındaki dış kuvvetler,  $[K] = \sum [k]$  tüm elemanların rijitlik matrislerinin toplanmasıyla oluşan sistemin rijitlik matrisi,  $\{U\}$  yer değiştirme vektörü olmak üzere şu şekilde ifade edilir [71].

$$\{F\} = [K] \cdot \{U\} \quad (4.13)$$

Bu ifadede bilinmeyenler, yani yer değiştirmelerdir. Uygun işlemin tatbiki ile yer değiştirme vektörü eşitliğin bir tarafında yalnız bırakılarak hesaplanır.

Sonlu elemanlar yönteminde eleman sayısı ve tipi seçimi önemlidir. Bu seçim yapılacak analiz türüne göre en uygun yaklaşımla yapılmalıdır. Teorikte küçük boyutlu ve çok sayıda eleman kullanmak çözümün doğruya yaklaşımını artıracaktır. Ancak yapılacak doğru yorumlarla, sistemin karmaşıklığına göre uygun eleman

büyüküğü ve tipi seçimi ile kritik bölgelerin eleman boyutunu küçültmek, daha az kritik bölgelere büyük boyutlu eleman kullanmak geçerli bir yöntemdir [71].

## **BÖLÜM 5**

### **MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **5.1. GİRİŞ**

Bu çalışmada, literatür araştırması doğrultusunda planlanan ve gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda verilmiştir:

- Malzemenin temin edilmesi,
- Temin edilen malzemelerin, ısıl işleme tabi tutulması,
- Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için belirlenen kesme şartlarına göre sert tornalama deneylerinin yapılması,
- Deneysel olarak ölçülen esas kesme kuvveti değerleri yardımıyla kesici takımında meydana gelen gerilmelerin sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ile analizi,
- Elde edilen deneysel veriler ve gerilme analizi sonuçları kullanılarak, sırasıyla esas kesme kuvveti ve kesici takım gerilmelerinin matematiksel modellenmesi.

#### **5.2. DENEY MALZEMESİ**

Deneysel çalışmalarda, DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliği iş parçası malzemesi olarak kullanılmıştır. Kılavuzlar, iticiler, pimler, deliciler, zımbalar, havşa açma takımları, matkaplar, raybalar, oyma takımları kılavuz pimleri, burgu matkaplar, delik açma zımbaları, eğeler, miller ve hassas ölçü gerektiren makine parçalarının imalatında

kullanılmaktadır [72]. Ülkemizde civa çeliği olarak isimlendirilen DIN 1.2210, krom ve vanadyum alaşımı, kolay işlenebilen ve ısı işlem yapılabilen, kesici kenarlardan parça kopmama özelliğine sahip, aşınmaya dirençli bir soğuk iş takım çeliğidir. DIN 1.2210 çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney numunesinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %).

C	Si	Mn	Cr	V	P	S	Fe
1,10-1,25	0,15-0,30	0,20-0,40	0,50-0,80	0,07-0,12	0,03	0,03	Kalan

### 5.2.1. Deney Malzemesinin Isıl İşlemi

DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliğine uygulanan vakumla sertleştirme yöntemi ile deney numunesinin sertliği yaklaşık 60 HRC’ye çıkarılmıştır. Deney numunelerine uygulanan ısı işlem yönteminin ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

*Vakum ısı işlemi:* Takım çeliklerinin sertleştirilmesinde en önemli işlem soğutma işlemidir. Homojen olarak gerçekleştirilen östenitleme işleminin ardından parçalar belirli bir hızda dönüşüm sıcaklığına soğutulmalıdır. Vakum fırınlarının değiştirilebilir soğutma parametrelerine ek olarak izotermal bekleme yapması büyük kesitli kalıpların *marquench tekniği* ile soğutulmasını mümkün kılar. Özellikle metal enjeksiyon ve dövme uygulamalarına yönelik büyük kesitli sıcak iş takım çeliklerinin ısı işleminde bu teknik ile minimum deformasyon ve buna bağlı yüksek tokluğun yanında maksimum martenzitik dönüşüm ve ısı yorulma direnci elde edilir. Vakum ısı işleminin avantajlarını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

- Parlak metalik yüzey kalitesi,
- Koruyucu gaz atmosferinde konveksiyonla homojen ısıtma,
- Çekirdeğe kadar homojen sertlik ve mikroyapı dağılımı,
- Yüksek basınçlı gaz atmosferinde (10 Bar) ayarlanabilir 4 yönlü soğutma seçeneği ile azaltılmış deformasyon ve çarpılma,

- Minimum boyutsal değişim ve deformasyona bağlı yüksek tokluk,
- Aynı kabin içinde -185 °C'ye kadar soğutma ile minimum artık östenit, maksimum sertlik ve aşınma direnci,
- Çevreye zararlı atık üretmeyen temiz prosesler.

*Çarpılma ve ölçü değişikliği:* Çarpılma ve ölçü değişikliklerinin birçok nedeni olabilir. Parçadaki homojensizlik veya ısıl işlem öncesi çarpılma, yanlış malzeme kesimleri veya elverişsiz yapı bunun için tetikleyici olabilir. Çarpılma bakımından kritik parçalarda (örneğin basınçlı döküm kalıpları), parçadaki sıcaklık farkını dengelemek için bir ön ısıtma yapılabilir, fakat bu işlem her malzeme için uygun değildir. Vakum tesisi bazı uygulamalarda düşük, bazı uygulamalarda yüksek vakuma ulaşana kadar temizlenir. Ardından soğutma basıncı elde edilene kadar tesise koruyucu gaz (azot) verilir. Özel uygulamalar için argon kullanılabilir.

*Menevişleme işlemi:* Bu işlem çeliğin alt kritik sıcaklığının altında 700 °C sıcaklığa kadar tavlanylması, istenilen belirli bir sıcaklığa kadar soğutulmasıdır. Çatlamları en aza indirebilmek için meneviş işleminin, su verme işleminden hemen sonra yapılması gereklidir. Su verilmiş bir çeliği kendi kendine soğumaya bırakmak daha sonra da, menevişlemeye tabi tutmak, çatlamların nedenidir. Bu özellik genellikle %30'dan daha yüksek karbonlu çeliklerde açık şekilde görülür. Su verme işlemi uygulanmış bir çeliğin menevişleme işlemine tabi tutulması özel bir dikkat gerektiren bir işlemdir. Eğer parça homojen bir şekilde tavlalmaz ise bölgesel gerilmeler olur. Bu durum çarpımalara hatta çatlamlara neden olabileceğinden meneviş tavinin çok hızlı yapılması gereklidir [3].

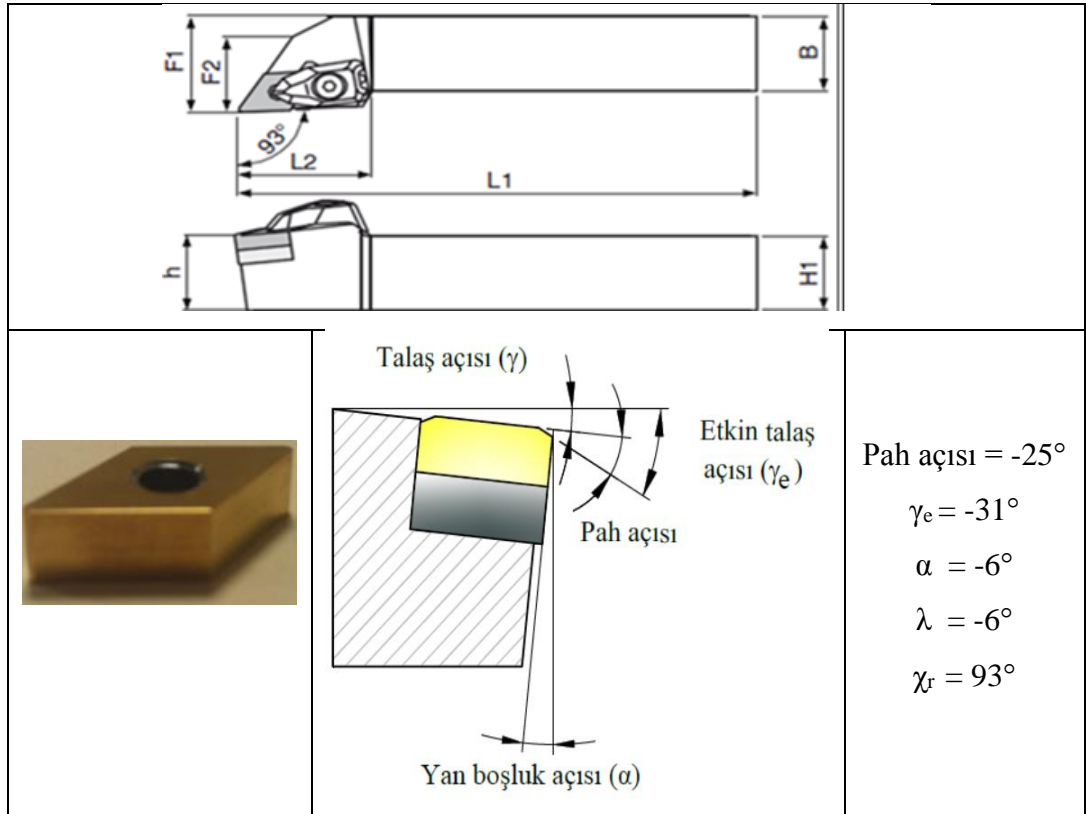
### **5.3. DENEY MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ**

DIN 1.2210 çeliğinden hazırlanan deney numunelerinin (Ø40x200 mm), işlenebilirlik kriteri olarak kesme kuvvetleri esas alınmıştır. Tornalama sırasında oluşan radyal kuvvet ( $F_r$ ), ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) ve esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) deneysel olarak ölçülmüştür. Fakat değerlendirmelerde; tornalama için enerji tüketimi

açısından en fazla öneme sahip kuvvet olarak nitelendirilen  $F_c$  dikkate alınmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan makine, takım ve cihazlar aşağıda sunulmuştur.

### 5.3.1. Takım Tezgahı ve Kesici Takımlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan takım tezgahı, Johnford TC 35 CNC Fanuc-OT marka olup motor gücü 20 HP'dir. İşleme deneylerinde, kesici takım olarak KYOCERA firmasından temin edilen PVD yöntemiyle TiN kaplamalı DNGA150604S01525, DNGA150606S01525 ve DNGA150612S01525 kodlu seramik kesici takımlar kullanılmıştır. Takım tutucu olarak ise kesici takımların rijit bir şekilde bağlanmasını sağlayan PDJNR 2525M-15 kodlu KYOCERA ürünü dış tornalama kateri kullanılmıştır (Şekil 5.1). Kesici takım ile takım tutucunun birleşmesiyle; etkin talaş açısı ( $\gamma_e$ )  $-31^\circ$ , boşluk açısı ( $\alpha$ )  $-6^\circ$ , kesici kenar eğim açısı ( $\lambda$ )  $-6^\circ$  ve yanaşma açısı ( $\chi_r$ )  $93^\circ$  olarak oluşmuştur.

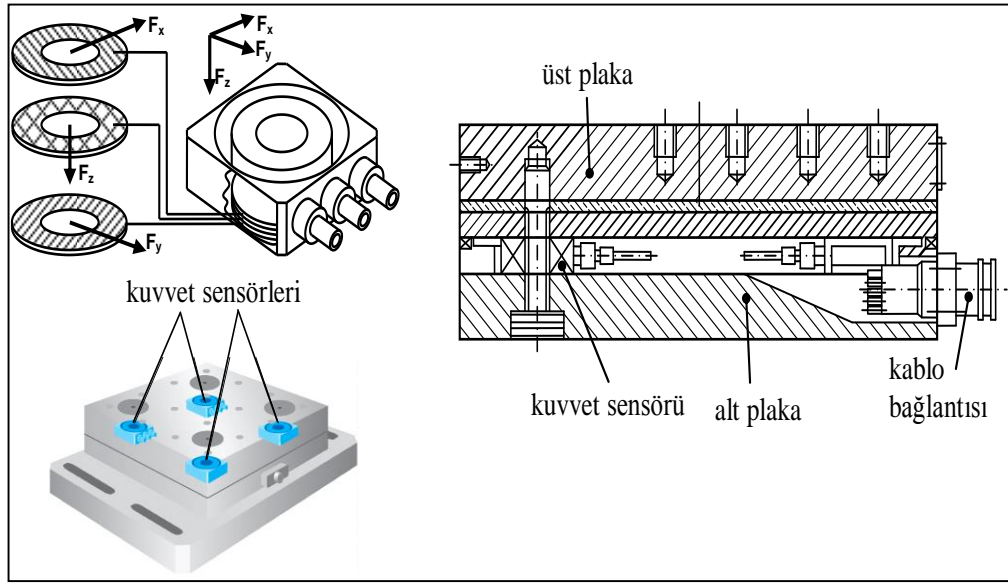


Şekil 5.1. Takım tutucu ve kesici takımın geometrik özellikleri [47].



### 5.3.2. Kesme Kuvveti Ölçüm Cihazı ve Deney Düzenegi

Silindirik tornalama esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni olan; esas kesme kuvveti ( $F_c$ ), ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) ve radyal kuvvet ( $F_r$ ), KISTLER 9257B tipi piezoelektrik dinamometre ile ölçülmüştür (Şekil 5.2). Deney düzenegi ve deneysel verilerin analiz aşamaları Şekil 5.3'te şematik olarak verilmiştir.

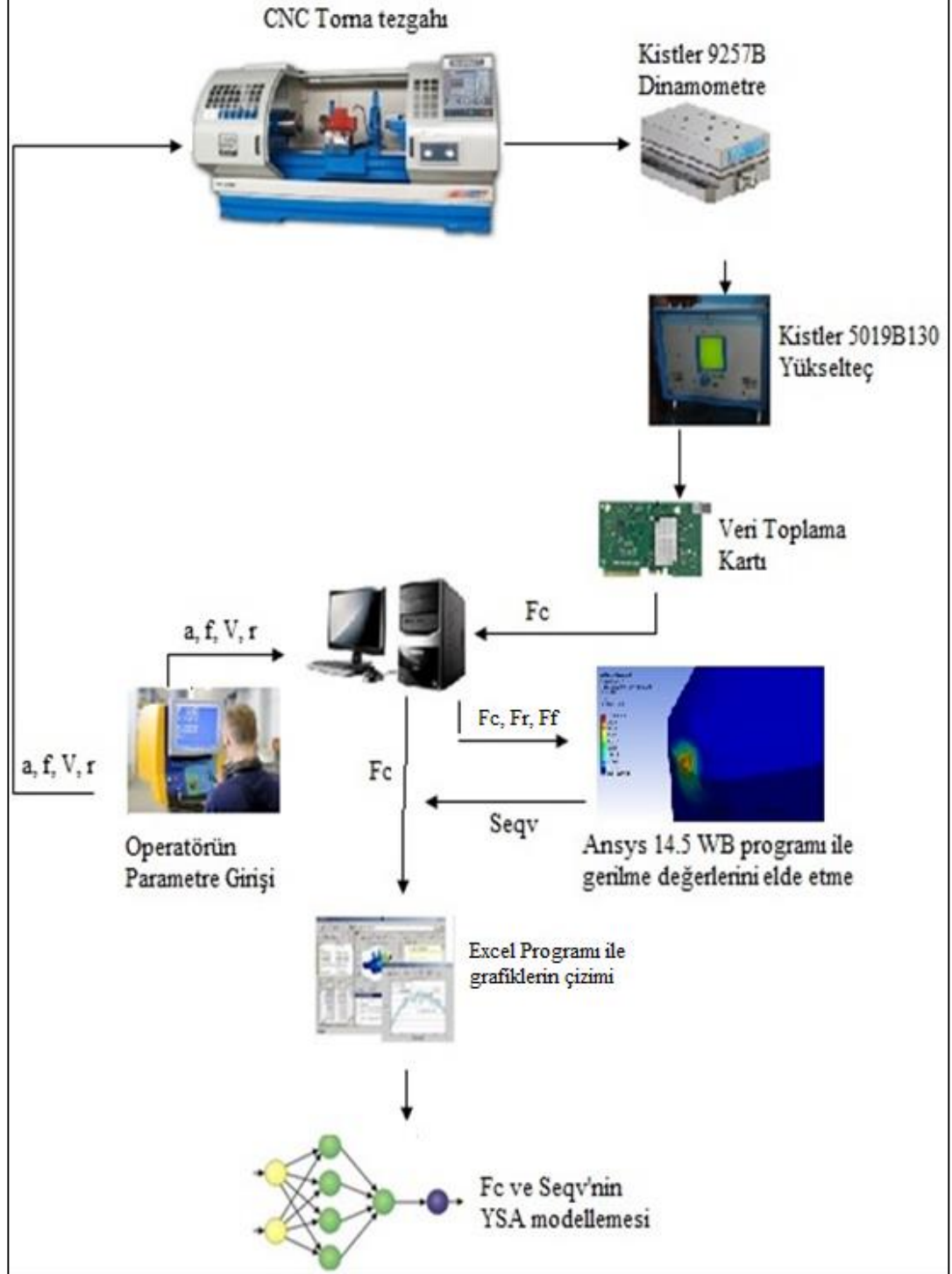


Şekil 5.2. Kistler 9257B dinamometre ve elemanları [3].

Deney düzeneginde kullanılan kuvvet ölçme sistemi; üç kuvvet bileşenini ( $x_{F_r}$ ,  $y_{F_f}$ ,  $z_{F_c}$ ) aynı anda ölçebilen dinamometre, üç kanallı charge-amplifikatörü (yükselteç), dinamometreye bağlanabilen uç bağlama aparatı, ölçüm bilgilerinin analizi için program (Dynoware), bilgisayara bağlantı için ISA tipi A/D kartı ve ara bağlantı kablolarından oluşmaktadır (Şekil 5.3).

Yük amplifikatörü, kuvvet sensöründen her yönde gelen ( $x,y,z$ ) voltaj sinyalleri ayrı ayrı değerlendirebilmektedir. Analog kuvvet sensörlerinin ürettiği sinyallerin analogdan sayısala dönüştürücünün algılama kapasitesinin altında bir değere sahip olabilir, ancak bu tip veri kayıpları önlenmektedir. Aynı zamanda, üç kanallı ve mikroişlemci kontrollüdür. Dinamometreden gelen sinyalleri yükselterek voltaj cinsinden çıkış vermektedir. İstenilen parametreler cihaz üzerindeki tuşlar vasıtasıyla ayarlanabilmekte, LCD ekran ve LED göstergelerden okunabilmesinin yanı sıra

cihaz üzerinden RS232 C ve IEEE-488 interfaz çıkışları sayesinde tez için yapılan deney sonuçları bilgisayara aktarılmıştır [3].



Şekil 5.3. Deney düzeneği.

#### 5.4. DENEY TASARIMI

Taguchi Yöntemi'ne göre yapılan deney tasarımında, ilk olarak işlenebilirlik kriteri olarak seçilen esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) üzerinde doğrudan etkisi olan kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla, A- Kesme derinliği (mm), B- İlerleme miktarı (mm/dev), C- Kesme hızı (m/dak), D- Kesici uç yarıçapı (mm) olmak üzere dört faktör seçilmiştir. Bu faktörlerin seviyeleri ise kesici takım firması ve literatürdeki sert tornalama işlemleri dikkate alınarak tespit edilmiştir. Bu faktör ve seviyelere göre yapılan deney tasarımı için  $L_{27}$  dikey dizini kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan faktörler ve seviyeleri Çizelge 5.2'de verilmiştir. Taguchi  $L_{27}$  dikey dizinine göre uygulanan deney tasarımı Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.2. Faktörler ve seviyeleri.

Sembol	Faktörler	Seviye		
		1	2	3
A	Kesme derinliği, a (mm)	0,1	0,2	0,3
B	İlerleme miktarı, f (mm/dev)	0,05	0,1	0,15
C	Kesme hızı, V (m/dak)	90	120	150
D	Kesici uç yarıçapı, r (mm)	0,4	0,8	1,2

Sert tornalama deneyleri, Çizelge 5.3'te verilen her bir deney numarası için iki tekrarlı olarak yapılmıştır. Deneysel sonuçlara %95 güven aralığında varyans analizi (ANOVA) uygulanarak esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) üzerinde değişkenlerin etki seviyeleri belirlenmiştir. Deney tasarımı ve varyans analizi Minitab17 paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneyleerde uygulanan Taguchi L<sub>27</sub> deney tasarımı.

Deney No	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	2
5	1	2	2	3
6	1	2	3	1
7	1	3	1	3
8	1	3	2	1
9	1	3	3	2
10	2	1	1	1
11	2	1	2	2
12	2	1	3	3
13	2	2	1	2
14	2	2	2	3
15	2	2	3	1
16	2	3	1	3
17	2	3	2	1
18	2	3	3	2
19	3	1	1	1
20	3	1	2	2
21	3	1	3	3
22	3	2	1	2
23	3	2	2	3
24	3	2	3	1
25	3	3	1	3
26	3	3	2	1
27	3	3	3	2

## 5.5. GERİLME ANALİZİ ÇALIŞMALARI

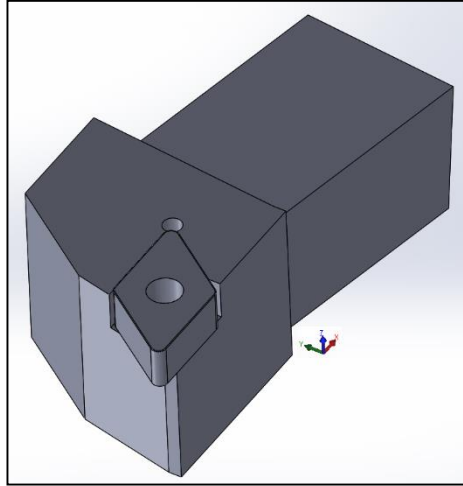
Kesici takımında oluşan gerilmelerin sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak ANSYS 14.5 paket programı kullanılarak analiz edilmesi amacıyla çözüm öncesinde bazı hazırlıklar yapılmıştır. Bu hazırlıklar; kesici takımlara ait katı modellerin oluşturulması, kesici takımlar için gerekli malzeme modellerinin çıkartılması, kullanılacak eleman tipi ve eleman boyutunun belirlenmesi, katı modellerin elemanlara ayrılması (ağ oluşturma, *meshing*), sınır şartlarının belirlenmesi, yükleme durumunun belirlenmesi ve kullanılacak çözüm metodunun seçilmesi olarak özetlenebilir.

### 5.5.1. Kesici Takımın Modellenmesi

Kesme deneylerinde, kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak kesici takıma etkiyen esas kesme kuvveti ( $F_c$ ), ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) ve radyal kuvvet ( $F_r$ ) eş zamanlı olarak ölçölmüőtür. ANSYS programında gerekli gerilme analizlerinin yapılabilmesi için kesici takım ve ilgili takım tutucu (kesici takım çifti), kesici takım kataloglarından alınan bilgiler ve doğrudan takım üzerinden alınan ölçüler kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir.

Kesici takım çifti için katı model oluşturma süreci; SolidWorks 2014 programı kullanılarak katı modellerinin oluşturulması ve elde edilen katı modellere ait dosyaların “.x\_t” uzantısı yardımıyla ANSYS programından okutulması olmak üzere iki ayrı aşamadan oluşturmaktadır.

Katı model oluşturma sürecinin birinci aşamasında, gerekli ölçüleri elde edilen kesici takım çifti için SolidWorks 2014 programı kullanılarak Şekil 5.4’te gösterilen katı modeller oluşturulmuştur.



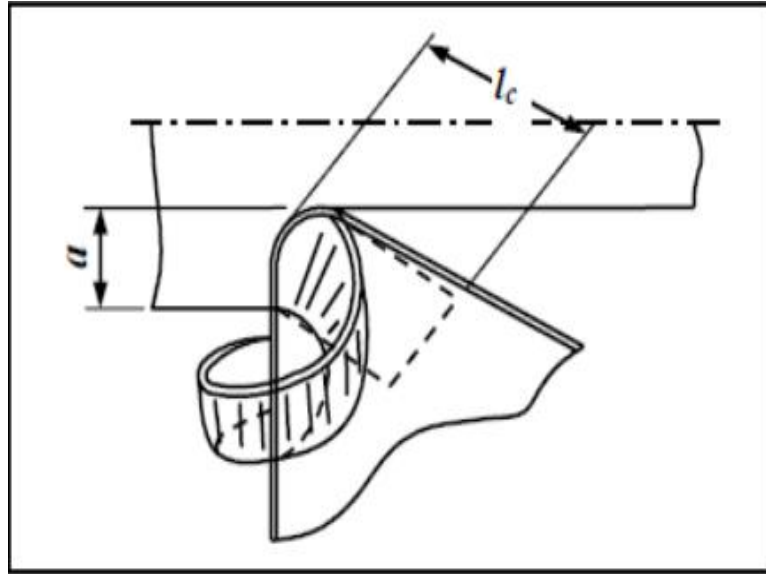
Şekil 5.4. Kesici takım çifti katı modeli.

Katı modelleme işlemi sırasında kesici takımlara ait tüm özellikler (talaş açısı, yanaşma açısı, boşluk açıları, kesici uç radyüsü, pah açısı, kesici ucu tespitleme (sıkma) elemanları dikkate alınmıştır. Bu Şekilde kesici takımlara ait katı model

çizimleri tamamlandıktan sonra “.x\_t” uzantısı yardımıyla kaydedilmiştir. ANSYS programında gerekli modellerin oluşturulabilmesi amacıyla, çizilen katı modeller “import/.x\_t” komutu kullanılarak ANSYS programından çağrılmıştır.

Katı modelleme süresini uzatacak olması ve sıkma elemanlarının (sıkma için kullanılan vidalar ve sıkma pabucu) her biri için ayrıca bir çözüm yapılması gerektiğinden; kesici ucu sabitleyen sıkma elemanlarının ANSYS’te modellenmesinden vazgeçilmiştir. Ancak sıkma elemanları tarafından kesici takıma uygulanan sıkma kuvveti, Bölüm 5.5.4’te belirtilen prosedür yardımıyla uygulanmıştır.

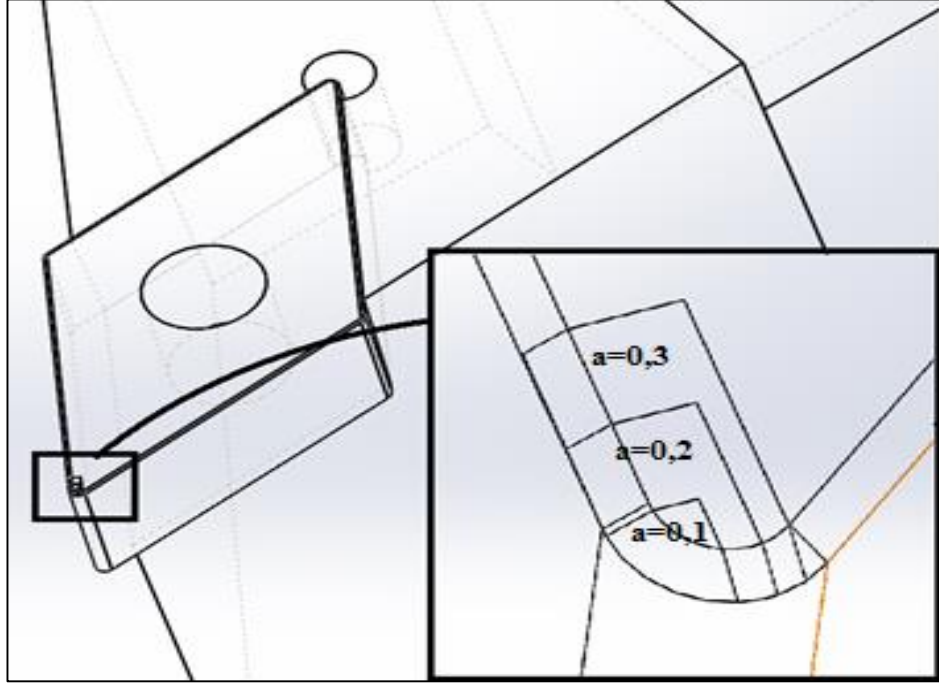
AMD ile oluşturulan tel kafes görünümündeki modelin ANSYS’te düzenlenerek katı model oluşturulması sırasında, kesme kuvvetlerinin literatüre uygun olarak kesici uca uygulanması amacıyla Toropov ve arkadaşı tarafından yapılan çalışmalara göre belirlenen ve deneysel çalışmalarla da doğrulanan Eş 5.1’deki takım-talaş temas boyu dikkate alınmıştır [73]. Buna göre kesici takımların katı modelleri, Şekil 5.5’te gösterilen takım-talaş temas alanı dikkate alınarak, takım-talaş temas boyu ( $l_c$ ) ve kesme derinliği ( $a$ )’ne göre oluşturulmuştur. Eş 5.1’de  $\lambda$  talaşın yığılma faktörünü göstermektedir.



Şekil 5.5. Takım-talaş temas alanı [68].

$$l_c = 2 \cdot \lambda \cdot a \quad (5.1)$$

Şekil 5.6’da PDJNR 2525 M15 takım tutucu ve DNGA 150604 S01525 kesici ucun, kesme derinliği 0,1 mm, 0,2 mm ve 0,3 mm için SolidWorks’te oluşturulan katı modeli ve takım–talaş temas alanı detayı gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Kesici takım çiftine ait katı model ve takım-talaş alanı.

### 5.5.2. Kesici Takımlara Ait Malzeme Modelleri

Kesici takım üzerinde oluşan gerilmelerin hesaplanması için ANSYS ile yapılan analiz hazırlıklarının ikinci safhasında, katı modelleri oluşturulan kesici takım çifti için gerekli malzeme modelleri oluşturulmuştur. Analizlerde, tüm kesici takım için lineer elastik malzeme modeli kullanılmış ve kesici takımların malzeme modelleri için gerekli olan elastikiyet modülleri (E), sertlikleri (HV) ve Poisson oranları ( $\nu$ ) literatürden belirlenmiştir. Çizelge 5.4’te analizlerde kullanılan kesici takımlar için kullanılan E ve  $\nu$  değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Kesici takım çiftinin malzeme özellikleri.

<b>Kesici Takım / Takım Tutucu</b>	<b>E (GPa)</b>	<b><math>\nu</math></b>	<b>Kaynak</b>
PDJNR 2525 M15 takım tutucu	210	0,28	[74]
DNGA150604S01525 kesici uç	600	0,25	[74]

### 5.5.3. Elemanlara Ayırma ve Temas Çiftleri

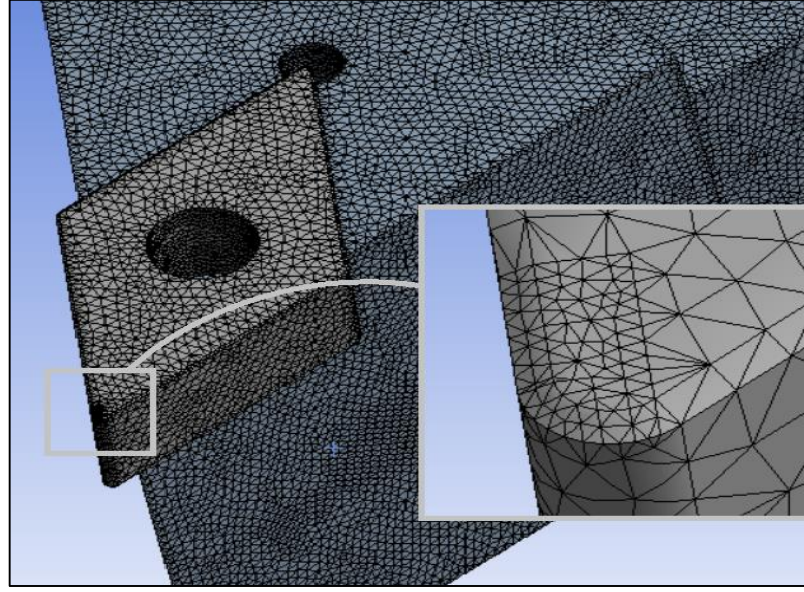
Gerekli malzeme modelleri tanımlanan kesici takım ve takım tutucu için bir sonraki safhada katı modellerde kullanılacak eleman tipi ve elemanlara ayırma işlemi (*meshing*, katı model için ağ oluşturma) yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici takım çifti için 3 boyutlu 10 düğümlü kuadratik dört yüzlü eleman kullanılmıştır.

Elemanlara ayırma işlemi, katı model geometrisi için “Mesh” yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Ağ elemanı boyutları, kesici uçların uç bölgesi için daha yoğun (*edge size* = 0,1 mm) ve takım tutucu için daha seyrek (*edge size* = 0,3 mm) olacak şekilde uygulanmıştır. En uygun eleman boyutunun belirlenmesi için ANSYS’te birkaç çözümlenme denemesi yapılmış olup,  $SE_{QV}$  gerilme değerlerinin değişimi incelenmiştir. Çizelge 5.5’te 26 numaralı deney için kullanılan eleman boyutuna karşılık gelen  $SE_{QV}$  gerilmeleri verilmiştir. Bu çizelgeden anlaşılacağı üzere eleman boyutu 0,3 mm’den 0,2 mm’ye düşürüldüğünde, gerilme değerinde çok düşük bir fark oluşmaktadır ve çözümlenme süresinin daha fazla uzamaması için eleman boyutunun 0,3 mm olmasına karar verilmiştir. Şekil 5.7’de, elemanlara ayırma işlemi uygulanmış PDJNR 2525 M15 takım tutucu ve DNGA150604S01525 kesici uç örnek olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Eleman boyutuna göre oluşan gerilmeler.

<b>Eleman boyutu (mm)</b>	<b>Von-mises Gerilmesi (MPa)</b>
1	3595
0,8	3652
0,5	3716
0,3	3758
0,2	3760





Şekil 5.7. Analizlerde kullanılan ağ yapısı.

Kesici takım ile takım tutucu arasındaki etkileşimi tam olarak sağlamak amacıyla en uygun bağlantı türleri (*connections*) uygulanmıştır. Bağlantı türlerinin oluşturulması, elemanlara ayırma sonrasında yapılması gereken bir işlem olup, bu işlem temas halindeki iki katının yüzey(ler)inde bulunan elemanların etkileşimini tanımlamak olarak özetlenebilir.

Analizlerde kullanılan katı modellerin birbirleriyle temas eden yüzeyleri için yapışık (*bonded*) bağlantı tipi seçilmiştir. Kesici takımın iki yan yüzeyi ve bir alt yüzeyi olmak üzere toplam 3 yüzeyi takım tutucunun kesici takım için ayrılmış olan yüzeyine yapışık bağlantı tipi ile tutturulmuştur.

Analizlerde kullanılan takım tutucu ve kesici uçlar için yapılan ağ oluşturma işlemi sonucunda elde edilen eleman ve düğüm sayıları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Kesici takım ve takım tutucu için kullanılan eleman ve düğüm sayıları.

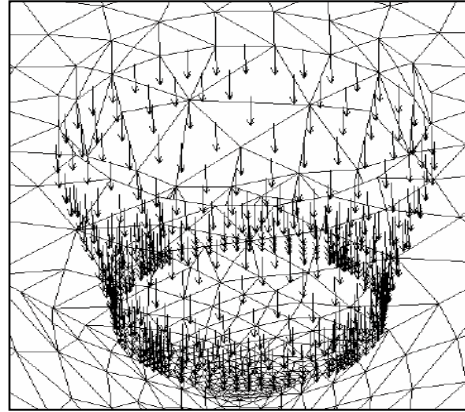
<b>Kesici Takım / Takım Tutucu</b>	<b>Eleman Sayısı</b>	<b>Düğüm Sayısı</b>
PDJNR 2525 M15 takım tutucu	163817	279209
DNGA150604S01525 kesici uç	21554	37759

#### 5.5.4. Yükleme Durumu ve Sınır Şartları

Kesici takım çiftinin üç boyutlu katı modelinin oluşturulması, malzeme modellerinin çıkartılması, uygulanacak eleman tipi ve ağ elemanlarının boyutlarının belirlenmesinden sonra gerilme analizi öncesinde yapılması gereken son işlemlerden birisi; analizler için gerekli yükleme durumu, başlangıç şartları ve sınır şartlarının belirlenmesidir.

##### 5.5.4.1. Sıkma Kuvvetinin Uygulanması

Analizlerde, kesici takımın takım tutucuya bağlamak için ISO 1832'ye göre "C" kesici takım sabitleme biçimi kullanılmıştır. Kesici takım, "C" yönteminde bir sıkma plakası yardımıyla üstten sıkılarak sabitlenmiştir. Bu amaçla, kesici takıma uygulanan sıkma kuvveti 3370 N olarak literatürden elde edilmiştir [68]. "C" yönteminde sıkma kuvveti, sıkmanın uygulanacağı alan/alanlar üzerindeki düğümlere birim düğüm için gelen kuvvet biçiminde (*force/on nodes*) uygulanmıştır (Şekil 5.8).



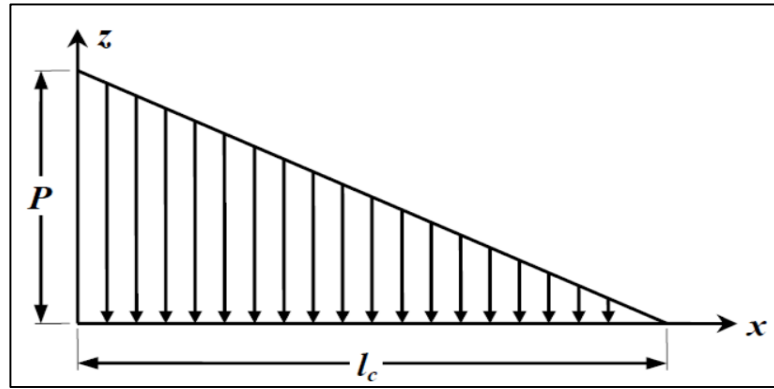
Şekil 5.8. Sıkma kuvvetinin uygulanması [68].

##### 5.5.4.2. Kesme Kuvvetleri İçin Yükleme Durumunun Belirlenmesi

Sert tornalama deneyleri sonucunda ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ( $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_r$ ) Bölüm 5.5.1'de seramik kesici takımlar için belirlenen takım-talaş temas alanına uygulanmıştır. Yapılan denemeler ve literatürden desteklenen sonuçlara göre

ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) ve radyal kuvvet ( $F_r$ ) kesici uç yarıçapının takım-talaş temas alanı içinde kalan pahlı kısmına düğüm başına gelen kuvvet biçiminde, esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ise tüm takım-talaş temas alanı üzerine üçgen yayılı yük şeklinde uygulanmıştır [68].

Analizlerde  $F_c$ 'nin esas kesme kenarı üzerinde en yüksek olacak şekilde üçgen yayılı yük olarak uygulanmasında; Şekil 5.9'da gösterilen yükleme durumu referans alınmıştır. Yayılı yükleme için ANSYS'te program tarafından girilmesi istenilen basınç değeri (Şekil 5.9'da "P" ile gösterilmiştir) Eş. 5.1'e göre ve eğim değeri de Eş. 5.2'ye göre hesaplanmıştır.



Şekil 5.9.  $F_c$ 'nin yayılı yük biçiminde uygulanması [68].

$$P = \frac{2 \cdot F_c}{l_c} \quad (5.2)$$

$$Eğim = -\frac{P}{l_c} \quad (5.3)$$

#### 5.5.4.3. Başlangıç ve Sınır Şartları

Gerilme analizi öncesinde yapılan hazırlıkların son aşamasını kullanılacak başlangıç ve sınır şartları oluşturmaktadır. Çözüm süresini azaltmak amacıyla sonlu eleman modelini basitleştirmek için aşağıda verilen bazı kabuller yapılmıştır:

- Kesici takım katı modeli üzerindeki tüm geometrik ayrıntılar dikkate alınmış olup, takım tutucudaki tüm kenar yuvarlatma (ER–*Edge Rounding*) yarıçapları ve pahlar ihmal edilmiştir.
- Kesici takım sıkma biçimine bakılmaksızın tüm sonlu eleman modellerinde sıkma elemanlarının kullanılması ihmal edilmiş (örneğin sıkma vidası katı modelleme sürecinde oluşturulmamıştır), ancak sıkma elemanları ile sağlanan sıkma kuvvetleri sadece kesici takıma uygulanmıştır.
- Çözüm süresini azaltmak için takım tutucu alt plakası ayrı olarak modellenmemiş olup, takım tutucu gövdesi tek bir katı eleman olacak şekilde modellenmiştir.
- Eleman sayısını ve dolayısıyla çözüm süresini azaltmak amacıyla analizlerde bütün takım tutucular, bağlama uzunluğu mesafesinde modellenmiş ve takım tutucunun kesme deneyleri sırasında dinamometre içerisinde kalan kısmının modellenmesi ihmal edilmiştir.
- Analizlerde kullanılan kesici takımların başlangıçta yeni ve keskin (kullanılmamış, hiçbir şekilde aşınmamış) olduğu kabul edilmiştir.
- Statik durum için gerilme analizi yapılmış ve hiçbir titreşimin olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca, kesme sırasındaki sıcaklık etkileşimleri ihmal edilmiştir.

#### 5.5.4.4. Çözüm Prosedürü

Analiz öncesinde yapılan bu hazırlıklar sonrasında analiz tipi olarak statik (denge durumu) analiz kullanılmıştır. Kesici takım ile takım tutucu arasında yapışık bağlantı tipi uygulandığından; ANSYS, doğrusal olmayan (non-linear) analiz ve bu analizler için Full Newton–Raphson metodu olarak adlandırılan iterasyon işlemi kullanılmıştır. Gerilme analizi sonuçlarının değerlendirilmesinde, kesici takım kırılma kriteri olarak von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmesi kullanılmıştır.

## BÖLÜM 6

### DENEY/ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ilk olarak, sertleştirilmiş DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliğinin TiN kaplamalı seramik kesici takımlarla işlenmesinde, kesme parametrelerinin (kesme derinliği, ilerleme miktarı, kesme hızı, kesici uç yarıçapı) kesme kuvvetleri ve kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Daha sonra ölçülen kesme kuvveti değerleriyle kesici takım üzerine düşen gerilmelerin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. İş parçası malzemesinin işlenebilirliği sert tornalama yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Talaş kaldırma işleminde kontrol edilebilen parametreler doğrultusunda, her farklı deney için yeni bir kesici uç kullanarak Taguchi  $L_{27}$  dikey dizinine göre toplam 27 adet deney yapılmıştır. Kesme parametrelerinin bağımsız değişken (girdi) olarak alındığı bu çalışmada, yüzeylerde oluşan esas kesme kuvveti ve buna bağlı olarak gerilme değerleri bağımlı değişken (çıktı) olarak ele alınmıştır.

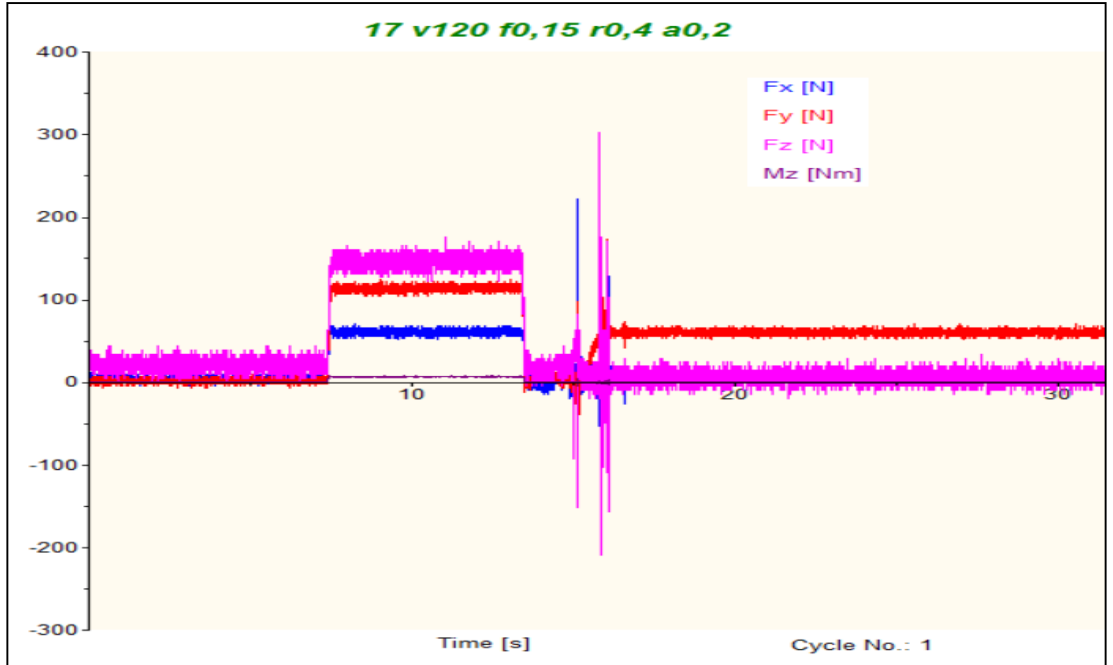
Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, elde edilen veriler kullanılarak iki boyutlu grafikler ve istatistiksel analizler yardımıyla yapılmıştır. Sert tornalama deneyleri sonucunda elde edilen esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve üç kesme kuvveti bileşeni ( $F_c$ ,  $F_f$  ve  $F_r$ ) yardımıyla hesaplanan von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmeleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney ve analiz sonuçları.

<b>Deney No</b>	<b>a</b> (mm)	<b>f</b> (mm/ dev)	<b>V</b> (m/dak)	<b>r</b> (mm)	<b>F<sub>r</sub></b> (N)	<b>F<sub>f</sub></b> (N)	<b>F<sub>c</sub></b> (N)	<b>S<sub>EQV</sub></b> (MPa)
1	0,1	0,05	90	0,4	41,42	19,89	54,38	1423
2	0,1	0,05	120	0,8	61,82	23,35	66,7	2048
3	0,1	0,05	150	1,2	67,52	21,98	69,53	2021
4	0,1	0,1	90	0,8	84,81	27,86	89,16	2774
5	0,1	0,1	120	1,2	89,59	25,99	89,83	2654
6	0,1	0,1	150	0,4	53,86	20,69	65,85	1770
7	0,1	0,15	90	1,2	113,96	31,29	115,79	3363
8	0,1	0,15	120	0,4	67,44	22,06	80,78	2165
9	0,1	0,15	150	0,8	97,41	28,35	110,3	3161
10	0,2	0,05	90	0,4	66,42	47,65	83,72	1884
11	0,2	0,05	120	0,8	93,04	46,21	96,61	1705
12	0,2	0,05	150	1,2	107,04	45,15	102,42	1524
13	0,2	0,1	90	0,8	129,32	59,61	137,41	2323
14	0,2	0,1	120	1,2	143,54	56,37	141,57	2012
15	0,2	0,1	150	0,4	83,9	50,26	107,17	2213
16	0,2	0,15	90	1,2	170,31	62,64	176,34	2355
17	0,2	0,15	120	0,4	114,27	61,05	146,87	2973
18	0,2	0,15	150	0,8	163,36	71,05	174,82	2894
19	0,3	0,05	90	0,4	78,07	75,01	111,4	2124
20	0,3	0,05	120	0,8	109,47	70,98	122,66	1788
21	0,3	0,05	150	1,2	131,37	65,25	127,27	1513
22	0,3	0,1	90	0,8	164,5	98,83	185,91	2608
23	0,3	0,1	120	1,2	178,57	85,92	184,96	2038
24	0,3	0,1	150	0,4	109,89	93,64	159,42	2972
25	0,3	0,15	90	1,2	216,28	97,58	234,3	2429
26	0,3	0,15	120	0,4	146,72	116,32	219,73	3758
27	0,3	0,15	150	0,8	197,91	109,59	229,6	3050

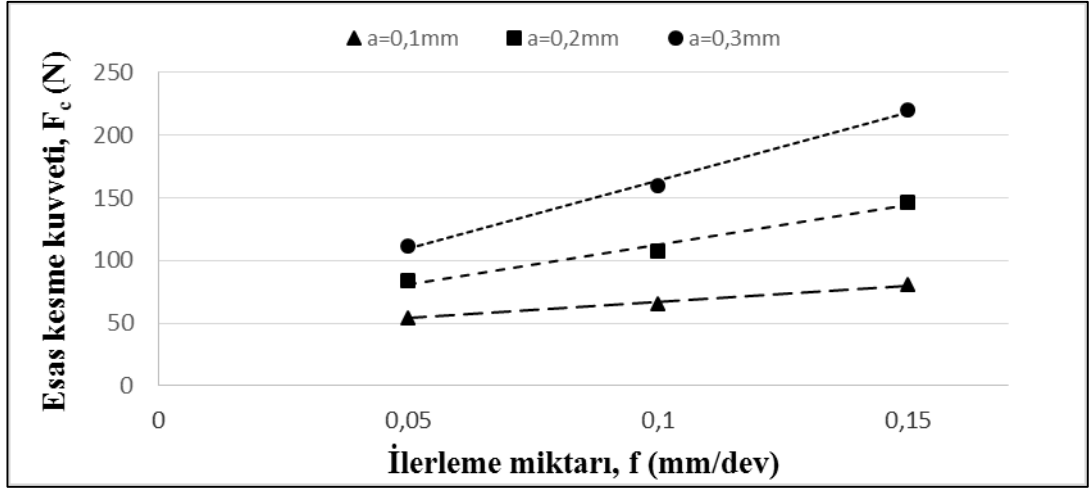
## 6.1. KESME KUVVETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliğinin TiN kaplamalı seramik kesici takımlarla sert tormalanması esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri Kistler 9257B dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 6.1'deki örnek grafikte görüldüğü gibi, kesme işlemi sonunda kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerleri esas alınarak, ortalama  $F_c$ ,  $F_f$  ve  $F_r$  kuvvetleri belirlenebilmektedir. Dinamometre kartezyen kuvvet bileşenleri ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) biçiminde ölçümler gerçekleştirilmekte olup;  $F_x=F_f$ ,  $F_y=F_r$  ve  $F_z=F_c$ 'ye karşılık gelen kuvvetleri işaret etmektedir.

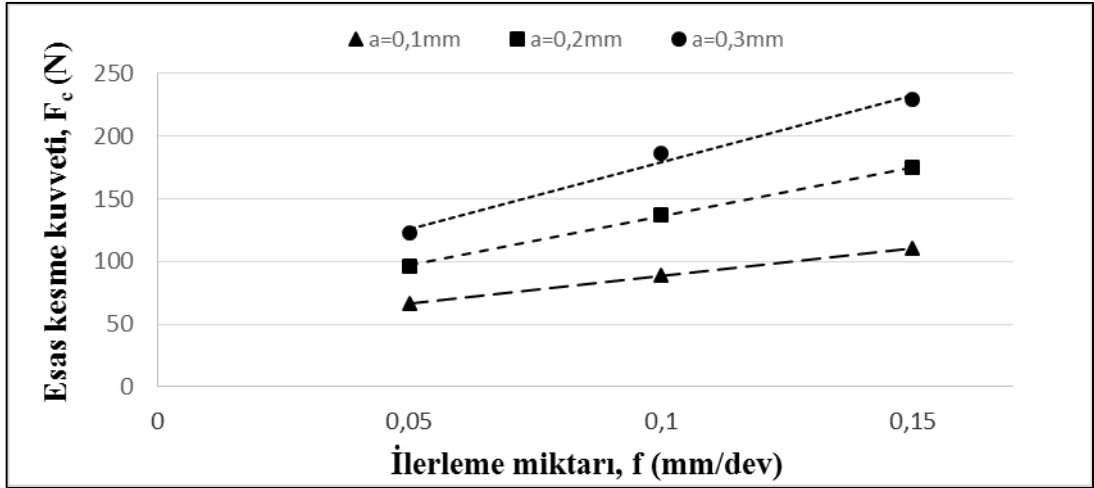


Şekil 6.1. Kistler 9257B tipi dinamometre ile zamana bağlı ölçülen kesme kuvvetleri.

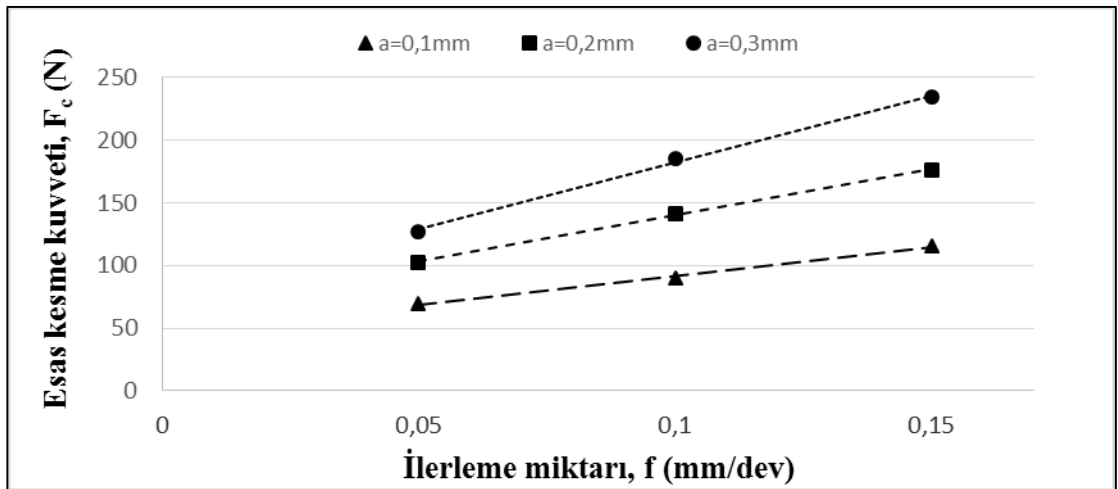
Sert tormalama sonucunda oluşan kesme kuvvetlerinin analizinde, tormalamada enerji tüketimi açısından birincil derecede önemli olan  $F_c$  değerleri dikkate alınmıştır [1]. Farklı kesici uç yarıçapına sahip kesici takımlarla elde edilen  $F_c$  değerlerinin değişimini daha detaylı incelemek için grafikler oluşturulmuştur. Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te kesme derinliği (a), ilerleme miktarı (f) ve kesme hızı (V)'na bağlı olarak  $F_c$ 'nin değişimi grafik olarak verilmiştir.



Şekil 6.2. Kesme parametrelerine bağlı  $F_c$ 'nin değişimi;  $r=0,4$  mm.



Şekil 6.3. Kesme parametrelerine bağlı  $F_c$ 'nin değişimi;  $r=0,8$  mm.

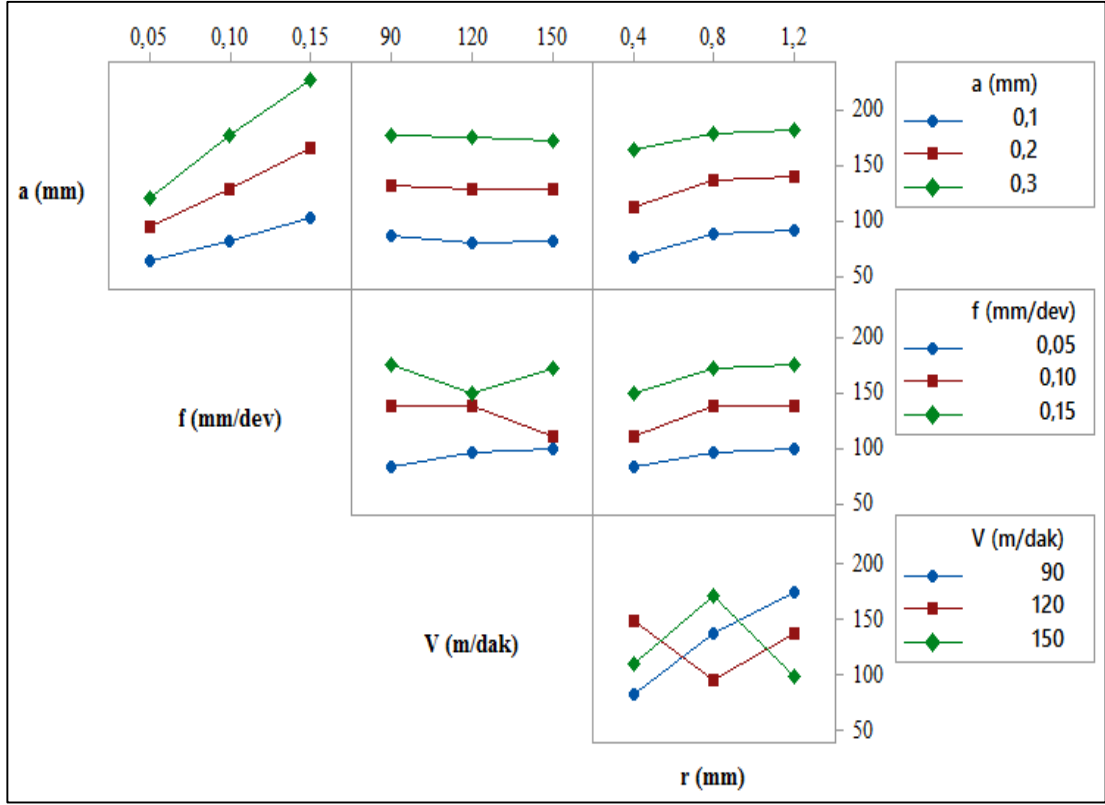


Şekil 6.4. Kesme parametrelerine bağlı  $F_c$ 'nin değişimi;  $r=1,2$  mm.



Kesici takım geometrisini talaş oluşumunu ve dolayısıyla kesme kuvvetlerini olumlu veya olumsuz etkileyen önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, Çizelge 6.1 ve grafikler yardımıyla kesici uç yarıçapı ( $r$ )'nin esas kesme kuvveti üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Kesici uç yarıçapı arttıkça,  $F_c$  değerlerinde önemli bir artışın (yaklaşık %5) olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuç, kesici uç yarıçapı ( $r$ )'nin artmasıyla birlikte azalan yavaşma açısına atıf edilmiş olup,  $r$ 'deki artışın daha çok radyal kuvvet ( $F_r$ )'i etkileyeceği bilgisi ile paralellik göstermektedir [75]. Grafikler genel olarak incelendiğinde, üç farklı kesici uç yarıçapı için kesme kuvvetindeki değişimlerin benzer olduğu görülmektedir. Grafikler ve Çizelge 6.1 birlikte incelenecek olursa; kesme derinliğinin artmasıyla birlikte esas kesme kuvvetinin de belirli bir oranda arttığı görülmektedir. Üç farklı kesici uç yarıçapı için de bu sonuç paralellik göstermektedir. Diğer yandan, ilerleme miktarının artması ile kesme kuvvetindeki artışın düzenli bir eğilimde olduğu görülmektedir (Şekil 6.2-6.4). İlerleme miktarı ( $f$ ) ve kesme derinliği ( $a$ )'nin artmasıyla birlikte kesme kuvvetlerinin artması talaşlı imalatta beklenen bir durumdur. Bu sonucun nedeni olarak,  $f$  ve  $a$  değerlerindeki artışla beraber artan takım-talaş temas alanı ve dolayısıyla talaş oluşumuna harcanan enerji tüketiminin artmasını göstermek mümkündür.

Ayrıca, DIN 1.2210 malzemesinin sert tornalanmasında, faktörlerin esas kesme kuvveti üzerindeki etkilerini daha detaylı inceleyebilmek için etkileşim grafikleri çizilmiş olup, Şekil 6.5'te verilmiştir. Buradaki grafikler detaylı olarak incelendiğinde; kesme derinliği, ilerleme miktarı ve kesici uç yarıçapının artmasıyla kesme kuvvetinde bir artış meydana geldiği görülebilmektedir. Diğer yandan;  $a$ - $V$ ,  $f$ - $V$  etkileşim grafiklerinden, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinde kayda değer bir azalma olmadığı görülmektedir. Bu sonuç, sert tornalama işlemlerinde kesme hızının etkisinin çok düşük olduğunu bir kez daha göstermiştir [76]. Ayrıca,  $V$ - $r$  etkileşimi incelendiğinde kesme kuvvetleri ile kesme parametreleri arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak, deney tasarımı gereği kesici uç yarıçapının karmaşık şekilde yerleştirilmesini göstermek mümkündür (Çizelge 6.1).



Şekil 6.5.  $F_c$ 'nin kesme parametrelerine göre değişimi.

Çizelge 6.1'de verilen deneysel sonuçlardan görülebileceği gibi;  $r=0,4$  mm için en küçük  $F_c$  değeri kesme hızının 90 m/dak, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,1 mm olduğu durumda 54,38 N, en büyük değer ise kesme hızının 120 m/dak, ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,3 mm olduğu durumda 219,73 N olarak ölçülmüştür.  $r=0,8$  mm için en küçük  $F_c$  değeri; kesme hızının 120 m/dak, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,1 mm olduğu durumda 66,7 N, en büyük değer ise kesme hızının 150 m/dak, ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,3 mm olduğu durumda 229,6 N olarak ölçülmüştür.  $r=1,2$  mm için en küçük  $F_c$  değeri; kesme hızının 150 m/dak, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,1 mm olduğu durumda 69,53 N, en büyük değer ise kesme hızının 90 m/dak, ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,3 mm olduğu durumda 234,3 N olarak ölçülmüştür.

Deneysel sonuçlar ışığında en küçük  $F_c$  değeri;  $r=0,4$  mm'lik kesici takımla, kesme hızının 90 m/dak, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,1 mm olduğu durumda 54,38 N olarak ölçülmüştür. En büyük esas kesme kuvveti;  $r=1,2$

mm'lik kesici takım, kesme hızının 90 m/dak, ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,3 mm olduğu durumda 234,3 N olarak ölçülmüştür.

DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliği malzemesinin işlenmesinde kesici uç yarıçapı, ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliği (Faktörler)'nin üç farklı seviyesi kullanılarak toplam 27 adet deney yapılmıştır. Faktörlerin  $F_c$  üzerindeki etki seviyelerini belirlemek amacıyla % 95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 6.2'de verilmiştir. Burada, her bir faktör/değişkenin önem seviyesini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde etki oranları (PCR) görülmektedir. Değişkenlerin önem seviyesi, ANOVA tablosundaki P değeri dikkate alınarak belirlenmektedir. Herhangi bir değişkenin kuvvet üzerinde etkili olduğunu söyleyebilmek için % 95 güven seviyesinde P değerinin 0,05'ten düşük olması gerekmektedir.

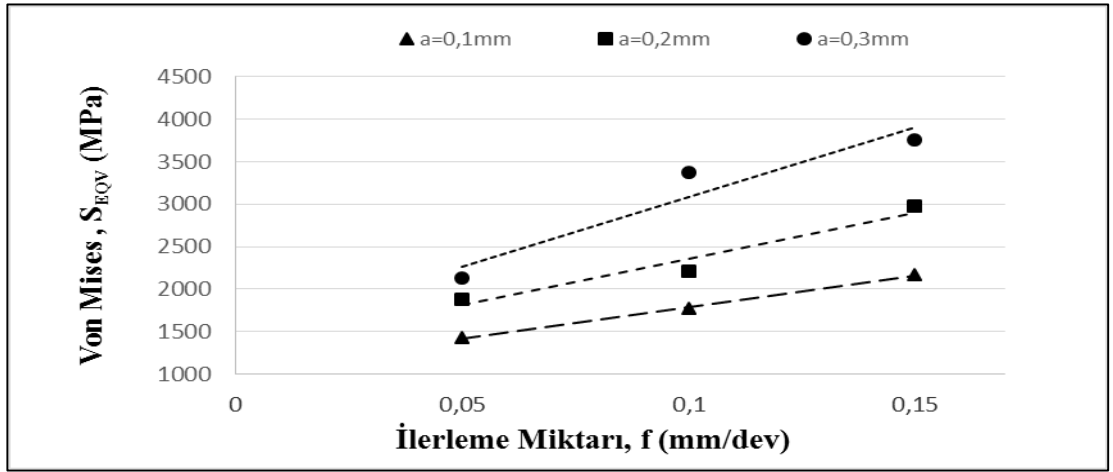
Çizelge 6.2. Esas kesme kuvveti için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
A	2	191,395	95,6973	333,60	0,000	59,55
B	2	106,273	53,1367	185,24	0,000	33,06
C	2	0,177	0,0883	245,32	0,739	0,06
D	2	18,400	9,200	426,1	0,000	5,72
Hata	18	5,163	0,2869			1,61
Toplam	26	321,408				100,00

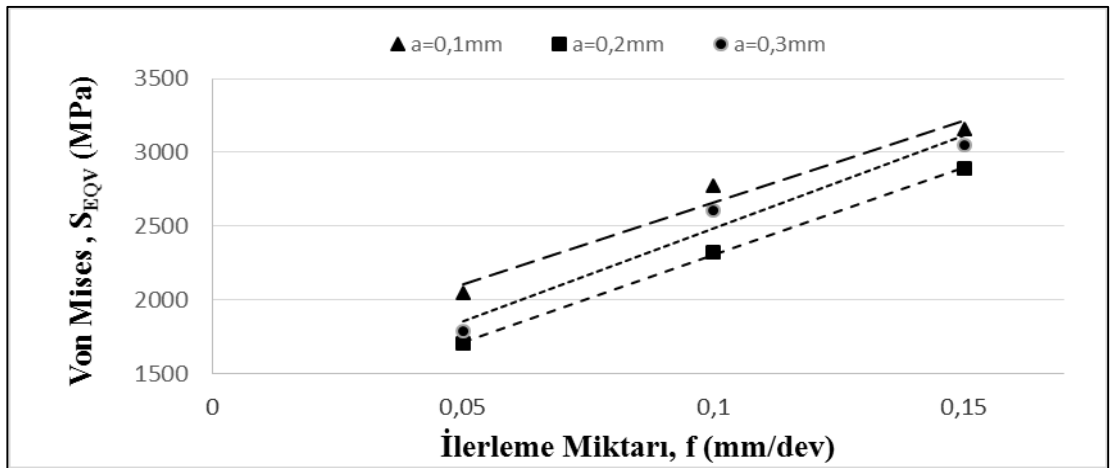
Çizelge 6.2'ye bakıldığında, esas kesme kuvveti üzerinde en fazla öneme sahip değişken % 59,55 PCR ile kesme derinliği olarak bulunmuştur.  $F_c$  üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise % 33,06 PCR ile ilerleme miktarıdır. Ayrıca, kesici uç yarıçapı % 5,72'lik PCR değeri ile az da olsa önemli bir faktördür. Diğer yandan, ANOVA tablosundaki P değerlerine göre, bu kesme şartları için kesme hızının % 95 güven düzeyinde  $F_c$  için önemli olmadığı belirlenmiştir.

## 6.2. KESİCİ TAKIM GERİLMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

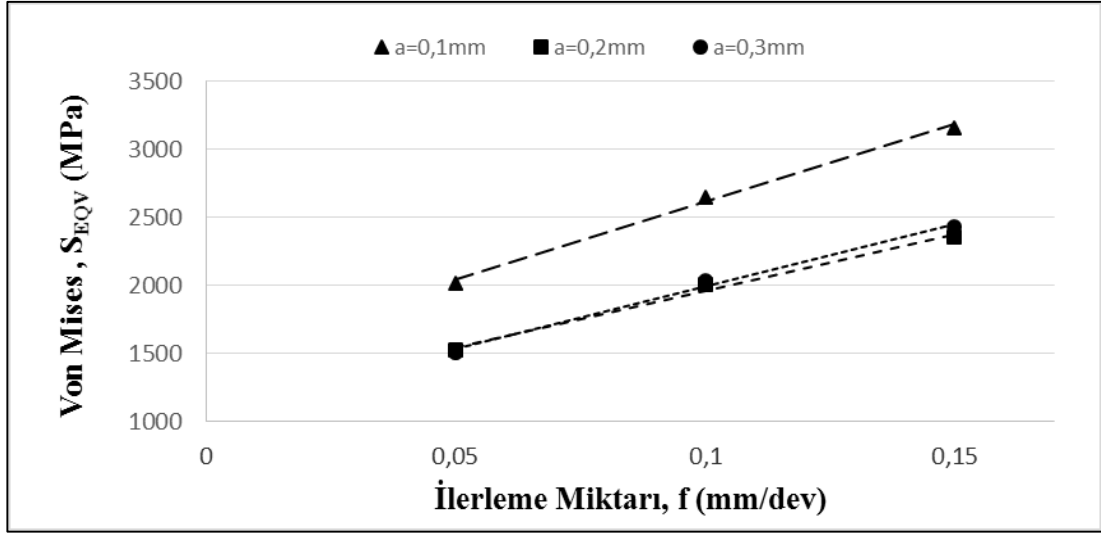
DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanması sırasında oluşan kesme kuvvetleri ölçülmüş olup, bu kuvvetler kullanılarak toplam 27 adet gerilme analizi yapılmıştır. Kesme derinliği (a), ilerleme miktarı (f), kesme hızı (V) ve kesici uç yarıçapı (r) faktörlerindeki değişimlere bağlı olarak kaplamalı seramik kesici takımlarda oluşan gerilmeler sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenmiştir. Gerilme analizleri sonucunda, faktörlerin kesici takım üzerindeki etkileri von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmelerine göre değerlendirilmiştir. Çizelge 6.1’de verilen  $S_{EQV}$  değerleri Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de grafikler halinde verilmiştir.



Şekil 6.6. Kesme parametrelerine bağlı  $S_{EQV}$ 'nin değişimi;  $r=0,4$ .



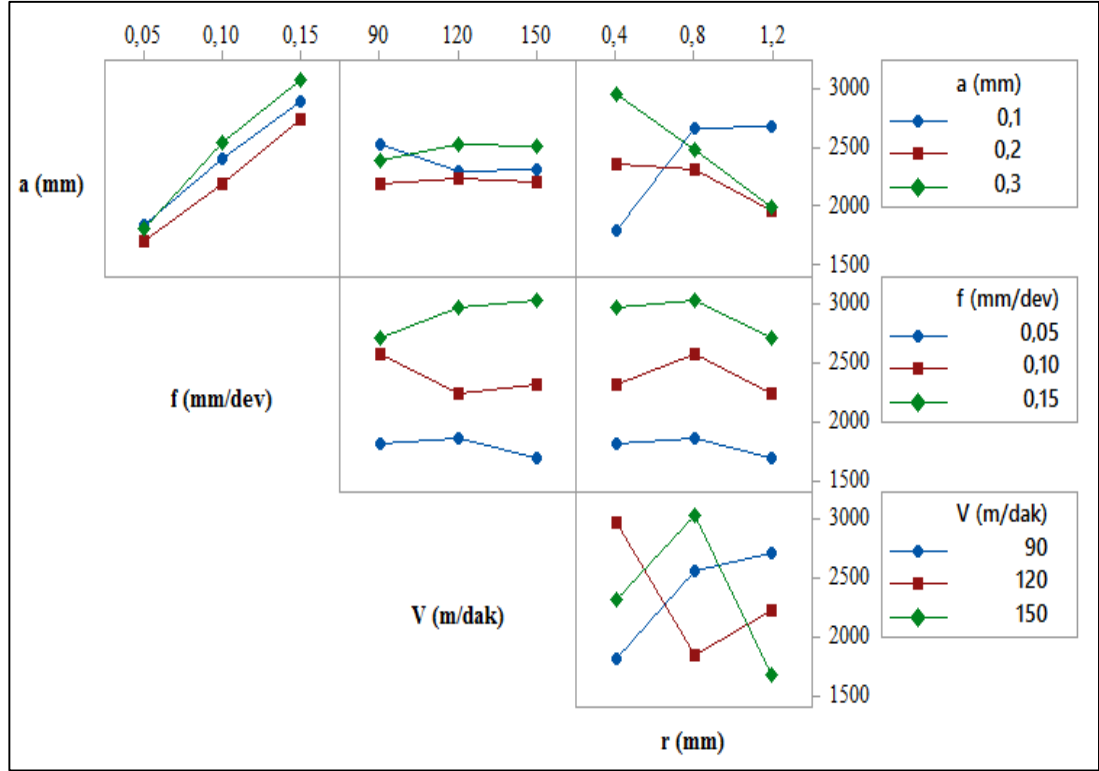
Şekil 6.7. Kesme parametrelerine bağlı  $S_{EQV}$ 'nin değişimi;  $r=0,8$ .



Şekil 6.8. Kesme parametrelerine bağlı  $S_{EQV}$ 'nin değişim;  $r=1,2$ .

Grafikler genel olarak incelendiğinde;  $r=0,8$  mm ve  $r=1,2$  mm kesici takım yarıçapı için von Mises gerilmeleri benzer eğilim gösterirken,  $r=0,4$  mm'lik takım için farklı bir eğilim gerçekleşmiştir. İlerleme miktarının artmasıyla birlikte 3 farklı kesici uç yarıçapı için kesici takım gerilmelerinde bir artış eğilimi meydana gelmiştir. Fakat kesme derinliğinin artması ile  $r=0,4$  mm uç yarıçapı için kesici takım gerilmelerinde artış olurken,  $r=0,8$  mm ve  $r=1,2$  mm uç yarıçapları için  $S_{EQV}$  gerilme değerlerinde düzenli bir artış ya da azalma eğilimi olmamıştır. 0,4 mm kesici uç yarıçapına sahip takım için  $S_{EQV}$  gerilme değerlerindeki bu eğilim, kesme derinliğinin kesme kuvvetlerinde oluşturduğu artışın, takım-talaş temas alanında oluşturduğu artıştan daha büyük olmasına atıf edilebilir. Kesici uç yarıçapı 1,2 mm olan takım için kesme derinliği 0,1 mm'den 0,2 mm'ye arttığında, gerilmeler bir anda azalırken, kesme derinliği 0,2 mm'den 0,3 mm'ye çıktığında küçük bir artış meydana gelmiştir. 1,2 mm uç yarıçapına sahip kesici takım ile 0,8 mm uç yarıçaplı kesici takım benzer durumlar göstermektedir.

Ayrıca, DIN 1.2210 malzemesinin işlenmesinde, faktörlerin von Mises gerilmeleri üzerindeki etkilerini daha detaylı inceleyebilmek için etkileşim grafikleri çizilmiş olup, Şekil 6.9'da verilmiştir. Kesme derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla gerilme değerlerinde bir artış meydana gelmiştir. Diğer yandan; a-V, f-V etkileşim grafiklerinden, kesme hızının artmasıyla gerilme değerlerinde önemli bir azalmanın olmadığı görülmektedir.



Şekil 6.9.  $S_{EQV}$ 'nin kesme parametrelerine göre değişimi.

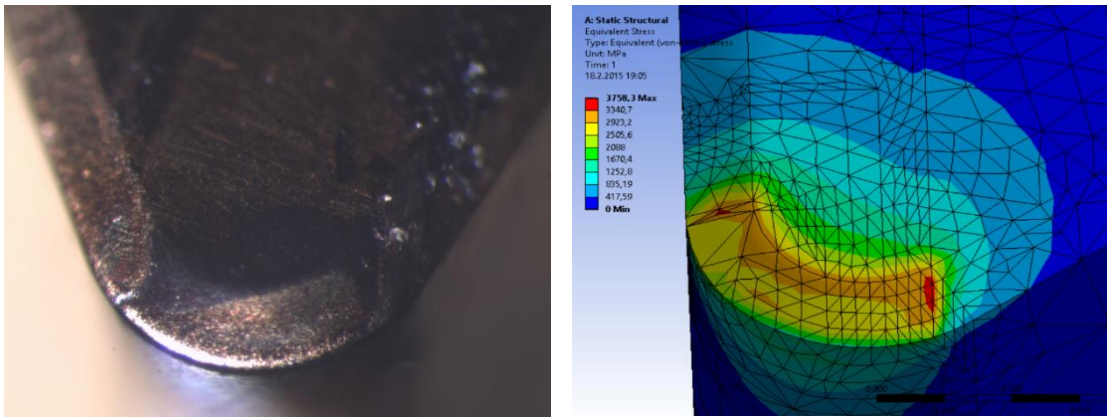
Çizelge 6.1'de verilen gerilme analizi sonuçlarından görülebileceği gibi;  $r=0,4$  mm için en küçük von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilme değeri kesme hızının 90 m/dak, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,1 mm olduğu durumda 1423 MPa, en büyük gerilme değeri ise kesme hızının 120 m/dak, ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,3 mm olduğu durumda 3758 MPa olarak bulunmuştur.  $r=0,8$  mm için en küçük  $S_{EQV}$  değeri; kesme hızının 120 m/dak, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,2 mm olduğu durumda 1705 MPa, en büyük değer ise kesme hızının 150 m/dak, ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,1 mm olduğu durumda 3161 MPa olarak tespit edilmiştir.  $r=1,2$  mm için en küçük  $S_{EQV}$  değeri; kesme hızının 150 m/dak, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,3 mm olduğu durumda 1513 MPa, en büyük değer ise kesme hızının 90 m/dak, ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,1 mm olduğu durumda 3163 MPa olarak belirlenmiştir.

Gerilme analizi sonuçları incelendiğinde; en küçük von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmesi,  $r=0,4$  mm'lik kesici takımla, kesme hızının 90 m/dak, ilerleme miktarının 0,05

mm/dev ve kesme derinliğinin 0,1 mm olduğu durumda 1423 MPa olarak elde edilmiştir. En büyük von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmesi;  $r=0,4$  mm, kesme hızının 120 m/dak, ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,3 mm olduğu durumda 3758 MPa olarak bulunmuştur (Çizelge 6.1).

DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliğinin kaplamalı seramik kesici takımlar ile sert tornalanması sonucu oluşan von Mises gerilmeleri ANSYS 14.5 paket programı yardımıyla elde edilmiştir. Kesici takımlarda meydana gelebilecek aşınma bölgesinin veya aşınma biçiminin, özellikle von Mises gerilme dağılımlarına bağlı olarak tahmin edilebileceğinden bahsedilmektedir [35]. Bu bağlamda, 0,4 mm ve 0,8 mm kesici uç yarıçapı için ANSYS ile gerçekleştirilen gerilme analizi sonuçları ( $S_{EQV}$ ) Şekil 6.10b ve Şekil 6.11b’de gösterilmiştir. Ayrıca, hem ANSYS programından elde edilen sonuçların tutarlılığını göstermek, hem de kesici takımlarda olası muhtemel aşınma bölgesini belirlemek için Nikon SMZ745T model takım mikroskobundan görüntüler alınmıştır (Şekil 6.10a-6.11a).

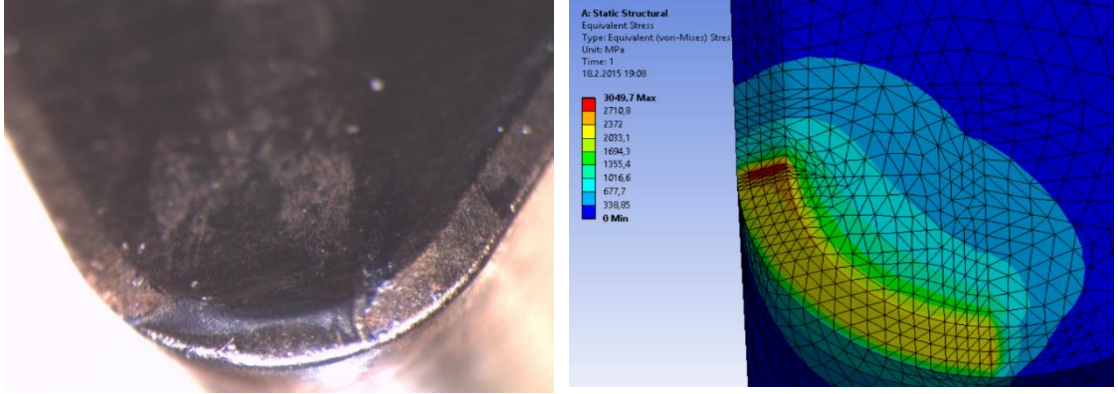
Kesici takımda olası muhtemel aşınma bölgelerinin tespiti için ANSYS’te yapılan gerilme analizi sonucunda oluşan takım görüntüleri ile takım mikroskobuyla kesici takımlardan alınan fotoğraflar çok benzerdir. Bu sonuç, gerilme analizinde kullanılan takım-talaş temas alanı modeli ve kesme kuvveti bileşenlerinin seçilen takım talaş alanına uygulanması yönteminin doğruluğunu göstermektedir.



a) Mikroskop

b) ANSYS

Şekil 6.10.  $a=0,3$ mm,  $f=0,15$ mm/dev,  $r=0,4$ mm için kesici takım görüntüleri.



a) Mikroskop

b) ANSYS

Şekil 6.11.  $a=0,3\text{mm}$ ,  $f=0,15\text{mm/dev}$ ,  $r=0,8\text{mm}$  için kesici takım görüntüleri.

### 6.3. MATEMATİKSEL MODELLEME SONUÇLARI

#### 6.3.1. Yapay Sinir Ağları (YSA) Analizi

Yapay sinir ağları, literatüre bakıldığında birçok mühendislik alanında kullanılmış ve bu alanlarda olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Yapay sinir ağlarının kullanıldığı alanlarda zamandan tasarruf sağlanmış ve masraflarda azalma görülmüştür. Deneysel olarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında hata oranının çok az olduğu tespit edilmiştir [77].

DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde elde edilen esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve ANSYS 14.5 paket programı ile elde edilen von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmeleri 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.

#### 6.3.1.1. Esas Kesme Kuvvetinin Modellenmesi

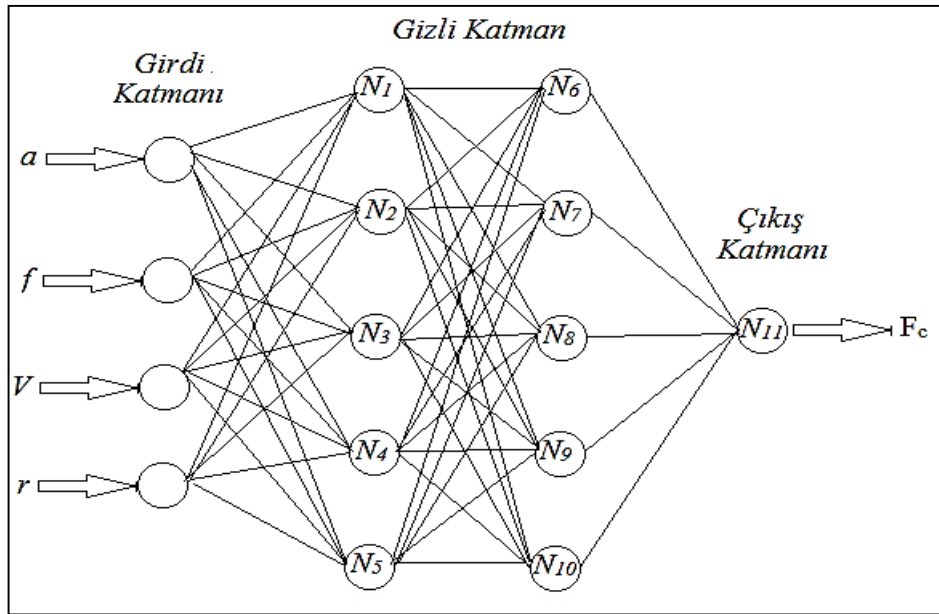
Kesici takımların her bir farklı yarıçapı için 9 olmak üzere toplam 27 adet sert tornalama deneyi sonucunda ölçülen  $F_c$  değerleri için YSA analizleri yapılmıştır.



*Pythia* programına; kesme derinliği, ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesici takım yarıçapı *giriş* faktörleri,  $F_c$  değerleri de *çıkış* faktörü olarak girilmiştir.

YSA ile modellemede 6 adet deney sonucu test edilmesi (doğrulanması) için seçilmiş, bunun dışında kalan diğer 21 adet deney değeri ise *Pythia*'da öğrenme verisi olarak kullanılmıştır. *Giriş* ve *çıkış* bilgileri programa aktarıldıktan sonra, model için en uygun ağ yapısının (topolojinin) analizine geçilmiştir. Program veri setindeki dört *giriş* ve bunlara bağlı olarak bir *çıkış* değerini inceleyerek uygun ağ yapısını bulmak için çok sayıda denemeler yapılmıştır.

Esas kesme kuvvetinin YSA ile modellenmesinde en uygun ağ yapısı 4-5-5-1 olarak belirlenmiştir. Seçilen ağ yapısına göre, *Pythia* programında iki seviyeli *gizli* katmanın uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Buna göre birinci ve ikinci seviyedeki *gizli* katmanlarda kullanılacak nöron sayısı program tarafından toplam 10 olarak seçilmiştir. Sonuç olarak,  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5$  nöronları *gizli* katmandaki birinci seviye,  $N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}$  nöronları da *gizli* katmandaki ikinci seviye olarak belirlenmiştir.  $N_{11}$  ise ağın *çıkış* nöronudur. Şekil 6.12'de  $F_c$ 'nin tahmininde kullanılacak en uygun ağ topolojisi verilmiştir.



Şekil 6.12. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) için ağ yapısı.

YSA'da uygun ağ yapıları belirlendikten sonra, ağın eğitilmesi için gerekli parametreler girilerek ağın eğitilmesi sağlanmıştır. Eğitim sonucunda nöronlara ait ağırlıklar bulunarak, YSA çıktı değerleri ile gerçek deney sonuçlarından ortalama sapma değeri hesaplanmıştır. Tahmini esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) için geliştirilen çıkış nöronu, Fermi aktivasyon fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{i11} = \frac{1}{1+e^{-4(\sum_i^n w_i N_i - 0,5)}} \quad (6.1)$$

Burada,  $n$  gizli katmanda kullanılan nöron sayısını ve  $w_i$  nöronların ağırlık değerlerini göstermektedir.  $N_i$  ise gizli katmanda kullanılan her bir nöronun  $F_c$  değeri üzerindeki etkisi olup, YSA modelinde kullanılan kesme parametrelerine göre;

$$E_i = 4 \cdot (c_{1i} \cdot a + c_{2i} \cdot f + c_{3i} \cdot V + c_{4i} \cdot r - 0,5) \quad (6.2)$$

olmak üzere;

$$N_i = \frac{1}{1+e^{-E_i}} \quad (6.3)$$

biçiminde tanımlanmıştır. Burada  $C_{ij}$  sabitleri, *Pythia* programında veri setinin eğitimi sonucunda gizli katmanda kullanılan her bir nöron için ağırlık değerlerini ( $w$ ) göstermektedir. Her bir nöronun  $F_c$  üzerindeki etkisinin tanımlamasında kullanılan ağırlık değerleri ( $C_{ij}$ ) Çizelge 6.3'te verilmiştir. Nöronların ağırlık değerleri *Pythia* programından elde edilmiş olup,  $C_{ij}$  sabitlerinden birinci seviyede dört, ikinci seviyede beş sabit bulunmaktadır.

$F_c$ 'nin ağ yapısında iki seviyeli gizli katman olduğundan; birinci seviye nöronlar ( $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5$ ) için Eş.6.4 kullanılmıştır. Ancak ikinci seviye nöronların ( $N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}$ ) birinci seviye nöronlarla bağlantısı nedeniyle,  $i= 6, 7, 8, 9, 10$  için Eş.6.5 kullanılmıştır. Kesme parametrelerine bağlı olarak geliştirilen  $F_c$  tahmin modeli için ağın çıkış nöronu,  $N_{11}$ , YSA ağ yapısındaki ağırlık değerleri kullanılarak Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre Eş.6.6 ile elde edilmiştir. Son olarak,  $F_c$  tahminlerini yapabilmek için geliştirilen matematiksel model Eş.6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.3.  $F_c$  için her bir nöronun ağırlık değerleri.

$i$	$C_{1i}$	$C_{2i}$	$C_{3i}$	$C_{4i}$	$C_{5i}$
<b>Birinci seviye nöronlar</b>					
1	-0,069574	0,928027	-0,152107	-0,091286	
2	1,225526	-0,304619	-0,114854	-0,173383	
3	-0,322187	-0,013451	-0,723897	-0,000646	
4	-0,112509	0,314271	0,118133	0,466456	
5	-0,511034	0,213585	0,021276	-0,88778	
<b>İkinci seviye nöronlar</b>					
6	0,093055	0,878187	-1,355451	0,422687	-1,013594
7	-0,757846	-0,149172	0,745431	0,491689	0,888804
8	-0,739409	1,159156	-0,534319	-0,485327	-0,182251
9	-0,759027	0,102064	0,093285	0,083169	0,752846
10	-0,730839	-0,530605	0,58552	-0,541035	0,266742

$$E_{i1-5} = w_{1i} \cdot a + w_{2i} \cdot f + w_{3i} \cdot V + w_{4i} \cdot r \quad (6.4)$$

$$E_{i6-10} = w_{i6} \cdot N_1 + w_{i7} \cdot N_2 + w_{i8} \cdot N_3 + w_{i9} \cdot N_4 + w_{i10} \cdot N_5 \quad (6.5)$$

$$E_{i11} = \frac{1}{1 + e^{-4(1,827672 \cdot N_6 - 1,783088 \cdot N_7 - 0,973125 \cdot N_8 - 0,982399 \cdot N_9 + 0,37728 \cdot N_{10})}} \quad (6.6)$$

$$F_c = E_{i11} \cdot (F_{c_{max}} - F_{c_{min}}) + F_{c_{min}} \quad (6.7)$$

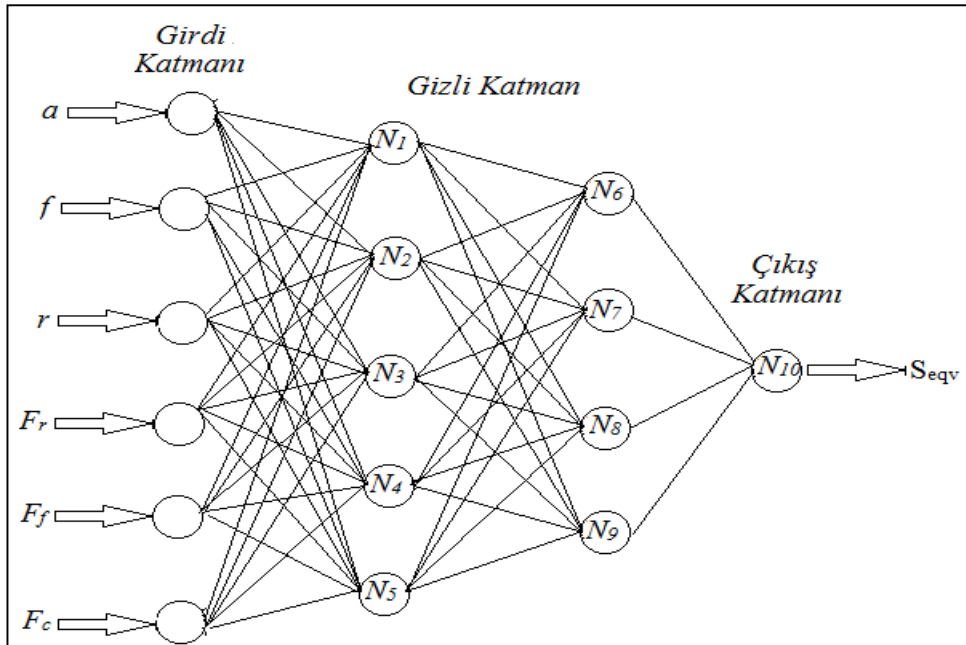
### 6.3.1.1. Kesici Takım Gerilmelerinin (von Mises<sub>SEQV</sub>) Modellenmesi

Sert tornalama deneyi sonucunda ölçülen kesme kuvveti değerleri kullanılarak ANSYS'te elde edilen  $S_{EQV}$  değerleri için YSA analizleri yapılmıştır. ANOVA sonuçlarına ve *Pythia* programına göre kesme hızının gerilmeler üzerinde bir ağırlığının olmadığı tespit edildiğinden, bu parametre YSA analizinde giriş faktörü olmaktan çıkarılmıştır. Bu sayede YSA'nın amaçları doğrultusunda zamandan tasarruf edilmiştir. Analizde kesme derinliği, ilerleme miktarı, kesici takım yarıçapı,

radyal kuvvet, ilerleme kuvveti ve esas kesme kuvveti *giriş* faktörleri,  $S_{EQV}$  değerleri ise *çıkış* faktörü olarak girilmiştir.

Esas kesme kuvveti için uygulanan YSA modelleme prosedürü,  $S_{EQV}$ 'nin modellenmesinde de uygulanmıştır. Modelleme sürecinde, ANSYS'te hesaplanan 6 adet  $S_{EQV}$  değeri test için seçilmiş, bunun dışında kalan diğer 21 adet gerilme analizi değeri 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 altı *giriş* ve bunlara bağlı olarak bir *çıkış* değerini inceleyerek uygun ağ yapısını bulmak için çok sayıda denemeler yapılmıştır.

Von Mises gerilmelerinin YSA ile modellenmesinde en uygun ağ yapısı 6-5-4-1 olarak belirlenmiştir. Seçilen ağ yapısına göre, *Pythia* programında iki seviyeli *gizli* katmanın uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Buna göre birinci ve ikinci seviyedeki *gizli* katmanlarda kullanılacak nöron sayısı program tarafından toplam 9 olarak seçilmiştir. Sonuç olarak,  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5$  nöronları *gizli* katmandaki birinci seviye,  $N_6, N_7, N_8, N_9$  nöronları da *gizli* katmandaki ikinci seviye olarak belirlenmiştir.  $N_{10}$  ise ağın *çıkış* nöronudur. Şekil 6.13'te  $S_{EQV}$ 'nin tahmininde kullanılacak en uygun ağ topolojisi verilmiştir.



Şekil 6.13. Von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmesi için ağ yapısı.

YSA'da uygun ağ yapıları belirlendikten sonra, ağın eğitilmesi için gerekli parametreler girilerek ağın eğitilmesi sağlanmıştır. Eğitim sonucunda nöronlara ait ağırlıklar bulunarak, YSA çıktı değerleri ile gerçek gerilme analizi sonuçlarından ortalama sapma değeri hesaplanmıştır. Tahmini von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmeleri için geliştirilen çıkış nöronu, esas kesme kuvvetinde olduğu gibi yine Fermi aktivasyon fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{i10} = \frac{1}{1 + e^{-4(\sum_i^n w_i \cdot N_i - 0,5)}} \quad (6.8)$$

Burada,  $n$  gizli katmanda kullanılan nöron sayısını ve  $w_i$  nöronların ağırlık değerlerini göstermektedir.  $N_i$  ise gizli katmanda kullanılan her bir nöronun  $S_{EQV}$  değeri üzerindeki etkisi olup, YSA modelinde kullanılan giriş parametrelerine göre;

$$E_i = 4 \cdot (c_{1i} \cdot a + c_{2i} \cdot f + c_{3i} \cdot r + c_{4i} \cdot F_r + c_{5i} \cdot F_f + c_{6i} \cdot F_c - 0,5) \quad (6.9)$$

olmak üzere;

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

biçiminde tanımlanmıştır. Burada  $C_{ij}$  sabitleri, *Pythia* programında veri setinin eğitimi sonucunda gizli katmanda kullanılan her bir nöron için ağırlık değerlerini ( $w$ ) göstermektedir. Her bir nöronun  $S_{EQV}$  üzerindeki etkisinin tanımlanmasında kullanılan ağırlık değerleri ( $C_{ij}$ ) Çizelge 6.4'te verilmiştir. Nöronların ağırlık değerleri *Pythia* programından elde edilmiş olup,  $C_{ij}$  sabitlerinden birinci seviyede altı, ikinci seviyede beş sabit bulunmaktadır.

$S_{EQV}$ 'nin ağ yapısında iki seviyeli gizli katman olduğundan; birinci seviye nöronlar ( $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5$ ) için Eş.6.11 kullanılmıştır. Ancak ikinci seviye nöronların ( $N_6, N_7, N_8, N_9$ ) birinci seviye nöronlarla bağlantısı nedeniyle,  $i = 6, 7, 8, 9$  için Eş.6.12 kullanılmıştır. Kesme parametrelerine bağlı olarak geliştirilen  $S_{EQV}$  tahmin modeli için ağın çıkış nöronu,  $N_{10}$ , YSA ağ yapısındaki ağırlık değerleri kullanılarak Fermi

aktivasyon fonksiyonuna göre Eş.6.13 ile elde edilmiştir. Son olarak  $S_{EQV}$  tahmin modeli ise Eş.6.14 ile elde edilmiştir.

Çizelge 6.4.  $S_{EQV}$  için her bir nöronun ağırlık değerleri.

$i$	$C_{1i}$	$C_{2i}$	$C_{3i}$	$C_{4i}$	$C_{5i}$	$C_{6i}$
<b>Birinci seviye nöronlar</b>						
1	-0,91138	-0,133559	-0,730353	-1,005679	0,252854	-0,104121
2	1,925298	-0,027402	0,387575	0,299437	-1,53551	-0,198942
3	-0,593982	0,286762	0,147384	-1,337632	1,742133	0,692326
4	0,578724	-0,299297	0,573789	-0,877073	0,242117	-0,430807
5	-0,54996	0,526924	1,414469	0,121159	0,430443	-0,516363
<b>İkinci seviye nöronlar</b>						
6	-0,989802	0,409669	0,984671	-1,002142	-1,331191	
7	-1,520152	-0,594048	1,105878	0,141503	0,728669	
8	-1,220282	-1,756197	0,53196	0,405834	0,930967	
9	1,260529	-0,506648	-0,46402	1,06631	0,019189	

$$E_{i1-5} = w_{1i} \cdot a + w_{2i} \cdot f + w_{3i} \cdot r + w_{4i} \cdot F_r + w_{5i} \cdot F_f + w_{6i} \cdot F_c \quad (6.11)$$

$$E_{i6-9} = w_{i6} \cdot N_1 + w_{i7} \cdot N_2 + w_{i8} \cdot N_3 + w_{i19} \cdot N_4 \quad (6.12)$$

$$E_{i10} = \frac{1}{1 + e^{-4(1,193754 \cdot N_6 + 0,544343 \cdot N_7 + 0,538419 \cdot N_8 - 1,742345 \cdot N_9)}} \quad (6.13)$$

$$S_{eqv} = E_{i10} \cdot (S_{eqv_{max}} - S_{eqv_{min}}) + S_{eqv_{min}} \quad (6.14)$$

#### 6.4. DENEYSSEL SONUÇLAR İLE MODEL SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliğinin seramik kesici takımlar ile işlenmesinde oluşan esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilme değerleri ile matematiksel modellerden elde edilen tahmin sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 6.5-Çizelge 6.7'de sunulmuştur. Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'da, modellemede eğitim için

belirlenen 21 adet deney ve gerilme analizi sonuçları ile  $F_c$  ve  $S_{EQV}$  için YSA analizi kullanılarak geliştirilen modellerin tahmin sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.7’de ise test için ayrılan deney ve gerilme analizi sonuçları ile matematiksel modellerden elde edilen değerlerin karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 6.5.  $F_c$  için deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması.

Giriş faktörleri					Deney sonuçları	YSA sonuçları	Hata oranı
No	a (mm)	f (mm/dev)	V (m/dak)	r (mm)	$F_c$ (N)	$F_c$ (N)	%
1	0,1	0,05	90	0,4	54,38	59,38	9,19
2	0,1	0,05	120	0,8	66,7	66,9	0,30
3	0,1	0,05	150	1,2	69,53	68,55	1,41
4	0,1	0,1	120	1,2	89,83	90,81	1,09
5	0,1	0,1	150	0,4	65,85	66,48	0,96
6	0,1	0,15	90	1,2	115,79	116,87	0,93
7	0,1	0,15	120	0,4	80,78	80,49	0,36
8	0,2	0,05	120	0,8	96,61	96,43	0,19
9	0,2	0,05	150	1,2	102,42	103,2	0,76
10	0,2	0,1	90	0,8	137,41	138,46	0,76
11	0,2	0,1	120	1,2	141,57	144,17	1,84
12	0,2	0,1	150	0,4	107,17	108,23	0,99
13	0,2	0,15	90	1,2	176,34	178,36	1,15
14	0,2	0,15	150	0,8	174,82	176,84	1,16
15	0,3	0,05	90	0,4	111,4	110,93	0,42
16	0,3	0,05	120	0,8	122,66	122,88	0,18
17	0,3	0,1	90	0,8	185,91	186,81	0,48
18	0,3	0,1	150	0,4	159,42	160,48	0,66
19	0,3	0,15	90	1,2	234,3	229,03	2,25
20	0,3	0,15	120	0,4	219,73	222,31	1,17
21	0,3	0,15	150	0,8	229,6	226,93	1,16

Çizelge 6.6.  $S_{EQV}$  için ANSYS analizi ile matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması.

Giriş faktörleri							ANSYS analiz sonuçları	YSA sonuçları	Fark
No	a	f	r	$F_r$	$F_f$	$F_c$	$S_{EQV}$ (MPa)	$S_{EQV}$ (MPa)	%
1	0,1	0,05	0,4	41,42	19,89	54,38	1423	1558	9,49
2	0,1	0,05	0,8	61,82	23,35	66,7	2048	2011	1,81
3	0,1	0,05	1,2	67,52	21,98	69,53	2021	1985	1,78
4	0,1	0,1	0,8	84,81	27,86	89,16	2774	2782	0,29
5	0,1	0,1	1,2	89,59	25,99	89,83	2654	2650	0,15
6	0,1	0,1	0,4	53,86	20,69	65,85	1770	1759	0,62
7	0,1	0,15	0,8	97,41	28,35	110,3	3161	3142	0,60
8	0,2	0,05	0,4	66,42	47,65	83,72	1884	1843	2,18
9	0,2	0,05	0,8	93,04	46,21	96,61	1705	1676	1,70
10	0,2	0,1	1,2	143,54	56,37	141,57	2012	2046	1,69
11	0,2	0,1	0,4	83,9	50,26	107,17	2213	2231	0,81
12	0,2	0,15	1,2	170,31	62,64	176,34	2355	2390	1,49
13	0,2	0,15	0,4	114,27	61,05	146,87	2973	3023	1,68
14	0,2	0,15	0,8	163,36	71,05	174,82	2894	2941	1,62
15	0,3	0,05	0,4	78,07	75,01	111,4	2124	2131	0,33
16	0,3	0,05	1,2	131,37	65,25	127,27	1513	1560	3,11
17	0,3	0,1	0,8	164,5	98,83	185,91	2608	2707	3,80
18	0,3	0,1	1,2	178,57	85,92	184,96	2038	2058	0,98
19	0,3	0,15	1,2	216,28	97,58	234,3	2429	2500	2,92
20	0,3	0,15	0,4	146,72	116,32	219,73	3758	3716	1,12
21	0,3	0,15	0,8	197,91	109,59	229,6	3050	3102	1,70



Çizelge 6.7. Test için ayrılan deney sonuçları ile tahmin sonuçları.

Giriş faktörleri					Deney sonuçları	YSA sonuçları		
No	a (mm)	f (mm/dev)	V (m/dak)	r (mm)	F <sub>c</sub> (N)	F <sub>c</sub> (N)		
1	0,1	0,1	90	0,8	89,16	76,34		
2	0,1	0,15	150	0,8	110,3	129,7		
3	0,2	0,05	90	0,4	83,72	75		
4	0,2	0,15	120	0,4	146,87	144,22		
5	0,3	0,05	150	1,2	127,27	131,9		
6	0,3	0,1	120	1,2	184,96	197,06		
Giriş faktörleri					ANSYS analiz sonuçları	YSA sonuçları		
No	a (mm)	f (mm/dev)	r (mm)	F <sub>r</sub> (N)	F <sub>f</sub> (N)	F <sub>c</sub> (N)	S <sub>EQV</sub> (MPa)	S <sub>EQV</sub> (MPa)
1	0,1	0,15	1,2	113,96	31,29	115,79	3163	3090
2	0,1	0,15	0,4	67,44	22,06	80,78	2165	2258
3	0,2	0,05	1,2	107,04	45,15	102,42	1524	1678
4	0,2	0,1	0,8	129,32	59,61	137,41	2323	2089
5	0,3	0,05	0,8	109,47	70,98	122,66	1788	1641
6	0,3	0,1	0,4	109,89	93,64	159,42	3373	3602

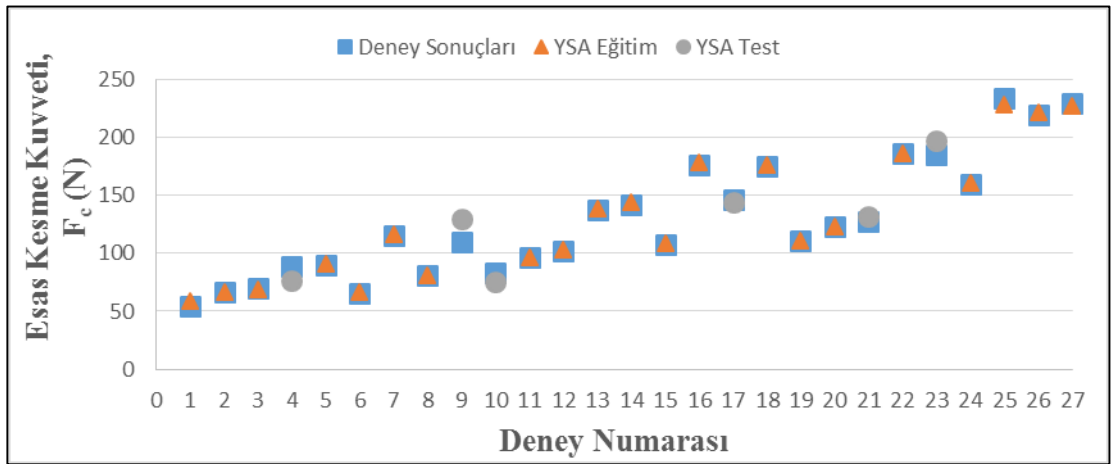
Çizelge 6.7’de verilen sonuçlar incelendiğinde, esas kesme kuvveti için a=0,2 mm, f=0,15 mm/dev, V=120 m/dak ve r=0,4 mm kesme şartlarında F<sub>c</sub> değeri 146,87 N olarak ölçülürken, YSA tahmininde % 1,8 azalarak 144,22 N olarak elde edilmiştir. Ayrıca a=0,3 mm, f=0,3 mm/dev, V=150 m/dak ve r=1,2 mm kesme şartlarında F<sub>c</sub> değeri 127,27 N olarak elde edilirken, YSA tahmin sonucunda % 3,29 aratarak 131,9 N olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.7’de S<sub>EQV</sub> için verilen karşılaştırma tablosu incelendiğinde, a=0,1 mm, f=0,15 mm/dev, r=1,2 mm, F<sub>r</sub>=113,96 N, F<sub>f</sub>=31,29 N, F<sub>c</sub>=115,79 N için yapılan analiz sonucu S<sub>EQV</sub> değeri 3163 MPa olarak hesaplanırken, YSA tahmininde % 2,31 azalarak 3090 MPa olarak elde edilmiştir. Ayrıca a=0,1 mm, f=0,15 mm/dev, r=0,4

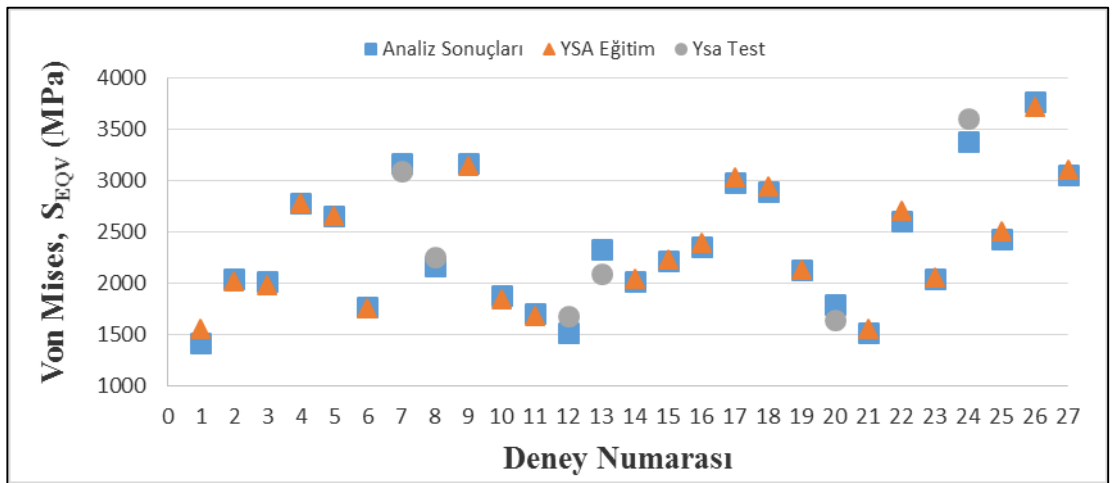
mm,  $F_r=67,44$  N,  $F_f=22,06$  N,  $F_c=80,78$  N için yapılan analiz sonucu  $S_{EQV}$  değeri 2165 MPa olarak hesaplanırken, YSA tahmininde % 4,3 artarak 2258 MPa olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6.7'deki değerlerin tamamı değerlendirildiğinde; tahmin sonuçları ile deney sonuçları arasında esas kesme kuvveti için yaklaşık  $\pm\% 10$  hata, von Mises gerilmeleri için yaklaşık  $\pm\% 10$ 'dan daha az farkın olduğu belirlenmiştir.

Deney sonuçları, YSA eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması, Şekil 6.14'te esas kesme kuvveti, Şekil 6.15'te von Mises gerilmelerine göre nokta grafiği olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.14.  $F_c$ 'nin deney, YSA eğitim ve test sonuçları.



Şekil 6.15.  $S_{EQV}$ 'nin analiz, YSA eğitim ve test sonuçları.

Bu çalışmanın son aşamasında, deneysel veriler yardımıyla geliştirilen matematiksel modellerin uygunluğunu göstermek amacıyla modellerin güvenilirliği çeşitli hata kontrol yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

YSA'daki eğitim ve test işlemleri belirli bir hata (deney/analiz 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 hata kareler ortalaması (*mean squared error, MSE*) aynı zamanda ağ performansını da belirleyen bir kriterdir. Öğrenme sonundaki YSA model sonuçlarının gerçek deney/analiz sonuçlarına uygunluğunda; hata kareler ortalaması karekökü (*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 değerlerin yüzde hata (*% Hata*) değerleri belirlenmiştir:

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

$$RMS = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i e_i^2} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2} \quad (6.16)$$

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_i (t_i - o_i)^2}{\sum_i o_i^2} \right) \quad (6.17)$$

$$\%Hata = \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (6.18)$$

$$MAPE = \frac{1}{p} \sum_i \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (6.19)$$

Eş. 6.15 – Eş. 6.19'da  $p$ ,  $t_i$ ,  $o_i$  ve  $e_i$ ; sırasıyla örnek deney/analiz sayısını, deney/analiz sonucu elde edilen çıktı değişkeni değerini, YSA sonucu bulunan çıktı katmanı değerini ve hata değerini göstermektedir. %Hata bütün örnekler için hesaplanmakta ve bunlar içinden en yüksek olanı maksimum yüzde hatayı vermektedir. Yüzde hataları toplamının örnek sayısına bölünmesiyle ortalama mutlak yüzde hata (*MAPE*) değerleri bulunmuştur. Eş. 6.16'daki RMS'nin 0'a yakınlığı

geliştirilen modelin başarı oranını gösteren bir kriter olarak kullanılmıştır. Eş. 6.17'deki  $R^2$  gerçek deney/analiz sonuçları ile matematiksel model sonuçları arasındaki uyumu belirten bir katsayıdır.  $R^2$  değeri 1'e yaklaştıkça geliştirilen modelin başarı oranı yükselmektedir. Eş. 6.19'daki en küçük MAPE değeri modelin uygulanabilirlik başarısını göstermektedir [64,68].

Çizelge 6.8'de, esas kesme kuvveti için geliştirilen modelle hesaplanan  $F_c$  değerlerinin, Çizelge 6.9'da von Mises gerilmeleri için geliştirilen modelle hesaplanan  $S_{EQV}$  değerlerinin gerçek sonuçlara uygunluğunda kullanılan hata kareler ortalaması karekökü ( $RMS$ ), belirlilik katsayıları ( $R^2$ ), ve ortalama mutlak yüzde hata ( $\pm \% MAPE$ ) değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.8.  $F_c$  için YSA modeline ait hata kontrol tablosu.

	<b>RMS</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>MAPE</b>
<b>YSA eğitim verisi</b>	0,2072	0,999786	1,266749
<b>YSA test verisi</b>	1,148637	0,992483	9,144254

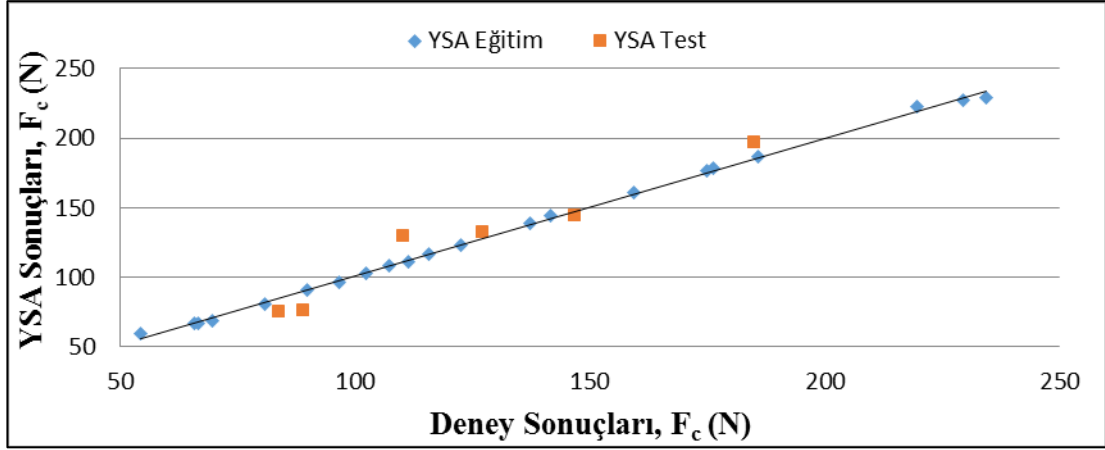
Çizelge 6.9.  $S_{EQV}$  için YSA modeline ait hata kontrol tablosu.

	<b>RMS</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>MAPE</b>
<b>YSA eğitim verisi</b>	5,040597	0,999574	1,84495
<b>YSA test verisi</b>	16,65833	0,995559	7,029301

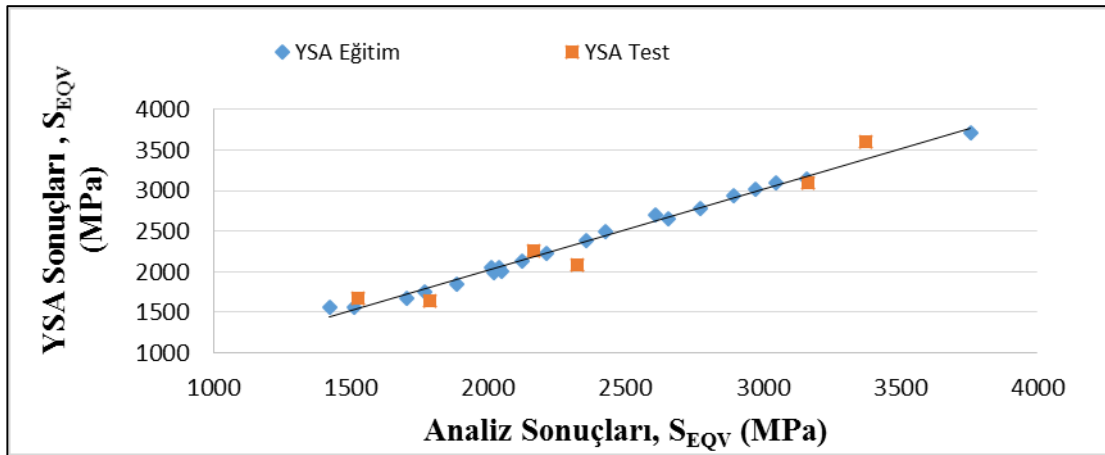
Çizelge 6.8 incelendiğinde, eğitim sonucundaki ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) % 1,266749 olurken, test sonuçlarına bakıldığında MAPE % 9,144254 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 6.9'a bakıldığında eğitim sonucundaki ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) % 1,84495 olurken, test sonuçlarına bakıldığında MAPE % 7,029301 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 6.8 ve 6.9'dan görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar, özellikle  $R^2$  değerinin % 99 olarak hesaplanması,  $F_c$  ve  $S_{EQV}$  için geliştirilen YSA modellerin uygunluğunu göstermektedir.

Şekil 6.16 ve 6.17'de, YSA ile geliştirilen matematiksel modeller kullanılarak hesaplanan  $F_c$  ve  $S_{EQV}$  değerleri ile gerçek sonuçların uygunluğunu gösteren grafikler

verilmiştir. Deney/Analiz sonuçları ile YSA sonuçları karşılaştırıldığında, değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca, deney/analiz ve tahmini sonuçlar arasında %99 gibi yüksek belirlilik katsayısında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.16. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) için YSA performansı.



Şekil 6.17. Von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmesi için YSA performansı.

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Sertleştirilmiş DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliğinin sert tornalama yöntemiyle işlenebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, literatür araştırması ışığında gerçekleştirilen kesme deneylerine bağlı olarak esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve von Mises ( $S_{EQV}$ ) gerilmelerinin tahminini amaçlayan matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu amaçla, Taguchi  $L_{27}$  dikey dizinine göre yapılan sert tornalama deneyleri sonucunda ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve bu kuvvetler doğrultusunda gerçekleştirilen gerilme analizi sonucunda  $S_{EQV}$  değerleri belirlenmiştir. Yapay sinir ağları (YSA) yöntemi kullanılarak,  $F_c$  ve  $S_{EQV}$  için ayrı ayrı matematiksel modeller geliştirilmiş ve çeşitli hata kontrol yöntemleriyle modellerin uygunluğu analiz edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliğinin kaplamalı seramik kesici takımlar ile işlenmesinde, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kesici uç yarıçapının artmasıyla esas kesme kuvvetinde bir artışın olduğu belirlenmiştir.
- En küçük  $F_c$  değeri, kesici takım yarıçapının 0,4 mm, kesme hızının 90 m/dak, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,1 mm olduğu durumda 54,38 N olarak ölçülmüştür. En büyük  $F_c$  değeri, takım yarıçapının 1,2 mm, kesme hızının 90 m/dak, ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,3 mm olduğu durumda 234,3 N olarak ölçülmüştür.
- Sonlu elemanlar analizi sonucunda, aynı kesici takım yarıçapı için ilerleme miktarının artmasıyla kesici takım gerilmelerinin arttığı belirlenmiştir.

- En küçük von Mises (SEQV) gerilmesi,  $r=0,4$  mm'lik kesici takım ile, kesme hızının 90 m/dak, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,1 mm olduğu durumda 1423 MPa olarak elde edilmiştir. En büyük von Mises (SEQV) gerilmesi;  $r=0,4$  mm, kesme hızının 120 m/dak, ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve kesme derinliğinin 0,3 mm olduğu durumda 3758 MPa olarak bulunmuştur.
- Bu kesme şartlarında, kesme hızının hem esas kesme kuvveti, hem de von Mises gerilmeleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir.
- Faktörlerin  $F_c$  üzerindeki etki seviyelerini belirlemek amacıyla % 95 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır.  $F_c$  üzerinde en fazla öneme sahip değişken % 59,55 PCR ile kesme derinliği olarak bulunmuştur.
- Esas kesme kuvveti ve von Mises gerilmesi için deney/analiz sonuçları ile YSA modelleri tahmin sonuçları arasında, ortalama %1,5'lik bir sapma hesaplanmıştır.
- YSA ile geliştirilen matematiksel modeller ile hesaplanan  $F_c$  ve SEQV değerlerinin gerçek deney sonuçlarına uygunluğu, RMS,  $R^2$  ve MAPE gibi hata kontrol yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Özellikle  $R^2$  değerinin % 99 olarak bulunması,  $F_c$  ve SEQV için geliştirilen YSA modellerinin uygunluğunu onaylamıştır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre şu öneriler yapılabilir:

- DIN 1.2210 çeliğinin sert tormalama işleminde, seramik kesici takım için takım ömrü modeli geliştirilebilir.
- DIN 1.2210 çeliğinin sert tormalama işleminde kesici takım aşınması için kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılabilir.
- Aynı kesme şartlarında CBN kesici takım ile seramik kesici takımın performansı karşılaştırılabilir.

## KAYNAKLAR

1. DeGarmo, E. P., Black, J. T. and Kohser, R. A., “Materials and Processes in Manufacturing”, *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 533-600 (2013).
2. Kalpakjian, S. and Schmid, S. R., “Manufacturing Processes For Engineering Materials”, *Prentice Hall*, New Jersey, 404-460 (2003).
3. Yurtkuran H., “DIN 1.2344 çeliğinin tornalanmasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 40-45 (2013).
4. Shivpuri, R., “Dies and die materials for hot forging”, Dies and Die Materials ASM Handbook, *ASM International*, US, 47–61 (2005).
5. Grzesik, W., Rech, J. and Wanat, T., “Surface finish on hardened bearing steel parts produced by superhard and abrasive tools”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 255–262 (2007).
6. Rashid, W. B., Goel, S., Luo, X. and Ritchie, J. M., “The development of a surface defect machining method for hard turning processes”, *Wear*, 302 (1-2): 1124-1135 (2013).
7. Chou, Y. and Song, H., “Tool nose radius effects on finish hard turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 148 (2): 259–268 (2004).
8. Kundrak, J., Karpuschewski, B., Gyani, K. and Banac, V., “Accuracy of hard turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 202 (1-3): 328-338 (2008).
9. Aouici, H., Yallese, M. A., Chaoui, K., Mabrouki, T. and Rigal, J. F., “Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: Prediction model and cutting conditions optimization”, *Measurement*, 45 (3): 344-353 (2012).
10. Sahoo, A. K., and Sahoo, B., “Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts”, *Measurement*, 45: 2153-2165 (2012).
11. Dahlman, P., Gunnberg, F. and Jacobson, M., “The influence of rake angle, cutting feed and cutting depth on residual stresses in hard turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 147 (2): 181-184 (2004).



12. Kurt, A. ve Şeker, U., “Kesici uç pah açısının kesme kuvvetleri ve kesici takım gerilmelerine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 7 (4): 291-296 (2004).
13. Bouacha, K., Yallese, M. A., Mabrouki, T. and Rigal, J. F., “Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool”, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 28 (3): 349–361 (2010).
14. Suresh, R., Basavarajappa, S. and Samuel, G. L., “Predictive modelling of cutting force and tool wear in hard turning using response surface methodology”, *Procedia Engineering*, 38: 73-81 (2012).
15. Navas, V. G., Gonzalo, O. and Bengoetxea, I., “Effect of cutting parameters in the surface residual stresses generated by turning in AISI4340 steel”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 61: 48-57 (2012).
16. Kountanya, R., Al-Zkeri, İ. and Altan, T., “Effect of tool edge geometry and cutting conditions on experimental and simulated chip morphology in orthogonal hard turning of 100Cr6 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (11): 5068-5076 (2009).
17. Chinchankar, S. and Choudhury, S. K., “Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach”, *Measurement*, 46 (4): 1572-1584 (2013).
18. Bartarya, G. and Choudhury, S. K., “State of the art in hard turning”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 53 (1): 1-14 (2012).
19. Guddat, J., M’Saoubi, R., Alm, P. and Meyer, D., “Hard turning of AISI 52100 using PCBN wiper geometry inserts and the resulting surface integrity”, *Procedia Engineering*, 19: 118-124 (2011).
20. Uysal, A. ve Altan, E., “Ortogonal talaş kaldırmada kesici ağız yuvarlatma yarıçapının kesme kuvvetlerine etkilerinin deneysel incelenmesi”, *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 302-312 (2012).
21. Köksal, S., Nart, E. ve Batman, F., “Radyüslü ve pahlı kesici kenar mikro geometrilerinin kesme kuvveti takım sıcaklığı ve takım aşınmasına etkisi”, *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 323-335 (2012).
22. Remadna, M. and Rigal, J. F., “Evolution during time of tool wear and cutting forces in the case of hard turning with CBN inserts”, *Journal of Materials Processing Technology*, 178 (1-3): 67-75 (2006).
23. Jaanson, A., “A new approach to mathematical modelling of metal cutting process characteristics”, *5. Uluslararası DAAAM Baltık Konferansı*, Estonya, 133-139 (2006).

24. Neşeli, S., Asiltürk, İ., Yıldız, S., ve Sağlam, H., “Tornalama işleminde cevap yüzey metodu ile kesme kuvvetlerinin kesme parametrelerine bağlı olarak modellenmesi”, **3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu**, Ankara, 442-455 (2012).
25. Yücel, E. ve Günay, M., “Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin (ni-hard) tormalanmasında kesme kuvvetinin modellenmesi”, **3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu**, Ankara, 489-495 (2012).
26. Rao, C. J., Rao, D. N. and Srihari, P., “Influence of cutting parameters on cutting force and surface finish in turning operation”, **Procedia Engineering**, 64: 1405-1415 (2013).
27. Umbrello, D., Ambrogio, G., Filice, L. and Shivpuri, R., “A hybrid finite element method–artificial neural network approach for predicting residual stresses and the optimal cutting conditions during hard turning of AISI 52100 bearing steel”, **Materials and Design**, 29 (4): 873-883 (2008).
28. Özel, T. and Nadgir, A., “Prediction of flank wear by using back propagation neural network modeling when cutting hardened H-13 steel with chamfered and honed CBN tools”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 42 (2): 287–297 (2002).
29. Umbrello, D., Ambrogio, G., Filice, L. and Shivpuri R., “An ANN approach for predicting subsurface residual stresses and the desired cutting conditions during hard turning”, **Journal of Materials Processing Technology**, 189 (1-3): 143–152 (2007).
30. Senthilkumar, N., Tamizharasan, T. and Anandakrishnan, V., “An ANN approach for predicting the cutting inserts performances of different geometries in hard turning”, **Advances in Production Engineering & Management**, 8 (4): 231-241 (2013).
31. Wang, X., Wang, W., Huang, Y., Nguyen, N. and Krishnakumar, K., “Design of neural network-based estimator for tool wear modeling in hard turning”, **Journal of Intelligent Manufacturing**, 19: 383-396 (2008).
32. Uçun, İ., Aslantaş, K. ve Apaydın, D., “Çok kaplamalı kesici takımla tormalama işleminin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi”, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 7 (1): 69-82 (2010).
33. Yan, H., Hua, J. and Shivpuri, R., “Flow stress of AISI H13 die steel in hard machining”, **Materials and Design**, 28 (1): 272-277 (2007).
34. Umbrello, D., Rizzutia, S., Outeiro, J. C., Shivpuri, R. and M’Saoubi, R., “Hardness-based flow stress for numerical simulation of hard machining AISI H13 tool steel”, **Journal of Materials Processing Technology**, 199 (1-3): 64-73 (2008).

35. Kurt, A., “Modelling of the cutting tool stresses in machining of Inconel 718 using artificial neural networks”, *Expert Systems with Applications*, 36 (6): 9645-9657 (2009).
36. Karpat, Y. and Özel, T., “3-D FEA of hard turning: investigation of PCBN cutting tool micro- geometry effects”, *Transactions of NAMRI/SME*, 35: 1-8 (2007).
37. Rech, J., Kermouchea, G., Grzesik, W., Rosales, C. G., Khelloukia, A. and Navas, V. G., “Characterization and modelling of the residual stresses induced by belt finishing on a AISI52100 hardened steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 208 (1-3): 187–195 (2008).
38. Özel, T., “Computational modelling of 3D turning: Influence of edge micro-geometry on forces, stresses, friction and tool wear in PcBN tooling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (11): 5167–5177 (2009).
39. Gök, K., Erdem, M. ve Gök A., “AISI 1006 çeliğinin tornalama sürecinde kesici takım uç yarıçapının kesme sıcaklığı ve kesme kuvveti üzerindeki etkisinin numerik olarak incelenmesi”, *Tünav Bilim Dergisi*, 4 (1): 1-8 (2010).
40. Kurt, A. ve Şeker, U., “Kesici takım gerilmelerinin sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (4): 491-497 (2005).
41. Grzesik, W., “Influence of tool wear on surface roughness in hard turning using differently shaped ceramic tools”, *Wear*, 265 (3-4): 327–335 (2008).
42. Al-Athel, K. S. and Gadala, M. S., “The use of volume of solid (VOS) approach in simulating metal cutting with chamfered and blunt tools”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 53 (1): 23-30 (2011).
43. Shaw , M.C., “Metal Cutting Principles”, *Oxford University Press*, Oxford, 19-29 (1989).
44. Sundaram, S., Senthilkumar, P., Kumaravel, A. and Manoharan, N., “Study of flank wear in single point cutting tool using acoustic emission sensor techniques”, *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3 (4): 32- 36 (2008).
45. Zhang, J. H., “Theory and Technique of Precision Cutting”, *Pergamon Press*, Oxford, 1-50 (1991).
46. Remadna, M. and Rigal, J. F., “Evolution during time of tool wear and cutting forces in the case of hard turning with CBN inserts”, *Journal of Materials Processing Technology*, 178 (1-3): 67-75 (2006).
47. Sandvik, “Modern Metal Cutting-A Practical Handbook”, *Sandvik Coromant*, Sandviken, Sweden, 18-24 (1996).

48. Kyocera, “Kyocera Cutting Tools Turning Catalogue”, **Kyocera Industrial Ceramics Corporation**, North America (2012).
49. Cho I. S., Amanov A. and Kim J. D., “The effects of AlCrN coating, surface modification and their combination on the tribological properties of high speed steel under dry conditions”, **Tribology International**, 81: 61-72 (2015).
50. Trent, E. M., “Metal Cutting”, **Butterworths Press**, London, 1-171 (1989).
51. Sandvik, “AB Sandvik Coromant”, **SE-811 81 Sandviken**, İsveç, (2012).
52. Korucu, S. ve Kantemir, E. S., “Takım ömrü modellerinde sermet kesici takımlar için “n” üstel değerlerinin deneysel olarak araştırılması”, **3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu**, 414-421 (2012).
53. Huang, Y., Chou, Y. K. and Liang, S. Y., “CBN tool wear in hard turning: A survey on research progresses”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 35: 443–453 (2007).
54. Aslantaş, K., “TiN kaplanmış kesici takımlarda gerilme analizi ve takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısının etkisi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 9 (2): 185-190 (2003).
55. Aslantas, K., Uçun, I. and Cicek, A., “Tool life and wear mechanism of coated and uncoated Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiCN mixed ceramic tools in turning hardened alloy steel”, **Wear**, 274– 275: 442– 451 (2012).
56. Davim, J. P., “Machining of Hard Materials”, **Springer**, Protugal, 1-15 (2013).
57. Boy, M., Çiftçi, İ., Demir, H., Günay, M. ve Özhan, F., “Sertleştirilmiş çeliklerin sert tornalama yöntemi ile işlenmesi”, **3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu**, 362-370 (2012).
58. Akman, G., ve Özkan, C., “Sac imalatında karşılaşılan yapışma probleminin deney tasarımı ile çözümü”, **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, 12 (2): 187-199 (2011).
59. Gökce, B. ve Taşgetiren, S., “Kalite için deney tasarımı”, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 6 (1): 71-83 (2009).
60. Krishankant, Taneja, J., Bector, M. and Kumar, R., “Application of Taguchi Method for Optimizing Turning Process by the effects of Machining Parameters”, **International Journal of Engineering and Advanced Technology**, 2 (1): 263-274 (2012).
61. Saat, M., “Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı”, **Gazi Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi**, 3: 97-108 (2000).
62. Yıldırım, S., “Ürün tasarımı geliştirilmesi: Taguchi tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 8-15 (2011).

63. Çakıroğlu, R., “Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklığın modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 31-38 (2011).
64. Bulgan, A., “Pnömatik devrelerde optimum tasarım ve yapay sinir ağları ile titreşim analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 20-26 (2013).
65. Kirik, A., “Tornalamada kesme parametrelerindeki değişime göre yüzey pürüzlülüğünün tahmini için model geliştirme”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-37 (2010).
66. Akkuş, H., “Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleriyle tahmin edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 62-67 (2010).
67. Toktaş, İ., “Mekanik sistemler için bir kavramsal tasarım modelinin geliştirilmesinde yapay sinir ağlarının kullanılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 24-26 (2003).
68. Kurt, A., “Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve mekanik gerilmelerin deneysel olarak incelenmesi ve matematiksel modellerinin oluşturulması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 62-65 (2006).
69. Felippa, C.A., “Introduction to the finite element methods”, Lecture Notes, *University of Colorado Boulder*, Colorado, USA, 9 (2001).
70. Felippa, C.A., “Advanced finite element method”, Lecture Notes, *University of Colorado Boulder*, Colorado, USA, (14): 3–6, (15): 3–6, (16): 3–8 (2003).
71. Çelik, H. K., “Dişli pompalarda dişli çark ve pompa gövdesinin sonlu elemanlar metodu ile gerilme analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 32-34 (2006).
72. İnternet: OZCT, “1.2210 Soğuk İş Takım Çeliği Kullanım Alanları”, <http://www.ozct.com.tr/tr/pdf/1.2210%20115CrV3.pdf> (2015).
73. Toropov, A. and Ko, S. L., “Prediction of tool-chip contact length using a new slip-line solution for orthogonal cutting”, *International Journal of Machine Tools and Manufacturing*, 43 (12): 1209–1215 (2003).
74. İnternet: Brycoat, “TiN Fiziksel Özellikleri”, <http://www.brycoat.com/coating-services/pvd-coatings/titanium-nitride-tin/tin-physical-properties.html> (2015).
75. Günay, M., “AISI 316L çeliğinin işlenmesinde takım radyüsü ve kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (3): 437-444 (2013).

76. Yücel, E. and Günay, M., “Modelling and optimization of the cutting conditions in hard turning of high-alloy white cast iron (Ni-Hard)”, *Journal of Mechanical Engineering Science*, 220 (10): 2280-2290 (2012).
77. Hassoun, M. H., “Fundamentals of Artificial Neural Networks”, *MIT Press*, Cambridge, 1-35 (1995).

## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Erdi KORKMAZ, 1988 yılında Karabük'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini Karabük'te tamamladı. 2006 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde öğrenime başlayıp 2012 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen görevine devam etmektedir. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir.

### **İletişim Bilgileri:**

Adres : Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ek Bina Oda No: M130  
Merkez / KARABÜK

E-posta : merdikorkmaz@karabuk.edu.tr