



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CNC TORNALAMA İŞLEMİNDE SANAL
ADAPTİF KONTROL SİSTEMİ
GELİŞTİRİLMESİ**

Osman ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Osman Öztürk tarafından hazırlanan “CNC Tornalama İşleminde Sanal Adaptif Kontrol Sistemi Geliştirilmesi” adlı tez çalışması 07/02/17 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Hüseyin Selçuk HALKACI

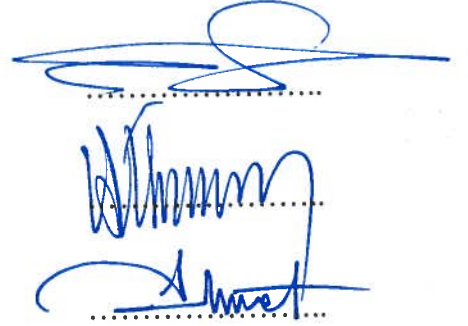
Danışman

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

Üye

Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Osman Öztürk

Tarih: 07.02.2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

CNC TORNALAMA İŞLEMİNDE SANAL ADAPTİF KONTROL SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Osman ÖZTÜRK

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

2017, 78 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

Prof. Dr. Hüseyin Selçuk HALKACI

Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN

Tornalama endüstride en yaygın kullanılan talaş kaldırma yöntemlerinden birisidir. Tornalamada en önemli çıktılarından biri işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğü olup tasarımın işlevsel olabilmesi için istenen değeri sağlaması gerekir. Tornalama prosesi esnasında gerçekleşen takım aşınmasından dolayı yüzey pürüzlülüğünde ve kesme kuvvetlerinde artış gerçekleşir. Aşınmanın daha yavaş gerçekleşmesi için kesme parametreleri takım imalatçıları tarafından önerilen sınırları aşmayacak şekilde seçilir ve işleme süresince sabit alınır. Bu durum, kesme koşullarına adaptasyon içermediğinden tezgâhın verimini düşürmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için işlem sırasında takım durumunu veya kuvvetleri izleyerek, kesme parametrelerinin gerçek zamanlı olarak kontrolü hem donanımsal olarak hem de uygulama açısından zor ve maliyetli olmaktadır. Tez kapsamında geliştirilen *sanal adaptif kontrol sistemi* sayesinde kesme parametrelerini kaba işlemede sabit olarak almak yerine aşınmaya bağlı olarak işlem sırasında farklı değerlerinin seçilmesi sağlanmıştır. Bu sayede kesme parametrelerinin farklı seçilmesine bağlı olarak takım ömründe artış gözlemlenmiştir. *Sanal* kelimesi belirli bir malzemenin belirli bir takım ile kaba ve ince tormalanmasında kesme parametrelerinin çevrimdışı olarak önceden bulunup CNC kodlarına entegre edilmesini nitelemektedir. Aşınma ve kesme kuvvetlerinin hangi pasolarda değişim gösterdiği eğitilmiş Yapay Sinir Ağları (YSA) Modeli ile belirlenmiştir. YSA modelinin eğitiminde tez kapsamında yapılan deneylerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Ayrıca genetik algoritma ile optimizasyon sayesinde kaba ve ince işleme için optimum kesme parametreleri elde edilmiştir. Örnek bir iş parçasına yapılan tornalama işlemi üzerinden sanal adaptif kontrol sisteminin geleneksel yaklaşıma göre üstünlüğü belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma, sanal adaptif kontrol, takım aşınması, tornalama, yapay sinir ağları.

ABSTRACT

MS THESIS

Development of a Virtual Adaptive Control System on CNC Turning Process

Osman ÖZTÜRK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

2017, 78 Pages

Jury

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

Prof. Dr. Hüseyin Selçuk HALKACI

Asst. Prof. Dr. Ahmet CAN

Turning is one of the most commonly used material removal methods in industry. An important output of the turning process is the surface roughness of the material, since the functionality of the design depends on the surface roughness of the material. Wear generation on the cutting tool causes a considerable increase in surface roughness and cutting forces. To obtain slower tool wear, cutting parameters are chosen according to tool manufacturers' recommendations and they are taken constant during turning process. In this case, efficiency of the machine decreases because of poor adaptation to the cutting condition. Also monitoring tool condition and cutting forces in real time is not cost-effective and not practical to solve this problem. In this thesis, adjusting cutting parameters adaptively during rough turning is achieved by developing a *virtual adaptive control system*. A considerable increase in tool life is obtained due to adaptively choosing cutting parameters. The word *virtual* refers to choosing cutting parameters adaptively but offline, when rough and finish turning of a certain material with a certain cutting tool. On which cuts the main cutting force and tool wear are changed is found by using trained Artificial Neural Network (ANN) Model. ANN model is trained by using experimental data. In addition, genetic algorithm optimization is used to choose optimum cutting parameters for rough and finish turning. The advantage of virtual adaptive control system over conventional approach is explained by using a turning process of a workpiece.

Keywords: Artificial neural network, genetic algorithm, tool wear, turning, virtual adaptive control.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında verdiği büyük emek ve gösterdiği sabır ile çalışmanın sonuçlandırılmasında büyük pay sahibi olan tez danışmanım Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR'a, tez çalışmaları sırasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Doç. Dr. İlhan ASILTÜRK ve Öğr. Gör. Dr. Yusuf FEDALİ'ye, deneysel çalışmalarda büyük yardımları bulunan Tekns. Sami ÇAKAR ve Tekns. Halit TUTAR'a, çalışma süresince desteklerini hiç esirgemeyen çok değerli annem Hülya ÖZTÜRK'e, babam Necmi ÖZTÜRK'e ve kıymetli eşim Mine ÖZTÜRK'e en içten saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Osman ÖZTÜRK
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. TEORİK ESASLAR	10
3.1. Talaş Kaldırma İşlemleri	10
3.1.1. Tornalama.....	11
3.1.2. Takımlandırma ve Takım Aşınması	12
3.1.3. Dik Kesme Modeli.....	16
3.1.4. Tornalamaya Etki Eden Faktörler	16
3.2. Yapay Sinir Ağları	17
3.2.1. Yapay Sinir Ağları'nın Yapısı.....	19
3.2.2. Yapay Sinir Ağları Çeşitleri	25
3.2.3. Yapay Sinir Ağları'nın Kullanım Alanları.....	27
3.3. Genetik Algoritma.....	27
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
4.1. Materyal.....	30
4.1.1. CNC Takım Tezgahı	30
4.1.2. Malzeme	30
4.1.3. Kesici Takım	31
4.1.4. Dinamometre	32
4.1.5. Takımcı Mikroskobu	33

4.2. Yöntem.....	34
4.2.1. Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi.....	34
4.2.2. Deney Planı Oluşturulması	34
4.3. Deneysel Çalışmalar	35
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	38
5.1. CNC Tornalamada Parametrelerin Adaptif Olarak Seçimi ve İşleme Performansının Artırılması	38
5.2. Matematiksel Modeller	39
5.2.1. Kesme Kuvveti Matematiksel Modeli.....	39
5.2.2. Takım Ömrü Matematiksel Modeli	42
5.2.3. Matematiksel Modellerin Performansı	42
5.3. YSA Modelinin Tasarımı	43
5.3.1. YSA Modelinin Eğitilmesi ve Tahmin Sonuçları	46
5.4. Genetik Algoritma ile Kesme Koşullarının Optimizasyonu	50
5.4.1. Amaç Fonksiyonu	50
5.4.2. Optimizasyon Kısıtları	52
5.4.3. Genetik Algoritma ile Optimizasyon Uygulaması	53
5.5. Sanal Adaptif Kontrol Sistemi Yaklaşımının Örnek Bir İş Parçası Üzerinden İncelenmesi	56
5.6. Kesme Parametrelerinin Takım Ömrüne ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi	60
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
6.1 Sonuçlar	64
6.2 Öneriler	65
KAYNAKLAR.....	67
EKLER	70
ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

v	: Kesme hızı (m/dk)
f	: İlerleme (mm/dev)
d	: Kesme derinliği (mm)
$v_{opt,kaba}$	: Kaba işleme optimum kesme hızı (m/dk)
$f_{opt,kaba}$	: Kaba işleme optimum ilerleme (mm/dev)
$d_{opt,kaba}$	: Kaba işleme optimum kesme derinliği (mm)
$v_{opt,ince}$	: İnce işleme optimum kesme hızı (m/dk)
$f_{opt,ince}$	: İnce işleme optimum ilerleme (mm/dev)
$d_{opt,ince}$	: İnce işleme optimum kesme derinliği (mm)
F_c	: Kesme kuvveti (N)
C_t	: Takım ömrü denklemi sabiti
C_f	: Kesme kuvveti denklemi sabiti
α_1	: Takım ömrü denklemi kesme hızı parametresi katsayısı
α_2	: Takım ömrü denklemi ilerleme parametresi katsayısı
α_3	: Takım ömrü denklemi kesme derinliği parametresi katsayısı
ρ_1	: Kesme kuvveti denklemi kesme hızı parametresi katsayısı
ρ_2	: Kesme kuvveti denklemi ilerleme parametresi katsayısı
ρ_3	: Kesme kuvveti denklemi kesme derinliği parametresi katsayısı
VB	: Takım yan yüzey aşınması (mm)
VB_r	: Kaba işlemede takım yan yüzey aşınması (mm)
VB_f	: İnce işlemede takım yan yüzey aşınması (mm)
C_m	: Kesme işleminin gerçekleştiği asıl zamana ait kesme maliyeti (TL/parça)
C_l	: Takımın boşta hareketleri içeren takımın boşta kalma maliyeti (TL/parça)
C_R	: Takım değiştirme maliyeti (TL/parça)
C_T	: Takım maliyeti (TL/parça)
v_k	: Kaba işleme kesme hızı (m/dk)
f_k	: Kaba işleme ilerleme (mm/dev)
d_k	: Kaba işleme kesme derinliği (mm)
v_i	: İnce işleme kesme hızı (m/dk)
f_i	: İnce işleme ilerleme (mm/dev)
d_i	: İnce işleme kesme derinliği (mm)
D	: İş parçası çapı (mm)
L	: Kesme uzunluğu (mm)
t_e	: Takım değiştirme zamanı (dk)
T_p	: Takım ömrü (dk)
T_k	: Kaba işlemedeki takım ömrü (dk)
T_i	: İnce işlemedeki takım ömrü (dk)
C_o	: Taylor takım ömür denklemi sabiti
k_o	: İşçilik zamanı ve tüm giderler (TL/parça)
k_t	: Kesme kenarı başına maliyet (kenar/TL)
h_1, h_2	: Takım yaklaşma ve uzaklaşma zamanı sabitleri
d_t	: Toplam kesme derinliği (mm)
UC	: Birim üretim maliyeti (TL/parça)
$(\delta_k)_{max}$	: Kaba işleme sırasında tutucunun maksimum sehimi
$(\delta_i)_{max}$	: İnce işleme sırasında tutucunun maksimum sehimi
k_s	: Özgül kesme kuvveti (N/mm ²)

L_t	: Takımın çıkma boyu (mm)
E	: Maksimum sehim formülü sabiti
$(F_c)_k$	: Kaba işlemede asıl kesme kuvveti (N)
$(F_c)_i$	: İnce işlemede asıl kesme kuvveti (N)
F_k^U	: Kaba işlemede asıl kesme kuvveti üst sınırı (N)
F_i^U	: Kaba işlemede asıl kesme kuvveti üst sınırı (N)
$(R_a)_{max}$	: Maksimum yüzey pürüzlülüğü (μm)
R	: Takım burun radyusu (mm)

Kısaltmalar

ADALINE	: Adaptive Linear System
ANN	: Artificial Neural Network
ANFIS	: Adaptive-Neuro Based Fuzzy Inference System
ANOVA	: Analysis of Variance
CANFIS	: Co-active Neuro Fuzzy Inference System
CBN	: Cubic Boron Nitride
CMM	: Coordinate Measuring Machine
CNC	: Computer Numerical Control
CYM	: Cevap Yüzey Metodu
DAQ	: Data Acquisition
GA	: Genetik Algoritma
HSS	: High Speed Steel
LVQ	: Linear Vector Quantization
MLP	: Multi Layer Perceptron
PCD	: Polycrystalline Diamond
PSO	: Particle Swarm Optimization
RSM	: Response Surface Methodology
SEM	: Scanning Electron Microscope
SINNS	: Swarm Intelligent Neural Network System
TCM	: Tool Condition Monitoring
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Bir imalat yöntemi olarak, malzeme hacminden malzemeye göre daha yüksek sertlik değerinde bir takım ile talaş kaldırmaya dayanan talaşlı imalat yöntemi, insanlığın ilk zamanlarından beri kullanılmaktadır. En eski imalat yöntemi olarak nitelendirebileceğimiz talaşlı imalat, bilimsel ve teknolojik gelişmelere paralel olarak ilk durumuna göre kayda değer gelişme göstermiştir. Günümüzde talaşlı imalat yöntemleri, ihtiyaca yönelik olarak kendi içerisinde tornalama, frezeleme, delme, vargelleme ve elektro erozyon gibi sınıflara ayrılmaktadır. Bununla birlikte kesici takım kullanılan; tornalama, frezeleme ve delme işlemleri için yüzlerce çeşit mühendislik malzemesine uygun takım teknolojisi de aynı oranda gelişme göstermiştir. Takım tezgâhları da; üniversal, sayısal kontrollü (Numerical Control) ve bilgisayarlı sayısal kontrollü (Computer Numerical Control) olmak üzere teknolojik ilerlemelere uygun gelişimlerini tamamlamışlardır. Akıllı üretim (smart manufacturing) prensiplerinin yaygınlaşmaya başladığı günümüz endüstrisinde, takım durumu izleme (tool condition monitoring) gibi yöntemlerle talaşlı imalat da insana bağlı hataların önüne geçen akıllı entegre sistemler kullanılmaya başlanmıştır.

Hem talaşlı imalat yönteminin gösterdiği bu hızlı ve halen devam eden değişim sonucunda, hem de endüstride bu yöntemin yaygın olarak kullanılması da göz önüne alındığında, yöntemin daha verimli kullanımı ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu gereksinime karşılık endüstriyel alanda araştırma-geliştirme faaliyetleri ve akademik araştırmalar yoğunlaşmıştır. Araştırmalarda çoğunlukla üretim maliyetinin en aza indirilmesi için işleme parametrelerinin optimize edilmesine odaklanılmakla birlikte, yüzey pürüzlülüğü gibi fonksiyonel tasarım gereksinimleri de göz önünde bulundurulmaktadır. Optimizasyonda parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ayrıca talaş kaldırma esnasında oluşan ve talaş kaldırma işini gerçekleştiren kesme kuvvetleri de maliyete etki eden bir faktör olduğundan araştırmalara konu olmuştur. Farklı kesme koşullarında kesme kuvvetlerini deneysel olarak ölçmek; yüksek deney sayısı ve yüksek maliyet getirdiği için, yapay zekâ (artificial intelligence) yöntemleri de kesme kuvvetlerinin tahmininde özellikle akademik araştırmalarda kullanılmıştır.

Bu çalışmada AISI 4140 çelik malzemenin silindirik tornalamasında genetik algoritma ile kesme parametrelerinin optimizasyonu ve optimizasyondan aldığı bilgileri

yapay sinir ağılarına (artificial neural network) girdi olarak kullanarak kesme kuvvetlerini tahmin eden bir akıllı sistem geliştirilmiştir. Yapay sinir ağıları eğitimi için girdi ve çıktı değerleri gerektiğinden; deneysel plana göre verilen kesme parametreleri girdi olarak alınmıştır. Çıktı olarak ise dinamometre vasıtası ile ölçülen kesme kuvvetleri alınmıştır. Deneyler sırasında her bir parametre dizisi, belirli bir takım aşınması kriterine ulaşana kadar devam ettirilmiştir. Ayrıca malzemenin işlenebilirliği de grafiksel olarak elde edilip yorumlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde tornalamada imalat parametrelerinin optimizasyonunun, takım aşınmasının tahmin edilmesinin ve kesme kuvvetlerinin tahmin edilmesinin çeşitli yapay zekâ yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmesine yönelik akademik çalışmalara yer verilmiştir.

(Kourosh Danai, 1987), takım aşınmasını çevrimiçi olarak tahmin edebilmek için yeni bir model tabanlı yaklaşım öne sürmüştür. Bu yaklaşım, parametre ve takım durumu tahmini tekniklerini kullanan, kuvvet ölçümüne dayalı bir adaptif izleyiciden oluşmaktadır. Adaptif izleyicinin tasarımı, tornalamada takım aşınmasının bir dinamik durum modeline dayandırılmıştır. Takım durumu değişkeni olarak krater aşınması ve serbest yüzey aşınması, girdi olarak ilerleme parametresi, çıktı olarak ise kesme kuvveti tanımlanmıştır. Tornalama için gerekli model parametrelerini sağlamak için, doğrusal olmayan modelin doğrusallaştırılması için adaptif izleyici prosedürü belirtilmiştir. Araştırmacılar bu çalışmanın devamında ikinci bir araştırma yayınlayarak; hem krater aşınması, hem de serbest yüzey aşınması oluşan durumlarda bu yöntemin sayısal olarak uygun sonuç vermediğini göstermişlerdir. Serbest yüzey aşınmasının baskın olduğu durumda tornalama için yöntem uygulanmış ve gerçek değerlere oldukça yakın sonuçlar bulunmuştur. Krater aşınmasının baskın olduğu durum için de yöntem uygulanmış ve iyi sonuçlar elde edilmesine rağmen, serbest yüzey aşınmasındakine göre daha az yakın sonuç vermiştir.

(Tansel, 1991), üç boyutlu kesme dinamiğini modellemek için uzun deneysel çalışmalar ve lineer yöntemlerin birlikte kullanılması yerine, yapay sinir ağlarından (YSA) faydalanmanın daha hızlı sonuç vereceğini öne sürmüştür. Gerçekleştirdiği çalışmada YSA ile iki farklı model oluşturmuştur. Oluşturduğu YSA modelinde, belirli bir kesme hızı parametre aralığı için herhangi bir kesme hızında kesme kuvvetlerinin değişimini tahmin eden bir model geliştirmiştir. Tornalama sırasında kesme hızının değişiminin kesme kuvvetlerine olan etkisini yalnızca YSA modeli ile incelenebileceğini belirtmiştir. Gerçek sonuçlar ile kıyaslandığında %7 hata elde etmiştir ve YSA modelinin lineer modellere göre hem daha esnek olduğunu hem de daha hızlı sonuç verdiğini belirtmiştir. Ayrıca diğer lineer yöntemlerde kesme hızının parametre olarak alınamaması da YSA için avantaj olarak geri dönmektedir.

(Y. S. TARNG, 1993), bulanık mantık kullanarak değişken şartlarda kesme kuvvetini tahmin eden ve sabit kalmasını sağlayan bulanık mantık kontrol sistemi oluşturmuştur. Yüksek oranda doğrusal olmayan ve zamanla değişen kesme karakteristiklerine sahip tornalama operasyonu için bir adaptif bulanık kontrol sistemi geliştirmiş ve tornalama operasyonuna uygulamıştır. Adaptif olmayan bulanık mantık kontrolcüsünün performansını artırmak için, adaptif bir algoritma entegre edilmiştir. Deneysel olarak doğrulanmakla birlikte sonuçta elde edilen kontrol sistemi, değişken kesme şartlarında sabit kesme kuvvetinin sağlanabilmesini mümkün kılmıştır.

(D. E. DIMLA, 1996), çalışmalarının yayınlandığı güne kadar olan on yıllık süre zarfında takım durumu izleme (Tool Condition Monitoring, TCM) yöntemlerinde yapay sinir ağlarının kullanımını incelemişlerdir. Eğitici ve eğiticisiz YSA modellerinin her ikisinin de kullanıldığını ve uygun sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. YSA modelleri arasından en sıklıkla uygulanan modelin MLP (Multi Layer Perception, Çok Katmanlı Algılama) olduğunu ortaya koymuşlardır. Takım durumu izleme gibi yüksek hızlı, gerçek zamanlı uygulamalarda; diğer bir ifadeyle sensörlerden saniyede bir gigabyte veriden fazlasını toplayan sistemlerde MLP uygun sonuç vermiştir.

(S.K. Choudhury, 1999), çalışmasında optoelektronik sensör ve çok katmanlı yapay sinir ağlarını birlikte kullanarak takım yan yüzey aşınmasının tahmin edilmesini hedeflemiştir. Yapay sinir ağı olarak toplam üç katmanlı ve ileri beslemeli bir YSA modeli kullanılmıştır. Geri yayılım algoritması ve deneysel veriler kullanılarak ağ çevrimdışı eğitilmiştir. Ayrıca iş parçası ölçüleri ve takım yan yüzey aşınması arasındaki geometrik korelasyon da incelenmiştir. Araştırma sonucunda YSA modeli ile gerçek değere yakın takım aşınması elde edilmiştir. Eğitim sırasında kullanılmayan girdi değerlerinde bile takım aşınması düşük hata ile tahmin edilebilmiştir. Doğrulama deneylerinde gerçek değerler ile karşılaştırma sonucu %6 hata payı elde edilmiştir. Aynı YSA modeli işleme parametrelerinin tahmin edilmesinde de iyi sonuçlar vermiştir.

(Lee ve Chen, 2003), tornalama işlemi sırasında takım ve iş parçası tarafından ortaya çıkan titreşimleri kullanarak, YSA tabanlı bir “çevrimiçi iş parçası yüzeyi tanılama sistemi” üzerine çalışmışlardır. Hangi doğrultudaki titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etki ettiğini araştırabilmek için, ivmeölçer ile üç farklı doğrultuda titreşimler ölçülmüştür ve istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. YSA modeli yüzey pürüzlülüğü tahmininde tatmin edici sonuçlar vermiş ve işleme sırasında oluşan titreşimlerin ölçümü sayesinde

çevrimiçi yüzey pürüzlülüğü izleme sistemi, diğer sistemlere iyi bir alternatif olarak gösterilmiştir.

(K.A. Risbood, 2003), yüzey pürüzlülüğünü ve boyutsal hassasiyeti tahmin edebilmek için, yapay sinir ağlarını ve takım tutucuda oluşan radyal titreşimleri kullanmışlardır. Kuru ve soğutma sıvılı işleme şartlarında, HSS ve karbür takımlar ile deneyler yapılmıştır. Farklı takım malzemelerinde yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal doğruluk farklı davranışlar gösterdiği için ayrı ayrı YSA modelleri oluşturulmuştur. Örneğin ilerleme parametresindeki artış belirli bir noktaya kadar yüzey kalitesi yükselmiş, ancak sonra düşüş göstermiştir. Bu tip bir davranış yalnızca karbür takımla yapılan deneyler sonucu elde edilmiştir. Sonuç olarak yüzey kalitesi tahmin edebilmek için YSA modelinde radyal titreşim girdi olarak alınırken, boyutsal doğruluk için kesme kuvvetinin radyal bileşeni girdi kabul edilmiştir. Sonuçta yapay sinir ağı modellerinin tahminsel olarak etkili oldukları ortaya konulmuştur.

(Özel ve Karpat, 2005), sert tornalamanın son işleme operasyonunda yüzey pürüzlülüğü ve serbest yüzey aşınmasını tahmin edebilmek için sinir ağları modellemesini kullanmıştır. Prosese özel parametrelerin geliştirilmesi için regresyon modelleri geliştirilmiştir. Sertleştirilmiş AISI-H13 çeliği için yüzey pürüzlülüğü ve takım serbest yüzey aşınması deneysel olarak elde edilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak sinir ağları modelleri eğitilmiş olup, belirli kesme şartları için eğitilen model üzerinden diğer kesme şartları için sinir ağı modeli kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ve takım serbest yüzey aşınması değerleri tahmin edilmiştir. Sinir ağları modelleri ve regresyon modelleri karşılaştırılmıştır. Sinir ağları modelinin daha iyi sonuçlar verdiği elde edilmiştir. Sonuç olarak, düşük ilerleme oranında yüzey kalitesini artarken takım daha hızlı aşınmıştır, yüksek kesme hızlarında ise takım aşınması önemli derecede artarken yüzey kalitesi de artmıştır. İş parçasının sertliği arttıkça yüzey kalitesi artmış, ancak takım aşınması hızının da aynı zamanda arttığı görülmüştür. Aynı zaman CBN (Kübik Boron Nitrat) takımların daha iyi yüzey kalitesi verdiği ve takım aşınması hızının daha düşük olduğu da tespit edilmiştir.

(Kirby ve ark., 2006), CNC tornalama için işlenmekte olan parçanın yüzey pürüzlülüğünü istenen değerin altında tutan bir adaptif kontrol sistemini, bulanık-ağlar modellemesi ve titreşim ölçümü yapan ivmeölçer kullanarak geliştirmiştir. Bu sistemin amacı tornalanmakta olan bir yüzeyin yüzey pürüzlülüğünün istenen değeri aşıp

aşmadığını tahmin edebilmesi, aştığı durumda ise tornalamada ilerleme oranının değişmesini sağlamaktır. Yüzey pürüzlülüğü tahmini için kullanılan bulanık-ağlar modeli ve adapte edilmiş ilerleme oranının eğitilmesi; ilerleme oranı, iş mili hızı, teğetsel titreşim ve deneysel çalışma sırasında toplanan yüzey pürüzlülüğü verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belli sayıda gerçekleştirilen doğrulama deneyleri ile, sistemin standart dışı yüzey pürüzlülüğünü tespit etmekte başarılı olduğu ve istenen yüzey pürüzlülüğün oldukça altında değerler elde etmeyi sağladığı görülmüştür.

(GÜNDÜZ, 2006), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında tornalama sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin yapay sinir ağları ve bulanık mantık modelleri ile tahmin edilmesini araştırmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında kesme parametrelerinin farklı değerleri için kesme kuvvetlerinin ölçümünü yapmıştır. Daha sonra kesici takıma etkileyen kesme kuvvetlerinin yapay sinir ağları ve bulanık mantık ile tahmin modellerini oluşturmuştur. Deneysel sonuçlar ile tahmin modellerinin verdiği kuvvet değerleri karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Her iki modelin de verdiği sonuçları belirli bir performans kriterine göre değerlendirerek bulanık mantık ve yapay sinir ağlarını kıyaslamıştır. Sonuçta bulanık mantık tahmin modelinin kesme kuvvetleri için daha iyi sonuç verdiği bulgusuna erişmiştir.

(Karpat ve Özel, 2006), yapay sinir ağları ve parçacık sürü optimizasyonunu kullanarak, sert tornalama işleminin çok amaçlı optimizasyonu üzerine çalışmıştır. Kullanıcıya en uygun işleme parametrelerini öneren yapay sinir ağı modeline entegre edilmiş parçacık sürü optimizasyonundan oluşan bir yapay zeka sistemi olan SINNS (swarm-intelligent neural network system) öne sürülmüştür. Geliştirilen yapay zeka sistemi, istenilen yüzey kalitesi ve takım ömrüne karşılık gelecek uygun işleme parametrelerini önerebilmektedir.

(Karayel, 2009), tornalamada yüzey pürüzlülüğünün tahmini için sinir ağları yaklaşımını kullanmıştır. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi ve test edilmesi için CNC torna tezgâhında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde toplanan kesme parametreleri üçe indirilmiş olup, bunlar kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme oranıdır. Takım köşe yarıçapı, takım-taret arası mesafe, yaklaşma açısı, iş parçası uzunluğu, iş parçası çapı ve iş malzemesi gibi tüm diğer parametreler sabit tutulmuştur. İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı geliştirilmiş ve bir geriye yayılım (back-propagation) algoritması olan SCG algoritması (Scaled Conjugate Algorithm) kullanılarak sinir ağı modeli eğitilmiştir.

Ayrıca adaptif öğrenme oranı kullanılmıştır. Öğrenme oranı eğitimden önce seçilmemiş olup eğitim sırasında düzeltilmiştir, bu sayede eğitim zamanı minimize edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinden R_a , R_z ve R_{max} modellenmiştir. Tüm modeller için tek gizli katman kullanılmıştır. R_a modelinin gizli katmanında beş nöron varken, R_z ve R_{max} modellerinin gizli katmanında on nöron vardır. Yüzey pürüzlülüğünün kontrolüne ek olarak bir kontrol algoritması da geliştirilmiştir. İstenilen yüzey pürüzlülüğü kontrol sistemine referans değer olarak girilmekte ve kontrolcü buna göre kesme parametreleri belirlemektedir.

(Asiltürk ve Çunkaş, 2011), gerçekleştirdiği çalışmada kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametrelerin farklı değerlerine göre AISI 1040 çelik malzemesinin yüzey pürüzlülüğü değerlerini ölçmüştür. Deneysel verilerin güvenilirliğini arttırmak için tam faktöriyel deney planına göre deneyler uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü modeli oluşturmak için yapay sinir ağları (YSA) ve çoklu regresyon yaklaşımı kullanılmıştır. Çoklu regresyon ve YSA modelleri istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü tahmininde kullanılabildiği belirlenen her iki modelden YSA modelinin daha yüksek doğrulukta tahminde bulunduğu belirtilmiştir.

(Zare Chavoshi, 2010), alüminyum kompozitlerin PCD takım ile tornalanmasında ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliğinin takım yan yüzey aşınmasına etkisini incelemiş, ayrıca YSA ve CANFIS kullanarak tungsten karbür ve PCD takımların yan yüzey aşınmasının tahmin edilmesi üzerine çalışmıştır. YSA modelinin takım yan yüzey aşınmasının tahmin edilmesinde CANFIS modeline göre çok daha başarılı olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca YSA ile tungsten karbür takımın yan yüzey aşınması için yapılan tahminler, PCD takımın yan yüzey aşınması için yapılan tahminlerden daha başarılı sonuç vermiştir.

(Ahilan ve ark., 2013), CNC tornalama prosesinde işleme parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılacak bir yapay sinir ağı modeli öne sürmüşlerdir. Deneyler Taguchi'nin deneysel tasarımına uygun olarak düzenlenmiş ve parametre olarak kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve takım vurun radyusu alınmıştır. Amaç fonksiyonu olarak ise parça yüzey pürüzlülüğü ve tezgâh güç sarfiyatı alınmıştır. Deneylerden elde edilen veriler sinir ağı tabanlı hibrit sistemleri eğitmek için kullanılmıştır. Geliştirilen modeller arasında, PSO (parçacık sürü optimizasyonu) ile eğitilen modelin hesaplama hızı ve doğruluğu açısından daha üstün olduğu bulunmuştur. Sistem cevabının sinyal-

gürültü oranı, ANOVA analizi kullanılarak bulunmuş ve kesme parametrelerinin etkisi tespit edilmiştir. Geliştirilen modelin otomotiv endüstrisinde minimum güç sarfiyatı ve maksimum verimde kaliteli üretim yapabilmek için, işleme parametrelerine karar verilmesinde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

(Senthilkumaar ve ark., 2011), modern imalat prosesleri ile dahi işlenebilirlik açısından zorlayıcı olan Inconel 718 ısı dirençli süper alaşım malzemesinin işleme parametrelerinin seçimini genetik algoritma ile yapay sinir ağlarını birlikte kullanarak yapmıştır. Deneysel çalışmaları tam faktöriyel dizayna göre; farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametreleri için gerçekleştirmiştir. Sistem cevabı olarak takım yan yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü alınmıştır. Optimizasyon sonuçları kullanılarak takım yan yüzey aşınması-yüzey pürüzlülüğü Pareto grafiği elde edilmiştir. Optimum kesme parametreleri istatistiksel olarak Pareto grafiğinden elde edilmiştir.

(Routara ve ark., 2012), EN-8 çeliğinin tornalanmasında minimum yüzey pürüzlülüğü için optimum parametre seçiminde cevap yüzey metodunu kullanmış ve optimum parametre tahmin edilmesinde Genetik Algoritma'yı kullanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve kesme derinliğinin artması ile düştüğü, buna karşılık ilerleme ile doğru orantılı olarak arttığı bulunmuştur. Amaç fonksiyonu minimum yüzey pürüzlülüğü olmak üzere, Genetik Algoritma'nın uygun sonuçlar verdiği elde edilmiştir.

(Adnan Jameel, 2013), tornalama operasyonundaki yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü, imalat maliyeti, işleme zamanı ve kesme sıcaklığı gibi önemli karakteristikleri üzerine Genetik Algoritma ve türevleriyle yapılan optimizasyon çalışmalarını özetlemişlerdir. Yaptıkları taramada araştırmacıların en az diğerleri kadar önemli olmasına rağmen kesme sıcaklığını amaç fonksiyonu alan araştırmaların az olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca kuru işleme üzerine de nadiren makale bulunmaktadır. Sonuç olarak, tornalama konusunda Genetik Algoritma ve benzeri optimizasyon metotlarını kullanan araştırmacıların ilgili tarihe kadar çoğunlukla yüzey pürüzlülüğü, imalat maliyeti ve talaş kaldırma oranı üzerine yoğunlaştığı gösterilmiştir. Kesme sıcaklığı, boyutsal doğruluk, ısıdan etkilenen takım geometrisi gibi diğer konular üzerine yapılan araştırmalar ve yayınlanan makaleler sınırlı sayıda kalmıştır.

(David Mocnik, 2014), tornalamanın optimizasyonu ve parametre tahmininde regresyon, YSA ve PSO modellerinin kullanıldığı önceki çalışmalardan farklı olarak, boyutsal sapmanın tahmin edilmesi üzerine çalışma yapmıştır. Boyutsal sapmanın tahmin

edilmesi için belirleyici yaklaşım olarak çoklu lineer regresyon, yapay zeka tekniği olarak YSA ve PSO kullanmıştır. İş mili hızı, ilerleme, kesme derinliği, soğutma sıvısı basıncı ve üretilen parça sayısı olmak üzere beş farklı girdi parametresi seçilmiş olup; çıktı parametresi boyutsal sapma olarak alınmıştır. Her bir parametrenin önem derecesi ve boyutsal sapma üzerindeki interaktif etkileri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Tahminsel doğruluğu ölçebilmek için deneysel veriler ile regresyon, YSA ve PSO ile tahmin edilen veriler karşılaştırılmıştır. Her üç yöntem de boyutsal sapmanın tahmin edilmesinde olumlu sonuç vermekle birlikte PSO tabanlı model daha doğru tahmin değerleri vermiştir.

(Acayaba ve Escalona, 2015), tornalamada yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü amaç fonksiyonu olmak üzere, çoklu lineer regresyon ve YSA metodolojilerini kullanarak paslanmaz çeliklerin tornalanmasında tahmin modeli geliştirmiştir. Araştırmaya konu aldıkları AISI316 paslanmaz çeliğin düşük kesme hızı ile işlenmesinde yığma ağız oluşumu yüzey pürüzlülüğünü bozmaktadır. Kesme hızının çok artması da yüzey pürüzlülüğüne olumlu katkı yapsa da takım ömrünü azaltarak takım maliyetlerini artırmaktadır. YSA tahmin modeline entegre optimizasyon algoritması ile iyi yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerini belirlemiştir. Geliştirdikleri YSA modeli, lineer modele göre daha iyi sonuç vermiştir.

Sonuç olarak literatürde yapılan çalışmalar genel olarak tornalama prosesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve oluşan takım aşınmasının tahminine yöneliktir. Tahmin yöntemi olarak Yapay Sinir Ağları ve GA, PSO gibi çeşitli optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır.

3. TEORİK ESASLAR

3.1. Talaş Kaldırma İşlemleri

Talaş kaldırma işlemi, şekil verilecek olan malzeme ile kesici takımın teması ve izafi hareketi sonucu gerçekleşir. Bir talaş kaldırma işlemi sırasında takım ile iş parçası arasında gerçekleşen; kesme hareketi, ilerleme hareketi ve yardımcı hareket olmak üzere üç temel hareket vardır.

İlerleme hareketi parça yüzeyi boyunca işlenmesi gereken bölgelere takımın ilerlemesini sağlayan harekettir. Yardımcı hareket ise kesici takımın parçaya yaklaşma ve uzaklaşma hareketlerini tanımlar. Kesme hareketi, talaş kaldırmayı sağlayan asıl harekettir. İşlenecek malzemeye göre daha sert olan kesici takımın kesme hareketi ile parça yüzeyinden talaş ayrılır ve yeni bir yüzey ortaya çıkar. Talaş kaldırma yöntemi çoğunlukla metal malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılır. İstenen parça geometrisine göre tornalama, frezeleme, vargelleme, planyalama veya taşlama gibi talaş kaldırma yöntemlerinden biri seçilir. Bunların haricinde alışılmamış talaş kaldırma yöntemleri de uygulanmaya başlamıştır. Talaş kaldırma yöntemlerinin sınıflandırılması Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Talaş Kaldırma Yöntemlerinin Sınıflandırılması. (Groover, 2010)

Alışılmış Talaş Kaldırma Yöntemleri	Aşındırma ile Talaş Kaldırma Yöntemleri	Alışılmamış Talaş Kaldırma Yöntemleri
Dış ve İç Tornalama Dış Açma Kanal Açma Frezeleme Delme Boring Honlama Lepleme	Taşlama Diğer Aşındırma İşlemleri	Elektro Kimyasal İşleme Termal Enerji Yöntemleri Kimyasal İşleme

Talaş kaldırma yöntemlerinin çeşitli avantajları bulunmaktadır. Endüstriyel olarak çok yaygın kullanılmasında en önemli iki etken kullanılabilirlik ve boyutsal hassasiyettir. Kullanılabilirlikten kasıt talaşlı imalatın; başta metalik malzemeler olmak üzere plastik,

kompozit ve seramik gibi çok farklı malzemelere uygulanabilir olmasıdır. Avantaj olarak gösterilen ikinci etken; talaşlı imalatın $\pm 0,025$ mm gibi diğer yöntemlere göre oldukça dar bir tolerans aralığı olmasıdır. Diğer avantajları arasında; temel üç boyutlu geometrilerin yanı sıra tamamen düzensiz geometrilerin de işlenebilir olması ve oldukça iyi yüzey kalitesi sunabilmesi gösterilir.

Bununla birlikte talaşlı imalatın dezavantajları arasında; atık malzemenin fazla olması, döküm ve dövme gibi yöntemlere göre yavaş bir imalat yöntemi olması ve dövme yöntemine göre mukavemeti daha düşük iş parçaları üretilebilmesi gösterilmektedir.

3.1.1. Tornalama

Tornalama yönteminde; parçanın eksenı etrafında belirli bir devirde dönmesi ve bu harekete karşı takımın direnç göstermesi ile kesme işi sağlanır. Ayrıca ilerleme hareketini ve yardımcı hareketi takım yapar. Genellikle silindirik parçaların şekillendirilmesinde kullanılır. Silindirik geometriye sahip iş parçalarında dış ve iç tornalama, alın tornalama, fatura açma, diş açma, form tornalama ve kanal açma gibi işlemler gerçekleştirilir. Çizelge 3.2’de tornalamada bazı işlem çeşitleri verilmiştir. Tornalama sonucu yüksek kalitede yüzey pürüzlülüğü elde edilebilmesi mümkündür.

Çizelge 3.2. Tornalamada İşlem Çeşitleri.

İşlem	Uygulama	Amaç	Örnek Parça/Geometri
Dış Tornalama		Silindirik Parçaların Dış Yüzeylerinin İşlenmesi	Mil
Konik Tornalama		Konik Kesitli Parça Elde Edilmesi	Torna Puntası
Kanal Açma		Parça Yüzeyinde Takım Genişliği Kadar Kanal Açılması	Piston Segman Kanalı
Diş Açma		Parça Yüzeyinde Spiral Diş Açılması	Vidalı Mil

Talaş kaldırma işinin tornalama ile yapılabilmesi için takımın malzemeye nüfuz etmesi gerekir. Bunun için de takım ile parça yüzeyi arasında yüksek performanslı bir kesme olması, takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli olması, torna kaleminde oluşan sehimin belirli değeri aşmaması ve takım malzemesinin iş parçasına göre daha yüksek sertlikte olması gerekir. Bunları sağlamak için öncelikle talaş oluşumu sırasında meydana gelen olayların iyi analiz edilmesi gerekir. Tornalamada talaş oluşumu yani kesme işlemi sırasında birden fazla olay meydana gelir. Bunlar sıralı olmaksızın; elastik ve plastik şekil değiştirme, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kıvrılması ve uzaklaşması, işlenen parçada yüzey sertleşmesi ve takım ucunun aşınmasıdır. Eğer takım malzemesi uygun seçilmiş ve kuvvetler de yeterli ise kesici takımın temas ettiği metalik malzeme önce elastik sonra plastik şekil değiştirir. Ardı sıra yapılan kaba, yarı kaba ve finiş tornalama işlemlerinin sonucunda; hedeflenen yeni yüzey ve parça geometrisi elde edilir. Çoğu imalat süreçlerinde önemli yer tutan tornalamada, arzu edilen endüstriyel çıktılar; yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal hassasiyettir. Bunların haricinde imalat maliyetini etkileyen; takım ömrü ve işleme zamanı da optimize edilmek istenen iki önemli unsurdur.

3.1.2. Takımlandırma ve Takım Aşınması

Günümüzde torna tezgahlarında ekseriyetle takma kesici uçlar kullanılır. Kesici uçlar, birden fazla köşesi kullanılabilecek ve rahatlıkla söküp takılabilecek şekilde tasarlanmıştır. İş parçasının türüne ve kuru şartlarda talaş kaldırma yapılıp yapılmamasına göre; kaplamalı ve kaplamasız takımlar da mevcuttur. Çizelge 3.3'te torna tezgahlarında kullanılan çeşitli kesici takımlar ve kullanım amaçları verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tornalamada Kullanılan Çeşitli Kesici Takımlar ve Kullanım Amaçları.

İşlem	Takım	Kullanım Amacı
Kaba Tornalama		İşlenmemiş hammaddelerin ilk tornalaması sırasında kullanılır.
Yarı Kaba Tornalama		Kenarlarda ve radyuslarda yarı kaba tornalamaya ihtiyaç duyulabilir.
Finiş Tornalama		Parçanın son şeklini vermede ve istenilen yüzey pürüzlülüğünü sağlamada kullanılır.
Diş Açma		Silindirik geometrili parçalara iç ve dış diş açmada kullanılır.
Kanal Açma		Silindirik parçalara çevresel kanal açmada ve son işlem olarak parçayı aynadan koparmada kullanılır.

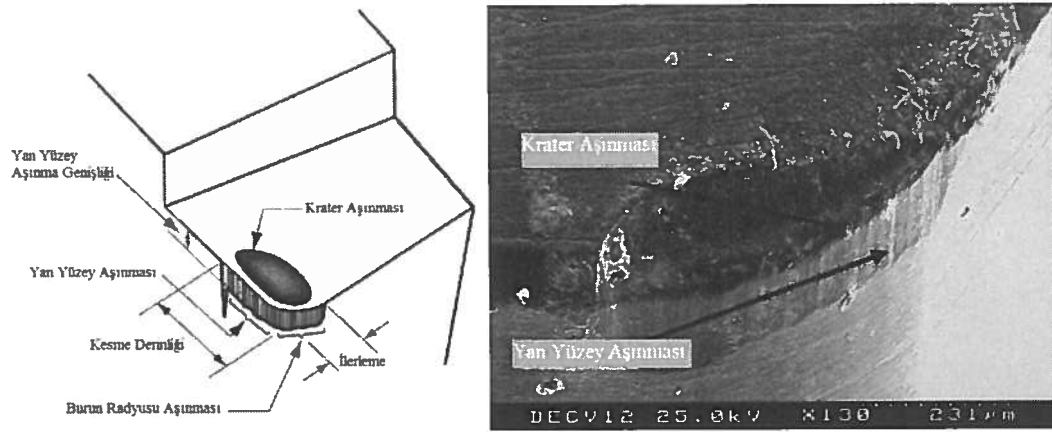
Talaşlı imalatı sağlayan esas gereç kesici takımdır. Ancak kesici takım, imalat sırasında oldukça zorlu koşullara maruz kalmaktadır. Metalik malzemelerin işlenmesinde kesici takımın çalışma koşulları hem yüksek kuvvetleri hem de çok yüksek sıcaklıkları ihtiva eder. Kesme kuvvetleri artarsa veya kesme bölgesinde sıcaklıklar yükselirse takım iş göremez duruma gelir. Her iki durumdan da parametre optimizasyonu ve soğutma sıvısı gibi mühendislik çözümleriyle kaçınılsa bile, seri imalatla bir takımın sürekli kullanımı sonucu takım aşınacak ve ömrünü tamamlamış olacaktır. Dolayısıyla takım sarfiyatını azaltabilmek için takım üreticileri takımın geometrisi ve takım malzemesi üzerine Ar-Ge faaliyetleri yapmaktadır. Takım malzemesinin yüksek kuvvetlere, sıcaklığa ve aşınmaya karşı koyabilmesi amaçlanır. Takım geometrisinin ise ilgili işlem için optimize edilmiş olması gerekir. Ayrıca soğutma sıvılarının doğru kullanımı da takım ömrünü artırıcı yönde etki eder.

Tornalama ile imalatla en çok üzerinde çalışılan unsur takım ömrüdür. Takım ömrü bir takımın aşınıp aşınmadığı ile ilgili olduğundan takımın hangi durumlarda bozulmaya uğradığı analiz edilmelidir. Takım başlıca üç durumda bozulmaya maruz kalır.

- Takıma etkiyen kuvvetlerin aşırı artması sonucu takımda kırılma meydana gelir.
- Takım iş parçası arasındaki kesme bölgesinde sıcaklığın aşırı artması sonucu takım malzemenin sertliğini kaybetmesiyle, takım kesme işini sağlayan geometrisini kaybeder.
- Takımın sürekli kullanımına bağlı olarak takım yüzeyi kademeli aşınmaya maruz kalır ve geometrisindeki bozulmadan dolayı işlevini yerine getiremez hale gelir.

Üretim maliyetleri açısından bakıldığında bu üç durumdan en kabul edilebilir olanı kademeli aşınma olup, kuvvetlerin ve sıcaklığın kontrol edilememesi ile takımın ani olarak bozulmaya uğraması istenmeyen durumlardır. Çünkü takımın ani kırılmaları, iş parçası yüzeyinde bazı durumlarda onarımı mümkün olmayan hasarlar verebilir. Dolayısıyla kademeli aşınmayı sağlayabilecek doğru parametre ve doğru takım seçimi üretim maliyeti açısından oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca takımın aşınmada eşik değerine yaklaştığı aşamada değiştirilmesi de oldukça faydalıdır. Bu sayede hem hurdaya ayrılan malzemeyi azaltılmış olur hem de olası zaman kayıplarını önlenir. Takım aşınmasının tahmin edilmesi üzerine akademik çalışmalar bu ihtiyaç üzerine ortaya çıkmıştır.

Kademeli aşınma, takımın iki ayrı yüzeyinde meydana gelir. Bu yüzeyler; parçaya kesme derinliği ve ilerleme değeri kadar nüfuz eden takım kenarının üst ve yan yüzeyinde meydana gelir. Bu yüzeylerde meydana gelen kademeli aşınmalar; sırasıyla krater aşınması ve yan yüzey aşınması olarak isimlendirilmiştir. *Krater aşınması* imalat sırasında kopan talaşların takım üst yüzeyini aşındırması sonucu ortaya çıkar. Krater aşınmasının seviyesi, aşınmanın derinliği veya alanıyla ölçülür. *Yan yüzey aşınması* ise parçanın işlenirken ortaya çıkan yeni yüzeyi ile takım yan yüzeyinin sürtünmesi sonucu ortaya çıkar. Yan yüzey aşınması, ilgili yüzeyde aşınma yönündeki bant genişliği ile ölçülür. Şekil 3.1’de krater aşınması ve yan yüzey aşınmasının temsili ve SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Krater aşınması ve yan yüzey aşınmasının temsili gösterimi (solda), SEM görüntüsü (sağda). (Özel ve Karpat, 2005)

Takım aşınması, kesme işleminin doğası gereği takım-talaş ve takım-malzeme etkileşimlerini içermektedir. Kesme işleminden kaynaklanan yüksek sıcaklık ve yüksek kuvvetler sebebiyle, bu etkileşimler takımda hem mekanik hem de kimyasal aşınma mekanizmalarının gelişmesine yol açar. Takımın aşınmasına zemin hazırlayan mekanizmalar aşağıdaki gibidir.

Abrasyon: Hareket eden ve birbirine temas eden yüzeyler arasındaki küçük parçacıkların yüzeyi aşındırmasını ifade eder. Hem yan yüzey aşınmasına hem de krater aşınmasına sebep olmakla birlikte, esasen yan yüzey aşınmasının önemli bir nedenidir.

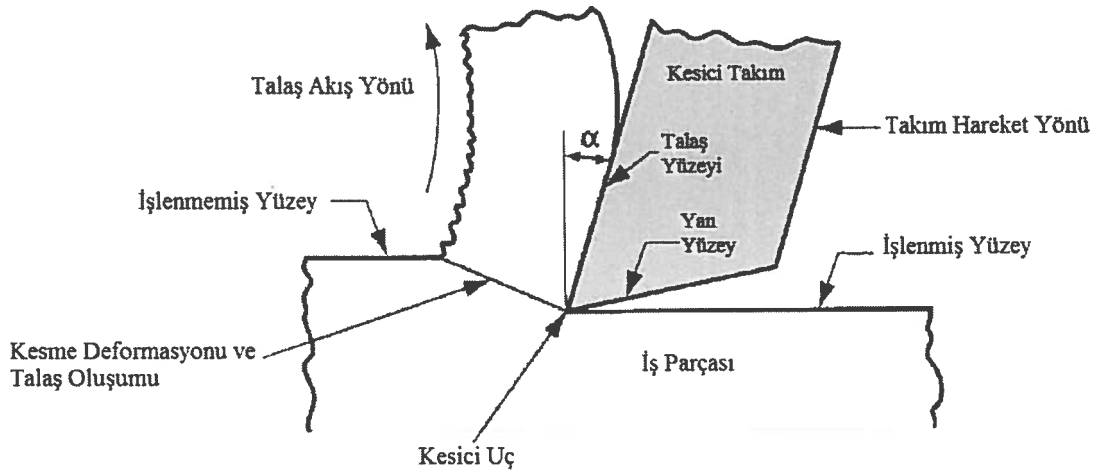
Adhezyon: İki malzemenin yüksek sıcaklık ve basınçta birbiri ile teması sonucu yapışma ve kaynaklanma ile sonuçlanan aşınmayı ifade eder. Malzemeden kopan talaşların yüksek sıcaklıkta takım üst yüzeyine hızlı bir şekilde akması sonucu adhezyon aşınması ile krater aşınması oluşur.

Difüzyon: Temas halindeki iki malzeme arasında kimyasal etkileşim sonucu meydana gelen aşınmadır. Özellikle krater aşınmasının önemli bir sebebi olup, takıma kesme kabiliyetini veren takım yüzeyi sertlik değerinin azalmasına neden olur.

Plastik Deformasyon: İşleme sırasında yüksek sıcaklık altında takımın kesici kenarına etkiyen yüksek kuvvetler takım kenarında plastik deformasyona neden olur. Plastik deformasyonun yan yüzey aşınmasına etkisi daha fazla fazladır.

3.1.3. Dik Kesme Modeli

Her disiplinde olduğu gibi talaşlı imalat üzerine çalışan araştırmacılar da talaşlı imalat prosesini tanımlayan bir mühendislik modeline ihtiyaç duymuştur. Talaşlı imalatın çok çeşitli yöntemlerden oluşması ve her bir yöntemin kendi içinde analiz edilmesi oldukça karmaşık takım geometrileri barındırması araştırmacıları daha basite indirgenmiş bir model bulmaya yönlendirmiştir. Bu yüzden olabildiğince sadeleştirilmiş olan *dik kesme modeli*, talaş kaldırma mekaniklerinin anlaşılmasında kullanılmaktadır. Şekil 3.2’de dik kesme modelinde esas alınan talaş kaldırma prosesi verilmiştir. Bu modelde kesme kenarının kesme yönüne dik açıda olması modelin matematiksel olarak uygulanabilirliğini artırmıştır.

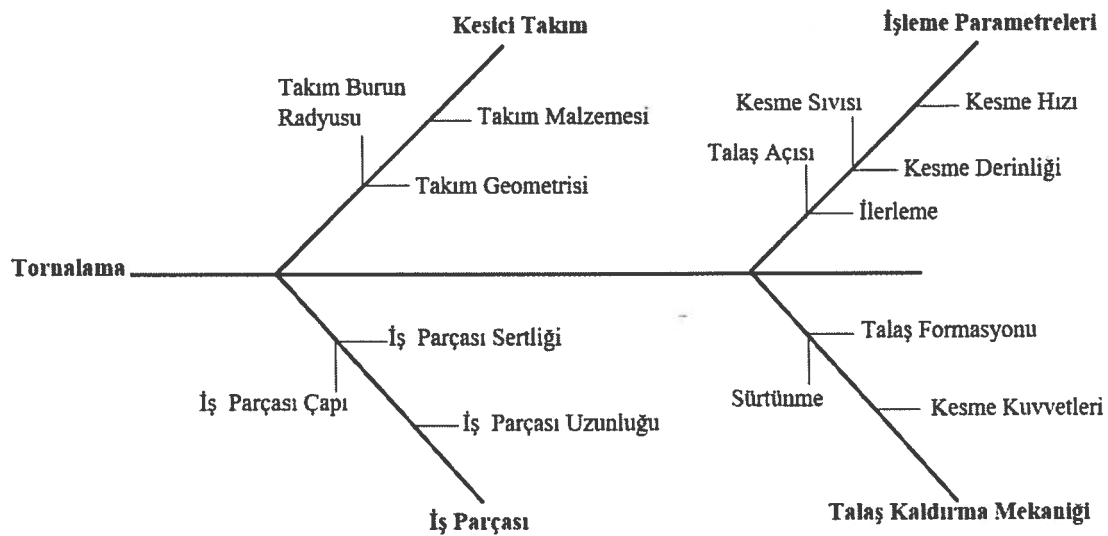


Şekil 3.2. Dik kesme modelinde esas alınan talaş kaldırma prosesi. (Groover, 2010)

3.1.4. Tornalamaya Etki Eden Faktörler

Tornalama prosesine birçok çevresel ve kontrol edilebilir faktör etki etmektedir. Tornalamada yüksek performans göstermesi beklenen en önemli çıktı iş parçası yüzey pürüzlülüğüdür. Bu performans doğrudan kesici takımın aşınma durumuna bağlıdır. Takım durumunu etkileyen faktörler; kesici takıma bağlı, iş parçasına bağlı, işleme parametrelerine bağlı ve talaş kaldırma mekanikğine bağlı faktörler olarak incelenir. (Zain ve ark., 2010)

Kesici takıma bağlı faktörler; takım malzemesi, takım geometrisi ve burun radyusu olarak ele alınır. İş parçasına bağlı faktörler arasında iş parçası sertliği, iş parçası çapı ve uzunluğu gibi özellikler bulunur. İşleme parametreleri de kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, kesme sıvısı ve talaş açısı gibi kontrol edilebilir bağımsız değişkenlerden oluşur. Son olarak talaş kaldırma mekanizmasına bağlı olarak; talaş formasyonu, sürtünme ve kesme kuvvetlerindeki değişimler de tornalama performansını etkileyen faktörler arasında yer alır. Şekil 3.3'teki balık kılıçığı diyagramında tornalamaya etki eden faktörler verilmiştir.

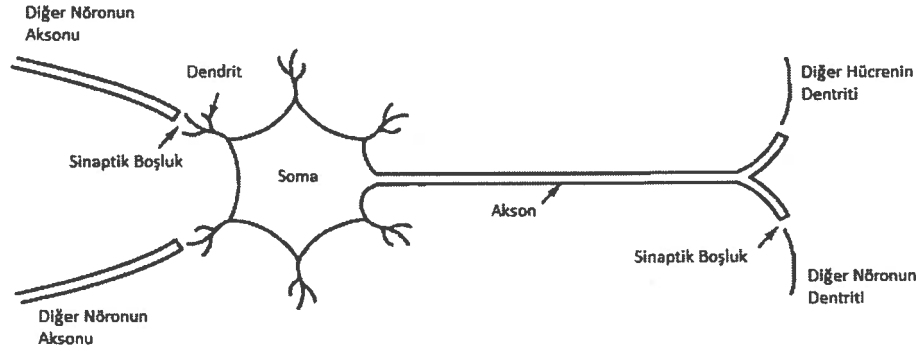


Şekil 3.3. Tornalamaya etki eden faktörler. (Zain ve ark., 2010)

3.2. Yapay Sinir Ağları

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerleme sayesinde üretim alanında insan faktörüne bağlı olan birçok görev makinelere yaptırılmaya başlanmıştır. Sadece önceden programlanmış ve belirli bir girdiyi çıktıya dönüştüren otomasyon teknolojisi, insanlara özgü gözlemlerinden faydalanarak öğrenebilme ve öğrendiklerini kullanabilme becerisinden yoksundur. Yaklaşık son 50 yıldır hem insan beyninin çalışmasını daha iyi anlayabilmek hem de akıllı üretim sistemleri geliştirebilmek için insan beynindeki sinir ağı yapısının işleyişi incelenmektedir. Bu amaçla yapay sinir ağı modeli üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ancak bu konudaki ilk çalışmalarda karşılaşılan başarısız denemeler yapay sinir ağları (YSA) konusunun popülerliğini yitirmesine zemin

hazırlamıştır. Dolayısıyla ilk zamanlarında yapay sinir ağlarına karşı şüpheyile bakılmış ve donanımsal yetersizlik de konu üzerine çalışılmasını zorlaştırmıştır. Esas olarak biyolojik bir sinir hücresinin yapay olarak modellenmesi amaçlanmıştır. Bu sayede tahmin etme, yorumlama ve sınıflandırma gibi insan beynine ait özellikler birçok alanda kullanılabilecektir. Şekil 3.4'te biyolojik bir sinir hücresi ve elemanları gösterilmiştir. (Fausett, 1994)



Şekil 3.4. Biyolojik bir sinir hücresinin elemanları. (Fausett, 1994)

YSA araştırmalarının tarihçesi üç döneme ayrılabilir. İlk kayda değer ilerlemeler 1950'li ve 1960'lı yıllarda gerçekleştirmiştir. İlk çalışmalar *perceptron* denilen basit tek katmanlı sinir ağı modeli ile yapılmıştır. Bu modelin özelliği sınıflandırma yaparak sonuca ulaşmasıdır. Bir problemin girdi değerleri; ağırlıkları ile çarpılıp toplama fonksiyonunda toplandıktan sonra ortaya çıkan değer eşik değerini aşıp aşmamasına göre sınıflandırılır. Sınıflar 1 ve 0 ile gösterilir. Ağın eğitimi sırasında ağırlıklar hedef ve çıktı arasındaki farkı azaltana kadar değiştirilir. Basit tek katmanlı model ile ilgili çalışmalar 1950'li yılları kapsamaktadır. (Öztemel, 2003)

Bernard Widrow ve öğrencileri tarafından 1960 yılında ADALINE (adaptive linear system) ünitesi geliştirilmiştir. Bu ünitenin *perceptron* modelinden farkı ağırlıkların değiştirilme kuralı, dolayısıyla öğrenme kuralıdır. Basit tek katmanlı *perceptron* modelinde girdi değerleri, öğrenme katsayısı adı verilen bir sabit ile çarpılıp ağırlıklara eklenmesi ve çıkartılması ile öğrenme gerçekleştirilir. ADALINE ünitesinde öğrenme kuralı olarak, hedef ile elde edilen çıktı arasındaki fark esas alınır. Aradaki farkın bir öğrenme katsayısı ile çarpılmasıyla elde edilen değer en son bulunan ağırlıklara eklenmesi ile öğrenme gerçekleştirilir. (Widrow, 1990)

İkinci dönem 1970’li yılları kapsar ve YSA’nın sessiz yılları olarak adlandırılır. Bu adlandırmanın sebebi, 1969 yılında Minsky ve Papert’ın *perceptron* modelinin XOR mantık problemini çözemeyeceğini ispatlamasıdır. Bu tarihten sonra YSA araştırmalarına olan ilgi azalmıştır. (Minsky, 1969)

Üçüncü dönem 1980’li yılları ve sonrasını kapsar. YSA araştırmalarının tekrar yükselmesinin görüldüğü dönemdir. En önemli gelişme geri yayılım algoritmasının bulunması ve çok katmanlı ağ modelinin uygulanmaya başlamasıdır. Önceki basit YSA modellerinde doğrusal olmayan problemlerin çözülmesi mümkün olmamaktaydı. Çok katmanlı YSA modellerinde ise özellikle doğrusal olmayan mühendislik problemlerinin çoğunun çözümü mümkün olmaktadır. Çok katmanlı modeller; sınıflandırma, tahmin etme, tanıma, yorumlama ve teşhis etme gibi çeşitli yeteneklere sahiptir. Sadece mühendislikle sınırlı kalmayıp finans ve tıp alanında da başarılı araştırmalar bulunmaktadır.

Özellikle son on yılda yüksek hızlı işlemcilerin ulaşılabilir düzeye gelmesi, üretim ve hizmet sektörlerinde akıllı sistemlere kullanımın yönelmesi yapay sinir ağlarına ilginin oldukça artmasına sebep olmuştur. Yapay sinir ağları ile optimizasyon yöntemlerinin birlikte kullanımı; akıllı ve uzman sistemlerin geliştirilmesini mümkün hale getirmiştir. Bu tez çalışmasında da yapay sinir ağları ve genetik algoritma ile optimizasyon teknikleri birlikte kullanılarak, birçok parametreden etkilenen ve zamanla takım aşınması gibi etkenlere maruz kalan tornalama işleminin çevrimdışı adaptif kontrol sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kesme parametreleri ve kesme kuvveti arasındaki ilişki YSA (yapay sinir ağları) ile modellenmiştir.

3.2.1. Yapay Sinir Ağları’nın Yapısı

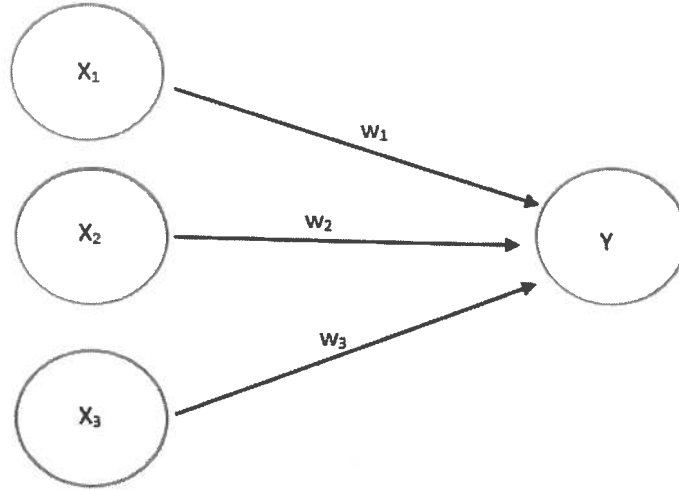
Yapay sinir ağları esas olarak biyolojik sinir ağları örnek alınarak geliştirilen bilgi işleme sistemleridir. Başka bir ifadeyle YSA, aşağıda belirtilen varsayımlar üzerine kurulu bir matematiksel modellemedir;

- Bilginin işlenmesi nöron (sinir hücresi) adı verilen en küçük birimde gerçekleşir.

- Sinyaller nöronlar arasındaki belirli bağlantılar ile nörondan başka bir nörona aktarılır.
- Her bağlantının iletilen sinyale etki eden bir ağırlığı vardır.
- Her nöron girdi sinyaline genellikle doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu uygular ve çıktı sinyalini üretir.

Yapay sinir ağlarının temelini nöronlar oluşturur. En basit nöronun yapısını incelemek için; sadece girdi ve çıktı katmanı bulunan, üç girdi ve bir çıktıdan oluşan yapay sinir ağının yapısı Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere X_1 , X_2 ve X_3 nöronları, w_1 , w_2 ve w_3 ağırlıkları ile Y nöronuna bağlantılıdır. Girdi nöronlarının sırasıyla x_1 , x_2 ve x_3 sinyallerini verdiği biliniyorsa, (3.1) bağıntısı toplama fonksiyonunu ifade eder.

$$y_{\text{girdi}} = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 \quad (3.1)$$



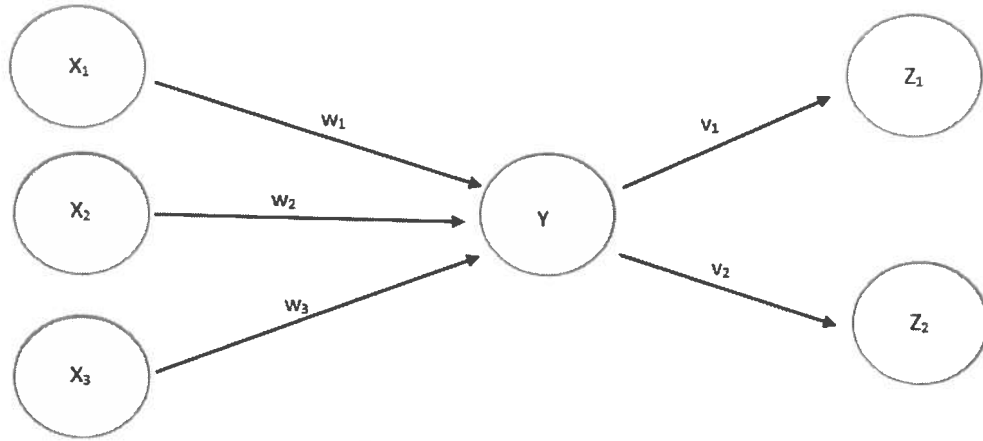
Şekil 3.5. İki katmanlı basit bir yapay sinir ağının yapısı.

Y nöronuna gelen y sinyali ise bir aktivasyon fonksiyonuna girer. Bu fonksiyon (3.2) bağıntısı ile bilinen lojistik sigmoid fonksiyonu olabilir. Diğer kullanılabilecek aktivasyon fonksiyonlarına bu bölümün devamında değinilecektir. Bu durumda Y nöronuna ulaşan y sinyali (3.3) bağıntısıyla gösterilir.

$$f(x) = \frac{1}{1-e^{(-x)}} \quad (3.2)$$

$$y = f(y_{\text{girdi}}) \quad (3.3)$$

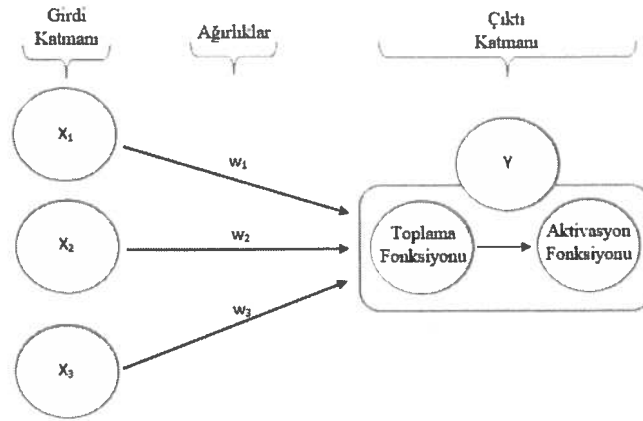
Şekil 3.5'teki basit sinir ağında Y nöronuna üçüncü bir katman olarak Z_1 ve Z_2 nöronları eklendiğini düşünelim. Bu durumda YSA ile modellemede en çok karşımıza çıkan çok katmanlı yapı ortaya çıkar. Şekil 3.6'da gösterildiği üzere; X_1 , X_2 ve X_3 girdi katmanını, Y gizli katmanı, Z_1 ve Z_2 ise çıktı katmanını oluşturan nöronlardır. Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde bu gizli katmanın önemi oldukça fazladır.



Şekil 3.6. Çok katmanlı basit bir yapay sinir ağının yapısı.

Daha iyi anlaşılması açısından tormalama prosesine yönelik örnekleyecek olursak; girdi katmanında nöronlar kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği olarak alınabilir. Çıktı katmanı nöronları ise takım aşınması ve kesme kuvveti alınabilir. Bu durumda gizli katman sayısı belirlenmeli ve yapay sinir ağı eğitilmelidir. Sonuçta elde edilen model ile seçilen parametrelere göre takım aşınması ve kesme kuvvetleri düşük hata oranı ile tahmin edilebilmelidir.

Bu varsayımlar üzerine kurulan bir matematik model olan YSA'nın içerdiği nöronların ve bağlantıların kullanım amacına göre değişkenlik göstermesi onun karakteristik özelliklerini de ortaya koyma gerekliliği doğurmuştur. Bir YSA modelinin ana elemanları Şekil 3.7'de verilmiştir. YSA'nın ana elemanları girdi katmanı, çıktı katmanı, ağırlıklar, toplama fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonudur.



Şekil 3.7. Tek katmanlı bir yapay sinir ağının ana elemanları.

YSA girdi katmanı: Sinir ağı modelinde giriş sinyallerinin olduğu katmandır. Doğrusal olmayan karmaşık problemler modelleneneceği için genellikle birden fazla nöron içerir.

YSA çıktı katmanı: Sinir ağı modelinden elde edilen çıkış sinyallerini içeren katmandır. Tek veya birkaç adet olacak şekilde tercih edilir.

YSA'nın mimarisi: Ağın bağlantılarının yapısını ifade eder. Örneğin Şekil 3.6'da ağın mimarisi; sırasıyla girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı sayısına atıfta bulunarak 3-1-2 şeklinde ifade edilir.

Ağırlıklar ve YSA'nın öğrenme algoritması: Her bir bağlantının ağırlığı geldiği nöronun aktarıldığı nörona etkisinin bir ölçüsüdür. Belirli bir algoritmaya dayalı öğrenme süreci içerisinde ağırlıklar tespit edilir. YSA'nın öğrenme algoritması ise, bağlantıların ağırlıklarına karar verme yöntemidir. Quasi Newton ve Levenberg-Marquardt eğitim fonksiyonları örnek olarak verilebilir.

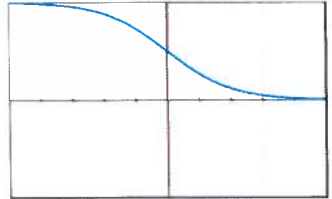
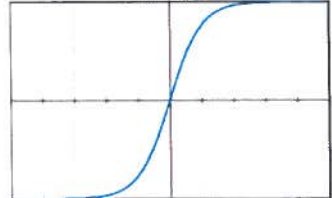
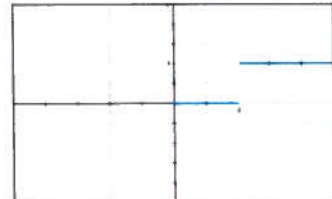
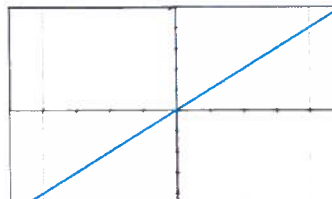
Nörondaki toplama fonksiyonu: Bir nörona gelen bilgileri toplayarak net girdiyi hesaplayan fonksiyondur.

Nörondaki aktivasyon fonksiyonu: Toplama fonksiyonundan gelen net girdiyi çıktı değerine dönüştürmek için, net girdi aktivasyon fonksiyonuna sokulur. Aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan bir fonksiyon olarak seçilir ve bu sayede doğrusal olmayan

problemlerin çözümünde kullanılabilir. Şekil 3.5'teki örnekte sigmoid (s-biçimli) fonksiyon kullanılmıştır.

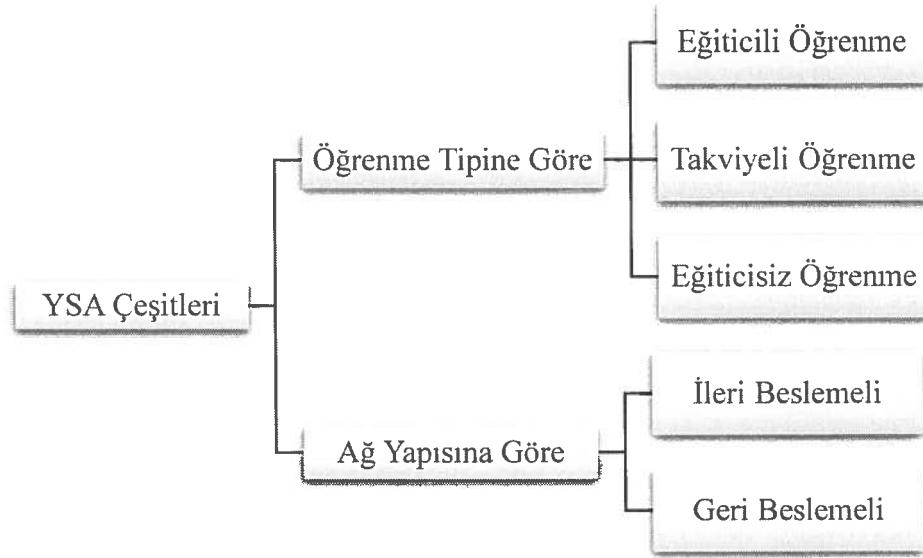
Çizelge 3.4'te diğer aktivasyon fonksiyonları verilmiştir. Tek katmanlı basit YSA modellerinde aktivasyon fonksiyonu olarak birim fonksiyon kullanılabileceği gibi, genellikle step fonksiyonu kullanılmaktadır. Ayrıca çok katmanlı YSA modellerinin, doğrusal olmayan problemlerin çözümündeki avantajını ortaya çıkarabilmek için sigmoid ve hiperbolik tanjant gibi doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları kullanılır. Geri beslemeli yapay sinir ağlarında fonksiyonun türevi de alınacağı için aktivasyon fonksiyonunun kolay türevlenebilir olmasına dikkat edilir. Bu sayede işlem hızı daha yüksek olmaktadır. (Fedai, 2016)

Çizelge 3.4. YSA modellerinde yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları.

Aktivasyon fonksiyonu	Fonksiyon	Fonksiyon Türevi	Fonksiyon Grafiği
Sigmoid Fonksiyon	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{(-x)}}$	$f'(x) = f(x)[1 - f(x)]$	
Hiperbolik Tanjant Fonksiyon	$g(x) = \frac{1 - e^{(-2x)}}{1 + e^{(-2x)}}$	$g'(x) = [1 + g(x)][1 - g(x)]$	
Step Fonksiyonu	$h(x) = \begin{cases} 1, & x \geq \theta \\ 0, & x < \theta \end{cases}$	-	
Birim Fonksiyon	$u(x) = x$	-	

3.2.2. Yapay Sinir Ağları Çeşitleri

Bu bölümde çok katmanlı yapay sinir ağı modellerinin çeşitlerinden bahsedilecektir. YSA modelleri öğrenme tipine ve yapılarına göre olmak üzere iki farklı kategoride sınıflandırılır. Şekil 3.8’de kategorilere göre sınıflandırma verilmiştir.



Şekil 3.8. Öğrenme tipine ve ağ yapısına göre YSA çeşitleri.

Yapay sinir ağı modelleri öğrenme tipine göre üç ayrı grupta sınıflandırılır. Bu modeller eğitici öğrenme, destekleyici öğrenme ve eğitici öğrenme içeren matematiksel modellerdir.

Eğitici öğrenmeden kasıt; ağ eğitilmesinde hem girdilerin hem de vermesi gereken çıktıların önceden sisteme verilmesidir. Eğitici öğrenmede öğrenme süreci; ağın ürettiği çıktı ile olması gereken çıktı arasındaki hatayı azaltmasına dayanır. Hatanın azaltılması ağırlıkların değiştirilmesi sayesinde olur. Öğrenme sürecinde önce girdi değerleri modele girilir. Başlangıç ağırlıkları ile çarpılıp çıktı değerini oluşturur. Bu işlem ileri yönlü hesaplama değildir. Sonrasında elde edilen çıktılar ile olması gereken çıktılar karşılaştırılarak hata hesaplanır. Hata değeri geriye doğru dağıtılarak ağırlıklar sistem tarafından değiştirilir. Bu işlem ise geriye doğru hesaplama değildir. Öğrenme süreci esas olarak bu hatanın düşürülmesi için ağırlıkların değiştirildiği iterasyonlar silsilesidir. Girdi katmanı ve çıktı katmanında kaç adet yapay sinir hücresi olacağı probleme göre karar

verilir. Ancak gizli katmanda kaç adet nöron olması gerektiği ile ilgili bir kural yoktur. Deneme yanılma yöntemi ile farklı YSA mimarilerinin performansları karşılaştırılarak en az hata veren mimari seçilir. Bir başka ifadeyle; en az hata veren gizli katman sayısı mimarinin belirleyicisi konumundadır. (Öztemel, 2003)

Takviyeli öğrenme tipini kullanan YSA modellerinin eğiticili öğrenmeden farkı olması gereken çıktıların önceden ağa verilememesidir. Bazı durumlarda çıktı bilgisinin önceden bilinmesi mümkün olmamaktadır. Ancak YSA modelinin ürettiği çıktının doğru veya yanlış olduğu bilinebilmektedir. Bu tip öğrenme biçimine takviyeli öğrenme adı verilir. Bu öğrenme tipindeki ağların en önemli dezavantajı aynı ağırlık üzerine yoğunlaşması ve dolayısıyla öğrenme performansının düşük olmasıdır. Bu sorun zamanla öğrenememe durumunu ortaya çıkarabilmektedir. Ayrıca başlangıç değerlerinin iyi belirlenmiş olması gerekmektedir. İlk takviyeli öğrenme kullanan modellerden birisi LVQ (Linear Vector Quantization) modelidir. Takviyeli öğrenmede sonradan yapılan geliştirmeler ile hem ağın öğrenme performansı artırılmış hem de başlangıç değerlerine olan bağıllık kaldırılmıştır. LVQ-X olarak adlandırılan bu yöntem, zeki istatistiksel bir kalite sisteminin örnek uygulamasında yüksek performans göstermiştir. Sadece geleneksel yöntemlere göre değil, diğer çok katmanlı YSA modellerine göre de başarılı sonuçlar vermiştir. (Kohonen, 1990)

Eğiticişiz öğrenme tipini kullanan modellerde dışardan çıktı değeriyle ilgili herhangi bir bilgi verilmemektedir. Bu modelde esas olan dışardan destek almaksızın girdileri hafızasında saklayarak çıkarımda bulunmasıdır. Bu öğrenme tipini kullanan örnek bir model; Adaptif Rezonans Teori (ART) ağ modelidir. Bu ağın en ayırt edici özelliği gerçek zamanlı çalışabilmeleri ve çevrimiçi öğrenebilmeleridir. Dezavantajı ise, sistemin benzerlik kurup çıkarımda bulunabilmesi için çok fazla sayıda girdiye ihtiyaç duyabilmesidir. Özellikle endüstriyel tesislerde sınıflandırma problemlerinin çözümünde iyi sonuçlar vermektedir. (Carpenter, 1988)

Ağın yapısına göre ise ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılır. İleri beslemeli YSA modelleri girdileri hızlı bir biçimde çıktıya dönüştürürler. Geri beslemeli yapıya sahip modellerde ise hem ara katmanlardan hem de çıktı katmanındaki nöronlardan önceki katmanlara geri besleme yapılır. Henüz çıktı üretmeden dahi ara katmandan geri besleme ile ağırlıklarda güncellemeler yapılabilir. İleri beslemeli ağa göre daha yavaş çalışmaktadır. (Sürmeli, 2011)

3.2.3. Yapay Sinir Ağları'nın Kullanım Alanları

Yapay sinir ağları modelinin kullanımı, oldukça geniş bir disiplinler arası alana yayılmıştır. Mühendislik, tıp ve iktisat alanlarında başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Mühendislikte en yaygın kullanımlarından biri sinyal işlemedir. Uzak mesafe telefon hatlarında gürültü azaltmada halen kullanılmaktadır. El yazısı ve parmak izi tanıma gibi sistemler de YSA modellerini kullanılmaktadır. Endüstride akıllı üretim felsefesinin popülerlik kazanması ile karar verebilen, önlem alabilen ve sınıflandırabilen sistemler geliştirilmiştir. YSA modellerinin kullanıldığı bu sistemler; malzeme stok bölümü, seri üretim hattı, montaj hattı ve paketlenme hattı gibi bir tesisin her türlü bölümünde kullanılmaktadır. Tıpta kullanımı ise belirli bir hastalığın semptomlarını öğrenerek teşhis koyabilen ve tedavi önerebilen akıllı sistemler ile 1980'li yılların ortalarında ortaya çıkmıştır. (Fausett, 1994)

Güncel yaşantıdan akıllı telefonlarda yer alan akıllı özellikler de yapay zeka çalışmalarının bir sonucudur. Parmak izi ve iris tanıma, kamera açıldığında yüz tanıma ve otomatik odaklama, el yazısını tanıyarak yazıya dökme gibi özellikler yapay zeka sistemlerin sayesinde kullanıma sunulmuştur. Daha uç örneklerden olan Photomath isimli uygulama, kamera görüntüsünden bir matematik problemini tanıyarak çözümünü verebilmektedir. Tüm bu örneklerin ışığında, YSA modeli temel alınarak yapılabilecek mühendislik uygulamalarının gelecekte de artarak devam edeceğini ve insan hayatını kolaylaştıracağını öngörülmektedir. Akıllı telefon örneğindeki gibi farkedilir gelişmelerin yanı sıra endüstriyel alanda verimliliği artırarak farkedilmeyen dolaylı faydaları da olmaktadır.

3.3. Genetik Algoritma

Yapay zeka uygulamalarında; yapay sinir ağları, parçacık sürü optimizasyonu (PSO), bulanık mantık, arı koloni algoritması, karınca koloni algoritması ve genetik algoritma (GA) gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır. Örneğin tahmin ve optimizasyonun birlikte gerektiği problemlerin çözümünde YSA-GA veya YSA-PSO gibi birden fazla yaklaşımın kullanıldığı sistemler geliştirilmektedir. Birbirleri arasında veri alışverişi

yaparak proses çıktılarının tahmin ve optimize edilmesinde kullanılırlar. Önceki bölümde YSA ile ilgili bilgi verilmiş olup, bu bölümde genetik algoritma açıklanacaktır.

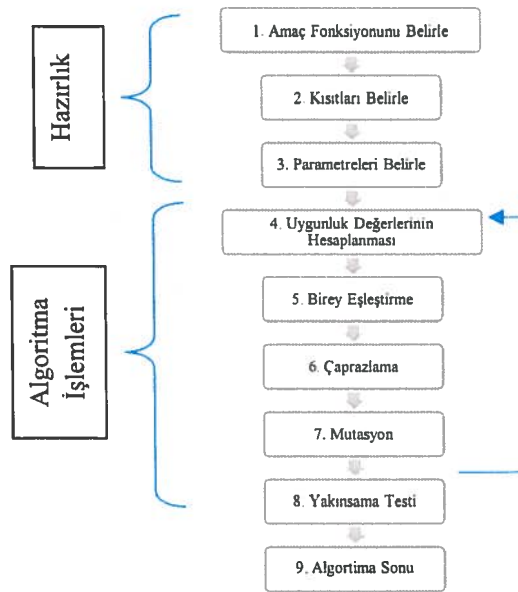
Genetik algoritma; doğal seçim de denilen, doğadaki bir popülasyonda en iyinin hayatta kalması ve varlığını sürdürmesi kuralına dayanır. Doğal seçim, popülasyonda güçlü özelliklere sahip bireylerin hayatta kalması ve neslini devam ettirmesi prensibine dayanır. Zayıf bireyler ise genetik olarak dezavantajlı olduğu için popülasyonda varlığını sürdüremezler. Doğada işleyen bu sürecin algoritmik bir hesaplama yöntemine uyarlanması ile GA ortaya çıkmıştır. (Gökay, 2002)

Optimizasyonda kullanılan algoritmalar; sezgisel (heuristic) ve kesin (exact) algoritmalar olarak iki başlıkta incelenir. Genetik algoritma, sezgisel algoritma tipine girmektedir. Sezgisel algoritmalar da kendi içerisinde; tur oluşturan, tur geliştiren ve melez olmak üzere üç çeşittir. Genetik algoritma başta olmak üzere benzetim tavlama, karınca kolonisi algoritması ve tabu araması gibi yapay zeka yöntemleri tur geliştiren sezgisel algoritmalar girer. (Potvin, 1996)

Mühendislikte her alanda çok sık karşılaşılan optimizasyon problemleri de aslında bir sürecin en uygun değerini bulma arayışıdır. Bu açıdan genetik algoritma ile örtüştüğü için optimizasyonda GA kullanılması fikri ortaya çıkmıştır. Problemdaki ihtiyaca göre bir amaç fonksiyonunun en küçük veya en büyük değerine ulaştırılması hedeflenebilir. Örneğin amaç fonksiyonu tornalamada birim zamandaki maliyet ise, fonksiyonun değeri minimize edilmek istenir. Başka bir tornalama probleminde birim zamanda kaldırılacak talaş hacmi amaç fonksiyonu ise, fonksiyonun maksimize edilmesi istenir. Belirli kısıtlar altında, işleme parametreleri bir popülasyon olarak seçilirse, aynı problemlerin optimizasyonunda GA kullanılabilir. GA içerisindeki her bir birey aslında problemin bir çözümünü ifade eder. Her bireyin ortama uyum sağlama ve hayatta kalma becerisine göre bir uygunluk değeri vardır. Uygunluk değeri bu bireyin problemi çözebilme yeteneğini temsil eder. Ayrıca algoritma içerisinde çaprazlama ve mutasyon ile en iyi bireyin sezgisel olarak araştırılması devam eder. Sürecin sonlanması için üç koşuldan biri sağlanmalıdır. Bu koşullar; belirli bir döngü sayısına ulaşılması, en iyi çözümün değişmemeye başlaması ve uygunluk değerinin sabitlenmesidir. (Bryant, 2000)

GA işleyişinde çaprazlama ve mutasyonun önemli bir yeri vardır. Çaprazlama iki bireyin kromozomlarının çaprazlanmasıyla yeni bir bireyin oluşmasıdır. Örneğin tornalama probleminde her bir kesme parametresi dizisi bir bireyi temsil etsin. Sırasıyla

kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin kodlanmış değişkenlerle alt sınırı “0”, üst sınırı ise “1” ile tanımlansın. Sırasıyla kaba ve ince işleme parametreleri ile gösterilen bir birey [101 001] olsun. Diğer bir birey [011 010] ile tanımlansın. Çaprazlama ile yeni meydana gelen çocuk birey [101 010] olacaktır. Mutasyon ise belirli bir olasılık dahilinde kromozomdaki bir veya birkaç genin mutasyona uğrayarak değişim geçirmesidir. Çaprazlama ve mutasyon; bir çözüm havuzunu ifade eden popülasyonda en iyi bireyin seçimi için algoritmanın en önemli özellikleridir. Genetik algoritmanın akış şeması Şekil 3.9’da gösterilmiştir. (Potvin, 1996)



Şekil 3.9. Genetik Algoritma Akış Şeması.

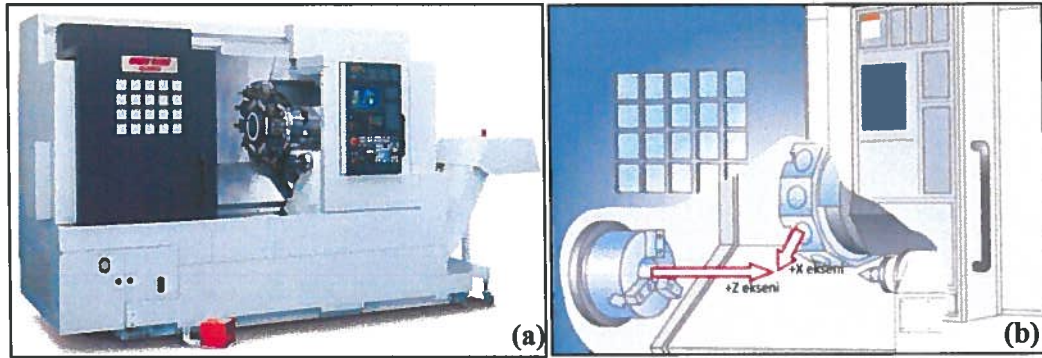
4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Tez kapsamında yapılan deneylerde; CNC torna tezgahı, 3 eksenli dinamometre cihazı, dinamometre bağlama aparatı, amplifikatör, takma uçlu kesici takım, takımçı mikroskobu ve ısıtılmış AISI 4140 silindirik malzeme kullanılmıştır. Materyal bölümünde kullanılan donanımlar verilmiştir. Mori Seiki 2,5 eksen CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Yöntem bölümünde ise deney planının hazırlanması, kesme parametrelerinin seçilmesi, deneylerin gerçekleştirilmesi ve ölçüm alınması anlatılmıştır.

4.1.1. CNC Takım Tezgahı

Deneyler Mori Seiki 2,5 eksen CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Tezgah eksenleri çalışma aralığı X eksen için 260 mm ve Z eksen için 1345 mm olarak verilmiştir. Tezgah iş milinin maksimum devri 4000 dev/dk ve tezgah gücü 18,5 kW olarak verilmiştir. Şekil 4.1’de tezgahın genel görünümü ve çalışma eksenleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Tezgah genel görünümü (a) ve tezgah çalışma eksenleri (b).

4.1.2. Malzeme

Yapay zeka sistemlerinin eğitilmesi, doğru tahminde bulunmaları açısından önemlidir. Eğitim için yeterli sayıda deneysel veri elde edilmelidir. Yeterli sayıda veri için çok sayıda deneye ihtiyaç duyulması ve takım aşınmasının uzun sürebileceği göz önüne alınarak sertlik değeri yüksek ve takım aşınmasının göreceli olarak daha hızlı

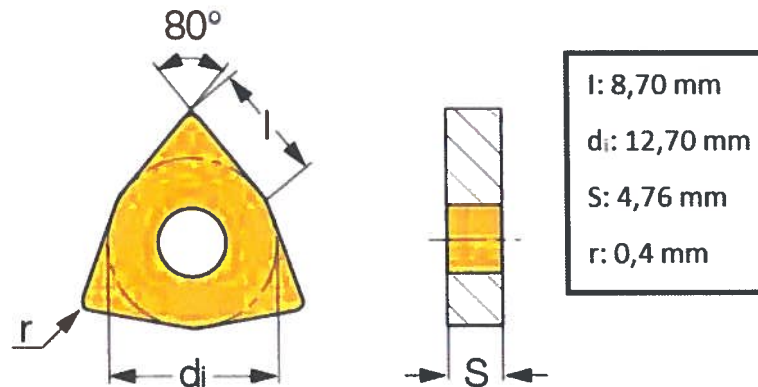
oluşacağı bir malzeme seçilmiştir. Buna bağlı olarak yapılan araştırmalar sonucu ısıtıl işlem görmüş AISI 4140 çeliği iş parçası olarak seçilmiştir. AISI 4140 çeliğinin malzeme özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Isıl işlem görmüş AISI 4140 çeliğinin malzeme özellikleri.

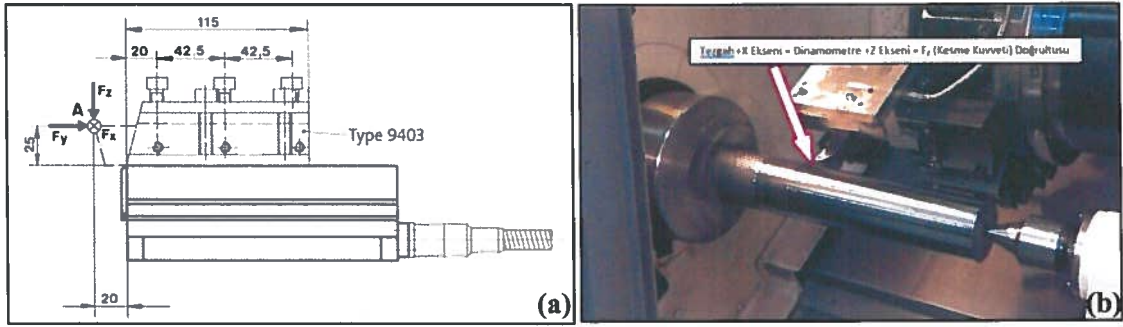
Fiziksel ve Mekanik Özellikler	
Sertlik (Rockwell C)	55
Çekme Dayanımı (MPa)	1200
Akma Dayanımı (MPa)	1735
Elastisite Modülü (GPa)	205
Kopma Uzaması (%)	11
Kimyasal Bileşim	
Karbon (C)	%0,38 – 0,45
Demir (Fe)	%96,7 – 97,7
Krom (Cr)	%0,9 – 1,20
Mangan (Mn)	%0,50 – 0,80
Molibden (Mo)	%0,15 – 0,25
Silisyum (Si)	%0,17 – 0,37
Fosfor (P)	≤ %0,035
Kükürt (S)	≤ %0,040

4.1.3. Kesici Takım

Tez çalışmasında gerçekleştirilen deneylerde; yüksek sıcaklık alaşımlarının kaba ve yarı kaba tornalamasında kullanılan, altı köşeli, 0,4 mm burun yarıçaplı, negatif talaş açılı ve WNMG 080404PP kodlu ISCAR marka takım kullanılmıştır. Şekil 4.2’de takımın geometrik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.2. Iscar WNMG 080404 PP kesici takımın geometrik özellikleri.



Şekil 4.4. Dinamometre kuvvet eksenleri (a) ve dinamometrenin +Z ekseninin, Tezgâh +X ekseninin ve kesme kuvveti F_c 'nin doğrultusunun eş eksenli olduğunun gösterilmesi (b).

4.1.5. Takımcı Mikroskobu

Takım aşınmasını tahmin edebilen modeli oluşturabilmek için takım aşınmasının mutlaka bilinmesi gerekmektedir. Deneyler kapsamında her pasoda takım yan yüzey aşınması, aşınma şeridinin genişliğinin takımcı mikroskobu ile ölçümü sonucu kaydedilmiştir. Kullanılan takımcı mikroskobu Şekil 4.5'te verilmiştir. Tablaya monte edilmiş mikrometreler sayesinde iki eksende ölçüm alınabilmektedir.



Şekil 4.5. Aşınma şeridi genişliği ölçümünde kullanılan takımcı mikroskobu.

4.2. Yöntem

4.2.1. Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi

Tornalama işleminde takım aşınması ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü gibi endüstriyel çıktılara birçok değişken etki etmektedir. Bu değişkenlerden kontrol edilebilecek ve seçilebilecek olanlar bağımsız değişken olarak adlandırılır. Bağımsız değişkenlerin etki ettiği ve amaç fonksiyonumuzu oluşturanlara ise bağımlı değişken adı verilir. Bu tez çalışması kapsamında tek tip takım ve malzeme kullanılmıştır, ancak kesme parametreleri için bir değer aralığı belirlenerek bağımsız değişken olarak alınmıştır. Çizelge 4.2’de takım üreticilerinin önerileri ve literatür taraması sonucu belirlenen kesme parametrelerinin seçim aralığı verilmiştir. Ayrıca her bir pasoda takım aşınması ölçüldüğünden, aşınmanın belirli değerlerine karşılık gelen toplam kesme uzunluğu da kaydedilmiştir. Sonradan bulunmasına rağmen, sabit kesme parametresinde alınan ve takım aşınana kadar gerçekleşen toplam kesme uzunluğu da bağımsız girdi değişkeni olarak alınmıştır. Belirsiz olduğu için herhangi bir aralık belirlenmemiştir.

Çizelge 4.2. Deneyde kullanılacak kesme parametrelerinin seçim aralığı.

Kesme Parametreleri	Değer Aralığı
Kesme Hızı (v , m/dk)	$150 \leq v \leq 250$
İlerleme (f , mm/dev)	$0,05 \leq f \leq 0,2$
Kesme Derinliği (d , mm)	$0,5 \leq d \leq 1,5$

4.2.2. Deney Planı Oluşturulması

Tez kapsamında yapılan deneyler, YSA modelinin oluşturulmasında kullanılacağından yeterli sayı ve nitelikte olması oldukça önemlidir. Tornalama işleminde bir deneysel plan hazırlanırken karşılaşılan genel eğilim, alt ve üst sınırlara göre bir ara değer hesaplamak ve üç bağımsız değişkenin her biri için üç değer belirlemekten ibarettir. Bu tez çalışmasında da tam faktöriyel deney tasarımına karşılık gelecek şekilde üç parametre için üç farklı değer belirlenmiştir. Ancak YSA modelinin daha iyi eğitilmesi için elzem olan veri sayısının ve çeşitliliğinin artırılması adına, iki ara değer daha eklenmiştir. Çizelge 4.3’te tam faktöriyel deney planı için ve YSA modeli için seçilen

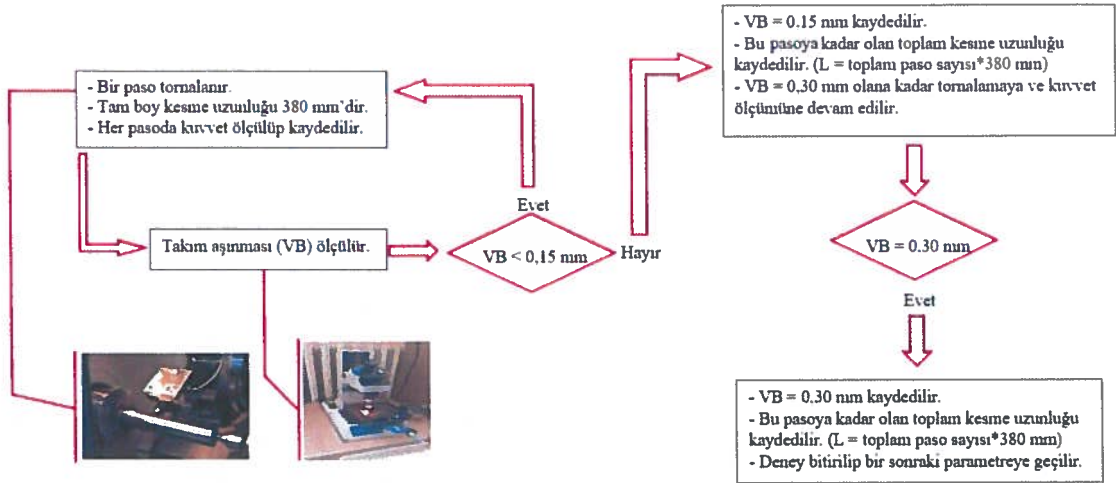
ilave parametreler verilmiştir. Ayrıca deneyler yapılırken 0, 0.15 ve 0.3 olmak üzere üç adet takım aşınması eşiği belirlenmiştir. Her bir aşınma eşiğinde ölçüme kadar gerçekleşen toplam kesme uzunluğu kayıt alınmıştır. Ayrıca her bir pasoda kesme kuvveti kayıt altına alınmıştır. Deney planının tamamı ise EK-1’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Tam faktöriyel dizayna göre ve YSA için gerekli ekstra deneyleri kapsayan deney parametreleri.

Parametre	Tam Faktöriyel Deney Tasarımı	İlave Deneyler (YSA)	Tam Faktöriyel Deney Tasarımı	İlave Deneyler (YSA)	İlave Deneyler (YSA)	Tam Faktöriyel Deney Tasarımı
Kesme Hızı (v, m/dk)	150	170	190	210	230	250
İlerleme (f, mm/dev)	0,05	-	0,1	-	-	0,2
Kesme Derinliği (d, mm)	0,5	0,7	0,87	1,2	-	1,5

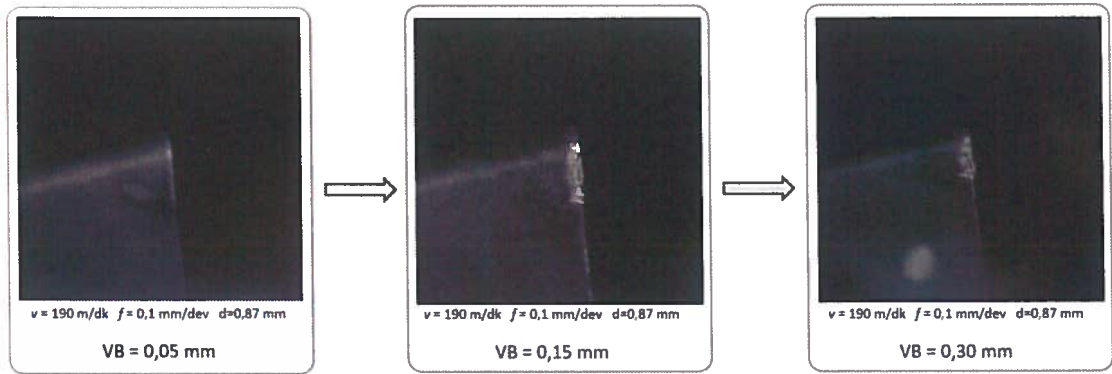
4.3. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar, ilk aşamada on altı adet olmak üzere tam faktöriyel deney tasarımıyla ilgili olarak, Çizelge 4.4’teki deney planına göre gerçekleştirilmiştir. Burada L (mm) kesme uzunluğunu, F_c (N) kesme kuvvetini, VB ise takım yan yüzey aşınmasını temsil etmektedir. İlk deneyler tam faktöriyel deney tasarımı, ikinci set deneyler ise YSA için kullanılacak ilave deneyleri içermektedir. Öncelikle tam faktöriyel tasarıma göre ve belirlenen parametrelerde takımın 0,15 mm’den küçük, 0,15 mm ve 0,30 mm aşınma değerlerine kadar her pasoda kuvvet ölçümü alınmıştır. Aşınma 0,3 mm kritik değerine ulaştığında deney bitirilmiş ve yeni takım ile diğer parametreleri içeren deneye geçilmiştir. Bu deneyler tam faktöriyel tasarıma göre tamamlandıktan sonra takımın aşınmasını beklemeksizin kısa kesme uzunluklarında ilave deneyler yapılmıştır. Deney prosedürü Şekil 4.6’da açıklanmıştır.



Şekil 4.6. Deneylerin işleyiş prosedürü.

Deney prosedüründen anlaşılacağı üzere, her bir parametre dizisini aşamalara ayıran ve sonuçlandıran eylem; takım aşınmasının ölçülmesi ve iki eşik değere ulaşılmasıdır. Şekil 4.7’de her pasoda mikroskop ile ölçülen takım aşınması görüntülerine örnekler verilmiştir. Aşınma şeridinin genişliği, takımçı mikroskobu tablasındaki mikrometre vasıtasıyla ölçülmüştür.



Şekil 4.7. Takım yan yüzey aşınma şeridi genişliğinin (VB, mm) ölçülmesi ve aşınma görüntüleri.

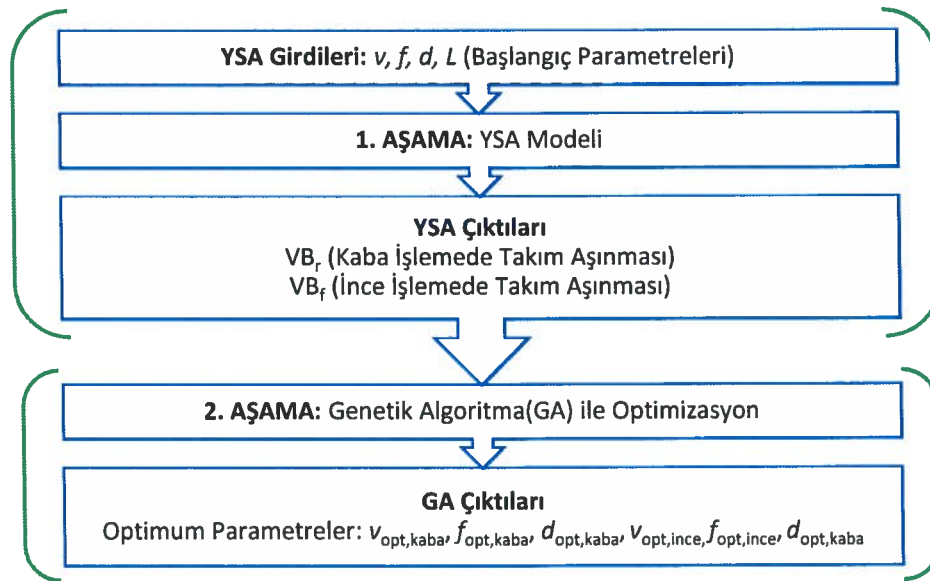
Çizelge 4.4. Tam faktöriyel dizayna göre gerçekleştirilen deneyler.

Deney No	Giriş Parametreleri			Kaydedilen Değerler					
	Kesme Hızı (v, m/dk)	İlerleme (f, mm/dev)	Kesme Derinliği (d, mm)	VB < 0,15		VB = 0,15		VB = 0,30	
				L	F _c	L	F _c	L	F _c
1	250	0,05	0,5	30	87,11	8470	115,05	10395	138,66
2	150	0,2	0,5	30	248,89	6545	274,54	15785	291,19
3	150	0,05	1,5	30	214,39	770	233,53	3080	317,16
4	250	0,2	1,5	30	681,27	1540	694,26	1925	743,67
5	190	0,1	0,87	30	241,23	3080	270,2	9240	298,63
6	190	0,1	0,87	30	222,28	1925	230,56	9240	326,79
7	190	0,1	0,87	30	264,67	3850	284,69	7315	307,65
8	150	0,1	0,87	30	303,61	3080	310,27	13860	336,95
9	190	0,05	0,87	30	158,80	2310	193,15	4235	263,06
10	190	0,1	1,5	30	360,13	1925	376,72	5775	482,75
11	190	0,2	0,5	30	233,40	9625	258,72	20405	307,80
12	250	0,1	0,5	30	135,30	3850	168,34	8470	209,02
13	250	0,2	0,87	30	415,17	1925	424,38	4620	472,27
14	250	0,1	0,87	30	256,82	2310	285,4	3080	322,88
15	190	0,2	0,87	30	423,51	2695	458,14	3850	547,04
16	190	0,1	0,5	30	136,78	5390	147,62	14630	238,74

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. CNC Tornalamada Parametrelerin Adaptif Olarak Seçimi ve İşleme Performansının Artırılması

Tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda, silindirik AISI 4140 malzemede belirli bir talaş hacminin optimum kaba ve ince kesme şartlarına bağlı olarak belirlenen paso sayısında kaldırılması hedeflenmiştir. Bu adaptif kontrol sisteminin çalışma döngüsü; YSA kuvvet ve aşınma modelini ve elde edilen çıktılar kullanılarak yapılan genetik algoritma (GA) kullanılan parametre optimizasyonu gerçekleştirilir. YSA modeline başlangıç girdi değerleri olarak v (kesme hızı, m/dk), f (ilerleme, mm/dev), d (kesme derinliği, mm) ve L (kesme uzunluğu, mm) verilir. YSA modeli takım durumunu (VB) ve esas kesme kuvvetini (F_c) tahmin eder. Bu değerler GA'ya verilerek yeni elde edilen v_{opt} , f_{opt} , d_{opt} değerleri ve kesme uzunluğu (L) bilgisi YSA modeline gönderilerek döngü devam eder. Şekil 5.1'de tornalamada adaptif kontrol sisteminin döngü şeması verilmiştir. Takım aşınma kriteri sağlandığında, takım değiştirme gerçekleştirileceğinden döngü yeniden başlatılır. Zamana ve kesme uzunluklarına bağlı olarak elde edilen optimum parametreler, CNC takım tezgahlarında program kodlarına girilerek çalışma şartlarına uyumlu olarak çalışma sağlanmış olur. Dolayısıyla sabit kesme parametreleri almak yerine; kesme uzunluğu, kesme zamanı ya da parça sayısına bağlı olarak adaptif bir şekilde uygun kesme parametreleri programa girilerek işleme yapılmış olacaktır.



Şekil 5.1. Adaptif Kontrol Döngü Şeması.

5.2. Matematiksel Modeller

5.2.1. Kesme Kuvveti Matematiksel Modeli

Kesme kuvvetlerinin matematiksel modellemesinde Cevap Yüzey Metodu'ndan yararlanılmıştır. Cevap Yüzey Metodu (Response Surface Methodology, RSM) pek çok değişkenden etkilenen bir sistem cevabının ve bu cevabın optimize edilmesini amaçlayan problemlerin modellenmesi ve analiz edilmesinde kullanılan, matematiksel ve istatistiksel tekniklerin bir derlemesidir. Cevap yüzey metodu; tornalama gibi talaş kaldırma yöntemlerinde parametre optimizasyonu, takım aşınması ve kesme kuvvetlerinin tahmin edilmesi için en uygun olan ve oldukça yaygın kullanılan bir matematiksel modelleme yöntemidir. (Neşeli, 2011) RSM ayrıca bir ya da daha fazla ölçülen yanıtlar ve önemli giriş faktörleri arasındaki ilişkileri belirlemektedir. Cevap Yüzey Metod'unda bu ilişki matematiksel olarak; bir y cevabı ile $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$ gibi kontrol değişkenleri arasındaki ilişki (5.1) polinom denklemiyle gösterilir. (Khuri, 2010)

$$y = f(x)\beta + \epsilon \quad (5.1)$$

Burada β sabit katsayılarıdır ve matris işlemleriyle hesaplanabilir. Sistem cevabı olan y ile parametreler arasında matematiksel ilişkiyi esas olarak β belirler. Bağımsız değişkenler $f(x)$, deneysel hata ϵ ile gösterilmiştir. Birinci derece bir model (5.2) denklemiyle verilmiştir.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \epsilon \quad (5.2)$$

Tezde kullanılan ve birinci derece modele göre daha iyi tahmin değeri veren ikinci derece model ise genel olarak (5.3) denklemiyle verilmiştir.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \epsilon \quad (5.3)$$

Takım aşınması ve kesme kuvvetinin genel denklemi üstel birer fonksiyondur. Tez çalışmasında üç farklı seviyede parametreler belirlenmiş ve üstel denklemler logaritmik işlem ile doğrusallaştırılmıştır. Ayrıca parametreler kodlanmış değişkenlere çevrilmiştir. Takım aşınması ve kesme kuvveti modeli oluşturabilmek için öncelikle bir deney planı oluşturulmuş ve deneysel sonuçlardan RSM ile β sabit katsayıları çıkarılmıştır. Elde edilen modeller takım ömrünü ve kesme kuvvetini kabul edilebilir hata ile tahmin etmiştir.

Tez çalışmasında metalik bir malzemenin tornalanmasında oluşacak sistem cevaplarından ikisi olan; takım aşınması ve kesme kuvvetleri alınmıştır. Bağımsız değişkenler olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametreleri alınmıştır. Takım ömrü için bağımsız değişkenler kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği alınarak denklem (5.4)'teki üstel model alınmıştır.

$$T = C_t v^{\alpha_1} f^{\alpha_2} d^{\alpha_3} \quad (5.4)$$

Kesme kuvvetleri için bağımsız değişkenler kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği alınarak denklem (5.5)'teki üstel model alınmıştır.

$$F_c = C_f v^{\rho_1} f^{\rho_2} d^{\rho_3} \quad (5.5)$$

Buradaki C_t ve C_f bir sabittir ve α_1 , α_2 , α_3 ve ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 parametre katsayılarıdır. Yukarıdaki takım ömrü ve kesme kuvveti denklemlerinin her iki tarafının doğal logaritması alınırsa, denklemlerin doğrusallaştırılmış hali aşağıdaki gibidir.

$$\ln T = \ln C_t + \alpha_1 \ln v + \alpha_2 \ln f + \alpha_3 \ln d \quad (5.6)$$

$$\ln F_c = \ln C_f + \rho_1 \ln v + \rho_2 \ln f + \rho_3 \ln d \quad (5.7)$$

Yukarıda verilen denklemlerin birinci dereceden doğrusal modeli, kodlanmış değişkenler ile aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Y' = y - \epsilon = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad (5.8)$$

İkinci derece doğrusal modeli ise;

$$Y' = y - \epsilon = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2 \quad (5.9)$$

Buradaki Y' birinci ve ikinci derece denklemlere bağlı olarak tahmin edilen cevaptır ve y bir logaritmik ölçekte ölçülen kesme kuvveti veya takım ömrüdür. Ayrıca burada x_1 , x_2 , x_3 sırasıyla kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği logaritmik dönüşümleridir. Deneysel hata ϵ ile gösterilmiştir ve 'b' de ilgili parametrelerin sabit katsayılarının tahminleridir. Sistem cevabı ve kesme parametreleri arasındaki denklem (5.1) ile verilen ilişki matris formuna dönüştürülürse aşağıdaki gibi gösterilir.

$$Y = X * B + \epsilon \quad (5.10)$$

Burada B sabit katsayısı aşağıdaki matris işlemleri sonucu bulunabilir.

$$B = (X'X)^{-1}X'Y \quad (5.11)$$

Kademeli artış yolu boyunca devam etmek için her bir faktörün doğrultusunda uygun adımların belirlenmesinde bir kılavuz olacak bir referans faktör seçilir. Cevaplar artmaya devam ederse kademeli artış yolu boyunca hareketle birkaç deneysel koşul seçilir ve test edilir. Cevaplarda artış sona ererse yeni bir yol üretilmelidir. Yeni bir yol gerekli ise, yeni bir ikinci-seviye faktöriyel deneyi tasarlanır ve test edilir. Tüm önceki adımlar cevap olarak ilerleme elde edilemeyinceye kadar tekrarlanır.

CYM'deki matris işlemleri kullanılarak, kesme parametreleri, kesme kuvvetleri ve takım aşınmasından; kesme kuvvetinin matematiksel modeli çıkarılmıştır. Kesme kuvvetinin kaba ve ince işlemedeki matematiksel modeli sırasıyla (5.12) ve (5.13) denklemleriyle verilmiştir. Burada “ x_7 ” takım aşınmasını tanımlar.

$$(F_c)_k = 272,09 - 8,64x_1 + 145,54x_2 + 142,87x_3 + 35,27x_7 + 38,6x_1^2 + 53x_2^2 - 9,2x_3^2 - 4,3x_7^2 + 3,7x_1x_2 + 2,41x_1x_3 - 6,25x_1x_7 + 69,37x_2x_3 - 6,41x_2x_7 + 9,69x_3x_7 \quad (5.12)$$

$$(F_c)_i = 272,09 - 8,64x_4 + 145,54x_5 + 142,87x_6 + 35,27x_7 + 38,6x_4^2 + 53x_5^2 - 9,2x_6^2 - 4,3x_7^2 + 3,7x_4x_5 + 2,41x_4x_6 - 6,25x_4x_7 + 69,37x_5x_6 - 6,41x_5x_7 + 9,69x_6x_7 \quad (5.13)$$

Bu kuvvet modellerinde x_1, x_2, x_3 sırasıyla ince işleme için kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği logaritmik dönüşümleridir. Kaba işleme için aynı parametreler x_4, x_5, x_6 'dır.

$$x_1 = 2 * ((\log(x(1)) - \log(250)) / (\log(250) - \log(150))) + 1; \quad (5.14)$$

$$x_2 = 2 * ((\log(x(2)) - \log(0.2)) / (\log(0.2) - \log(0.05))) + 1; \quad (5.15)$$

$$x_3 = 2 * ((\log(x(3)) - \log(1.5)) / (\log(1.5) - \log(0.5))) + 1; \quad (5.16)$$

$$x_4 = 2 * ((\log(x(4)) - \log(250)) / (\log(250) - \log(150))) + 1; \quad (5.17)$$

$$x_5 = 2 * ((\log(x(5)) - \log(0.2)) / (\log(0.2) - \log(0.05))) + 1; \quad (5.18)$$

$$x_6 = 2 * ((\log(x(6)) - \log(1.5)) / (\log(1.5) - \log(0.5))) + 1; \quad (5.19)$$

5.2.2. Takım Ömrü Matematiksel Modeli

CYM'deki matris işlemleri kullanılarak, daha önce Çizelge 4.4'te verilen 16 adet deneydeki kesme parametreleri takım ömründen; kesme kuvvetinin matematiksel modeli çıkarılmıştır. Takım ömrünün kaba ve ince işlemedeki matematiksel modeli sırasıyla (5.20) ve (5.21) denklemleriyle verilmiştir. Logaritmik dönüşümler önceki bölümdeki gibidir.

$$(T)_k = 4,393347 - 0,89789x_1 - 0,85021x_2 - 0,40039x_3 - 0,10808x_1^2 - 0,57828x_2^2 - 0,011584x_3^2 - 0,05711x_1x_2 + 0,439612x_1x_3 + 0,15914x_2x_3 \quad (5.20)$$

$$(T)_i = 4,393347 - 0,89789x_4 - 0,85021x_5 - 0,40039x_6 - 0,10808x_4^2 - 0,57828x_5^2 - 0,011584x_6^2 - 0,05711x_4x_5 + 0,439612x_4x_6 + 0,15914x_5x_6 \quad (5.21)$$

5.2.3. Matematiksel Modellerin Performansı

Her iki modelin verdiği değerler ile gerçek değerlerin karşılaştırılması Çizelge 5.1'de verilmiştir. Hatalar kabul edilebilir düzeyde çıkmıştır.

Çizelge 5.1. Matematiksel modellerin tahmin değerlerinin gerçek değerler ile karşılaştırılması.

Deney No	v	f	d	Takım Ömrü (dk)			Kesme Kuvveti (N)		
				Gerçek Değer	Tahmin Değeri	% Hata	Gerçek Değer	Tahmin Değeri	% Hata
1	1	-1	-1	46,71	46,92	0,46	87,11	90,66	-4,08
2	-1	1	-1	90,04	90,45	0,50	248,89	265,42	-6,64
3	-1	-1	1	81,88	82,25	0,48	214,39	230,46	-7,50
4	1	1	1	8,22	8,26	0,46	681,27	673,14	1,19
5	0	0	0	179,88	178,24	-0,91	340,21	319,33	6,14
6	0	0	0	29,86	29,59	-0,80	285,40	302,05	-5,83
7	0	0	0	107,17	106,20	-0,91	193,15	179,55	7,04
8	-1	0	0	19,57	19,39	-0,91	471,40	470,63	0,16
9	0	-1	0	123,28	122,16	-1,50	153,31	120,02	21,71
10	0	0	1	55,35	54,85	-4,35	376,72	405,76	-7,71
11	0	1	-1	83,99	80,91	-3,67	241,23	232,52	3,61
12	1	0	-1	78,78	80,91	2,70	298,63	303,06	-1,48

5.3. YSA Modelinin Tasarımı

Bu tez çalışmasında belirli sayıda parçanın silindirik tornalaması sırasında takımın aşınma durumunun YSA ile tahmin edilmesi ve aşınma durumuna göre kesme parametrelerinin GA ile optimizasyonu amaçlanmıştır. Bu sayede tüm pasolarda kesme parametreleri sabit alarak takımın kademeli aşınmasını beklemek yerine, aşınmayı yapay zeka ile tahmin ederek kesme parametrelerini uygun şekilde değiştirmek amaçlanmıştır. İlk aşamada EK-1’de verilen deney tasarımına göre 138 adet deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerde girdi parametreleri; kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve kesme uzunluğudur. Çıktı parametreleri ise; takım yan yüzey aşınma şeridinin mm cinsinden genişliği ile ifade edilen takım aşınması ve asıl kesme kuvvetidir. Takım aşınmasının değeri takım mikroskobunda mikrometre ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kesme kuvveti ise üç eksenle ölçüm alabilen dinamometrenin Z ekseninden alınan kuvvet değerlerinden kaydedilmiştir. Girdi değerlerinden v (kesme hızı), f (ilerleme) ve d (kesme derinliği) EK-1’de kodlanmış değişkenler cinsinden verilmiştir. Çizelge 5.2’de kodlanmış değişkenlerin gerçek karşılıkları verilmiştir.

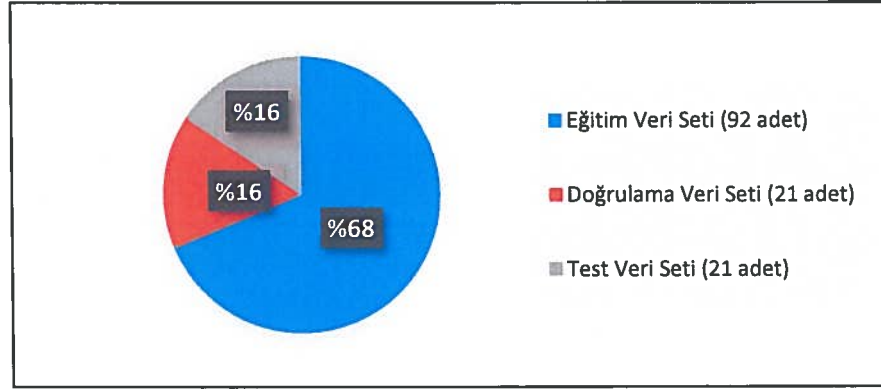
Çizelge 5.2. Deneysel olarak elde edilen v (kesme hızı), f (ilerleme) ve d (kesme derinliği) parametrelerinin gerçek ve kodlanmış değerleri.

v (kesme hızı)						
Gerçek değer (m/dk)	150	170	190	210	230	250
Kodlanmış değer (birimsiz)	-1	-0,5	0	0,32	0,67	1
f (ilerleme)						
Gerçek değer (mm/dev)	0,05	-	0,1	-	-	0,15
Kodlanmış değer (birimsiz)	-1	-	0	-	-	1
d (kesme derinliği)						
Gerçek değer (mm)	0,5	0,7	0,87	1,2	-	1,5
Kodlanmış değer (birimsiz)	-1	-0,4	0	0,59	-	1

Bu deneysel veriler kesme kuvveti ve takım aşınması tahmini için kullanılmıştır. Öncelikle elde edilen tüm deney verileri eğitim, doğrulama ve test verileri olmak üzere üç grupta sınıflandırılmalıdır. Ardından YSA mimarisi ve eğitim algoritması seçilmelidir. Veri setinin sınıflandırılması ve mimarinin kararlaştırılmasında Alyuda Neurointelligence yazılımının özelliklerinden faydalanılmıştır.

Veriler yazılım tarafından analiz edilerek eğitim, test ve doğrulama için kullanılmak üzere seçilmiş ve üçe ayrılmıştır. Özellikle eğitim verilerinin

sınıflandırılması yapılırken genel veri aralığının çok dışında kalanlar çıkarılmıştır. Dört girdi parametresi ve iki çıktı parametresi olmak üzere toplam altı sütun ve 138 satırda bulunan veriler analiz edilmiştir. Toplam dört satır iptal edilerek veri sınıflandırılmasının dışında bırakılmıştır. Geri kalan veri setinden 92 tanesi (% 68,66) eğitim veri seti, 21 tanesi (% 15,67) doğrulama veri seti ve 21 tanesi de (% 15,67) test veri seti olarak seçilmiştir. Verilerin dağılımı Şekil 5.2’de, sınıflandırılmış hali ise EK-2’de verilmiştir.

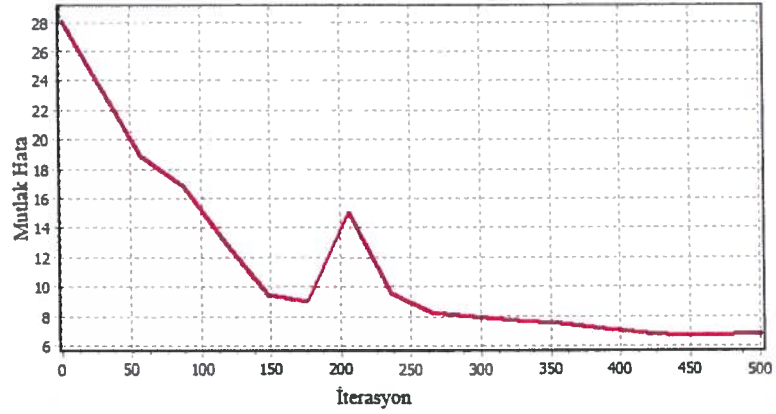


Şekil 5.2. Deneysel verilerin YSA tahmin modeli oluşturmak için gerekli olan eğitim, doğrulama ve test olmak üzere üç farklı şekilde sınıflandırılması.

Veriler sınıflandırıldıktan sonra YSA mimarisinin nasıl olacağına karar verilmelidir. Kullanılan yazılımda en iyi mimariyi arama özelliği bulunmaktadır. Sezgisel arama (heuristic search) metodu kullanılarak en iyi mimari bulunmuştur. Yazılım mimari arama işlemini yaparken girdi ve çıktı katmanlarını seçtiğimiz gibi sabit tutmaktadır. Farklı alternatiflerden en az hata vereni bulabilmek için gizli katman sayılarını değiştirmektedir. Üç adet kesme parametresi ve kesme uzunluğun ile toplam dört girdi vardır. Takım aşınması ve kesme kuvveti olmak üzere iki çıktı vardır. Sonuç olarak Çizelge 5.3’te verilen mimariler arasından en az hata veren mimari; sırasıyla giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı sayılarını temsil eden 4-12-2 YSA mimarisi olarak tespit edilmiştir. Şekil 5.3’teki grafikte verildiği üzere, toplam 500 iterasyon sonucu mutlak hata minimum değerine ulaşmıştır. Bu mimari otomatik olarak aktifleştirilmiştir.

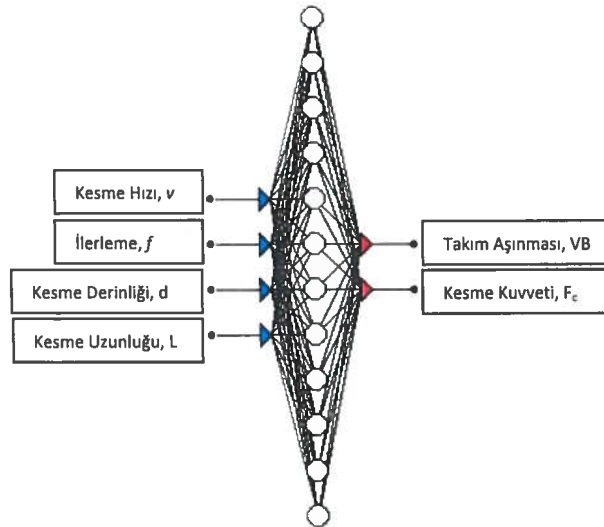
Çizelge 5.3. Alyuda Neurointelligence ile mimari araması ve en uygun mimarinin seçilmesi.

	Mimari	Ağırlık Sayısı	Eğitim Hatası	Doğrulama Hatası	Test Hatası
1	4-1-2	9	73,77	63,52	62,79
2	4-13-2	93	8,44	11,31	12,16
3	4-8-2	58	16,02	14,45	15,82
4	4-5-2	37	24,47	13,58	21,14
5	4-11-2	79	10,06	14,53	12,41
6	4-9-2	65	21,38	13,18	19,36
7	4-12-2	86	7,7	10,78	11,33
8	4-10-2	72	20,62	15,49	19,25



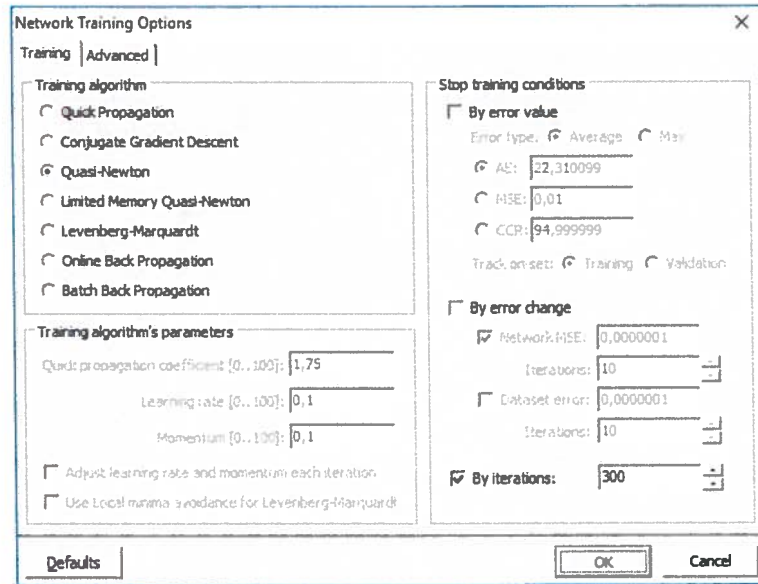
Şekil 5.3. Mutlak hatanın 4-12-2 mimarisi için minimuma ulaşmasını gösteren grafik.

Dört giriş katmanı, on iki gizli katman ve iki çıkış katmanını temsil eden 4-12-2 mimarisindeki YSA modelinin şematik gösterimi Şekil 5.4'te verilmiştir. Esas olarak YSA tasarımında çok önemli bir parametre olan gizli katman sayısının seçimi bu aşamada yapılmıştır.



Şekil 5.4. YSA modelinde kullanılan 4-12-2 mimarisi.

YSA modelinin çalışabilmesi için öncelikle hangi eğitim algoritmasının kullanılacağı ve iterasyon sayısı seçilmelidir. Quasi-Newton algoritması Mukherjee (2012) tarafından, yapay sinir ağları üzerine çalışan araştırmacıların çoğunlukla kullandığı Levenberg-Marquardt algoritması ile performansları açısından karşılaştırılmıştır. Her iki algoritmanın da uygulanabilirlik ve eğitimde harcanan süre bakımından üstün olduğu belirtilmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen eğitim verilerine uygulandığında ise; Quasi-Newton algoritmasının daha olumlu sonuç verdiği ve hata oranlarının düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.5'te modelin eğitimi ile ilgili Alyuda yazılımında sunulan seçenekler verilmiştir. Sonuçta eğitim algoritması olarak Quasi-Newton seçilmiştir ve 300 iterasyon girilmiştir.



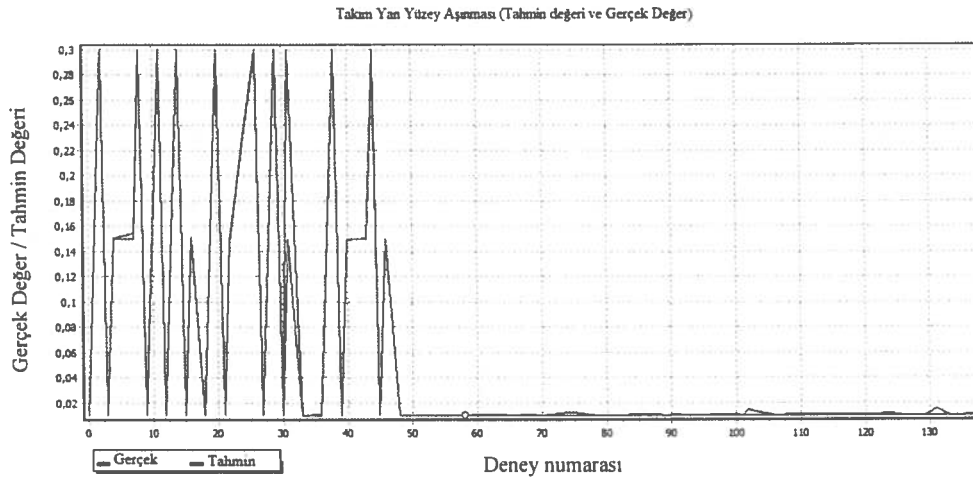
Şekil 5.5. Alyuda yazılımında YSA modeli eğitim algoritması seçimi ve iterasyon sayısının girilmesi.

5.3.1. YSA Modelinin Eğitilmesi ve Tahmin Sonuçları

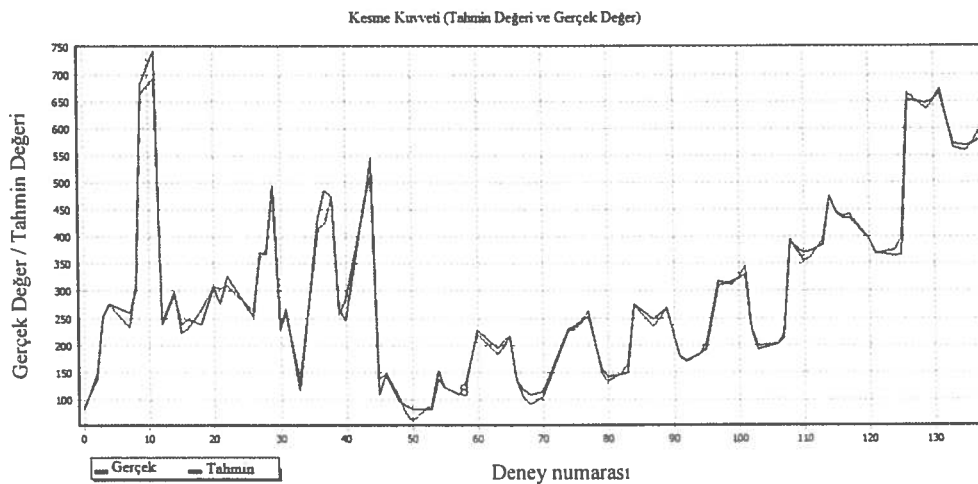
Teorik esaslar bölümünde belirtildiği üzere YSA modellerinin tahmin mekanizmasını çalıştırabilmek için eğitici ve eğiticisiz olmak üzere iki çeşit öğrenme tipinden birisi uygulanmalıdır. Bu tez çalışmasında eğitici öğrenme tipi kullanılmıştır. Deneysel olarak elde edilen verilerden eğitim veri seti olarak seçilenler EK-2'de gösterilmiştir. Toplam 92 satır eğitim verisi, her satırda 4 girdi parametresi ve 2 çıktı parametresi olmak üzere toplamda 552 adet tekil veriden oluşmaktadır. Eğitimin

sonucunda tahmin edilen değerler ile gerçek veri setinin karşılaştırması üç farklı set için (eğitim, doğrulama ve test) grafiksel olarak verilmiştir.

Şekil 5.6'da sadece eğitim verilerini içeren, sırasıyla takım aşınmasının gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Yaklaşık olarak otuz ikinci satırda bulunan sapma dışında, YSA modelinden gerçeğe oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Kuvvet ölçümüyle birlikte aşınma alındığından, aşınmamış kabul edilen ve 0,01 mm olarak alınan aşınma değerleri nedeniyle ellinci satırdan sonra grafik yatay bir seyir izlemiştir. Şekil 5.7'de bu kez kesme kuvvetinin tahmin edilen ve gerçek değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Burada her pasoda farklı bir kuvvet değeri elde edildiği için daha okunabilir bir grafik elde edilmiştir.

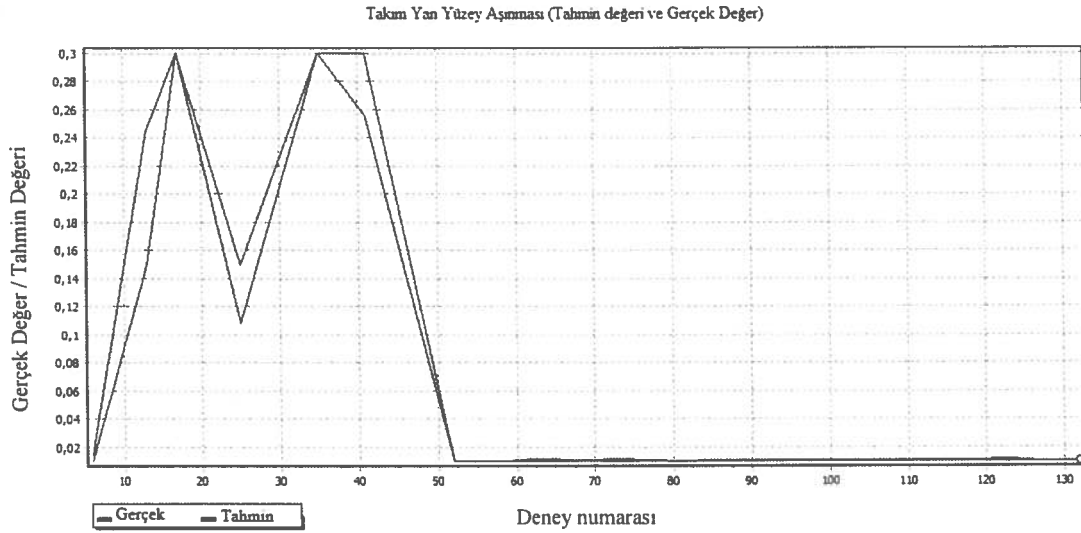


Şekil 5.6. Test verilerinden oluşan, takım yan yüzey aşınmasının gerçek değerleri ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırma grafiği.

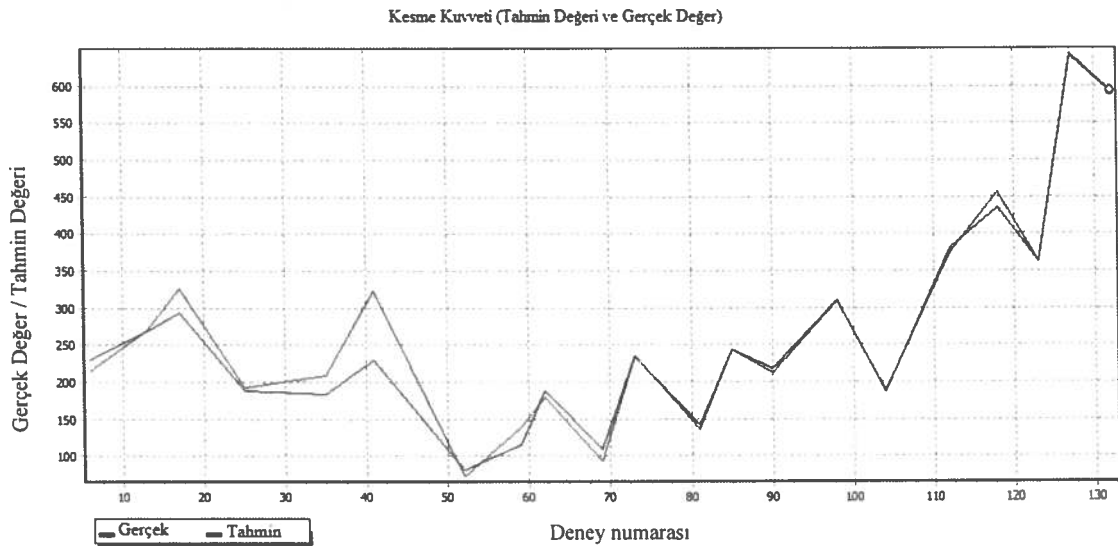


Şekil 5.7. Test verilerinden oluşan, kesme kuvvetinin gerçek değerleri ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırma grafiği.

Şekil 5.8’de sadece doğrulama verilerini içeren, sırasıyla takım aşınmasının gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Şekil 5.9’da ise aynı şekilde doğrulama verilerini içeren kesme kuvvetinin gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Kesme kuvvetini kapsayan grafikte dört farklı veri noktasında kabul edilebilir sapma görülmektedir.

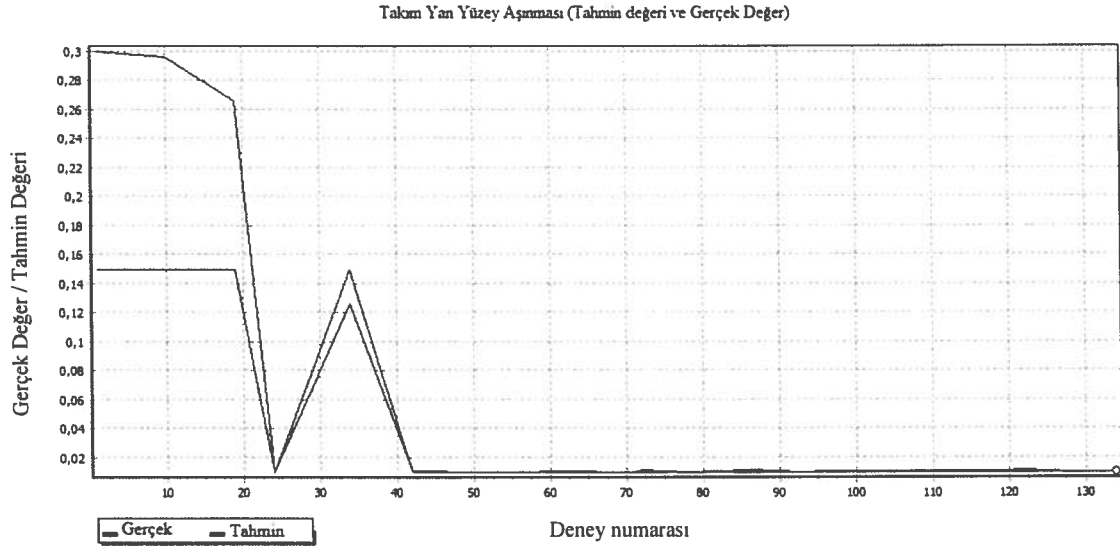


Şekil 5.8. Doğrulama verilerinden oluşan, takım yan yüzey aşınmasının gerçek değerleri ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırma grafiği.

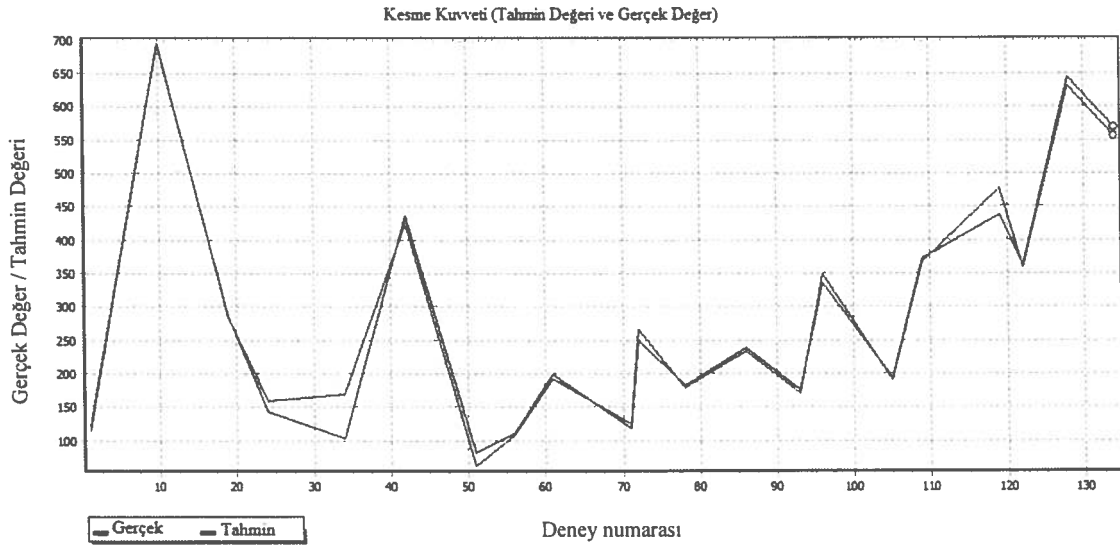


Şekil 5.9. Doğrulama verilerinden oluşan, kesme kuvvetinin gerçek değerleri ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırma grafiği.

Şekil 5.10’da sadece test verilerini içeren, sırasıyla takım aşınmasının gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Toplam üç adet tahmin verisinde sapma görülmüştür. Şekil 5.11’de ise test verilerini içeren kesme kuvvetinin gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. İki adet kuvvet tahmin değerinde kabul edilebilir sapma görülmüştür.



Şekil 5.10. Test verilerinden oluşan, takım yan yüzey aşınmasının gerçek değerleri ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırma grafiği.



Şekil 5.11. Test verilerinden oluşan, kesme kuvvetinin gerçek değerleri ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırma grafiği.

5.4. Genetik Algoritma ile Kesme Koşullarının Optimizasyonu

5.4.1. Amaç Fonksiyonu

Tornalamada kesme koşullarının seçimi hem işlem performansı hem de takım ömrü açısından oldukça önemlidir. Takım üreticileri işlenecek malzemeye göre ve seçilmiş belirli bir takım için; tavsiye edilen kesme hızı ve ilerleme değer aralığı sunmaktadır. Tez çalışmasında AISI 4140 malzemenin kaba ve ince tornalanmasında (amaç fonksiyonu işleme zamanı olmak üzere) kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği değerleri optimize edilmiştir. Optimizasyonda kullanılacak algoritma olarak genetik algoritma seçilmiştir. Kullanılacak amaç fonksiyonunda hedef; birim üretim maliyeti olduğundan, birim üretim maliyetinin matematiksel modeli kullanılır. Amaç fonksiyonu olarak birim üretim maliyeti alınmıştır. Birim üretim maliyeti, dört farklı maliyet kaleminden oluşur. (Chen, 1996)

C_m : Kesme işleminin gerçekleştiği asıl zamana ait kesme maliyeti.

C_1 : Sök tak ve takımın boşta hareketlerini içeren takımın boşta kalma maliyeti.

C_R : Takım değiştirmenin maliyeti.

C_T : Takım maliyeti.

5.4.1.1. Kesme Maliyeti

Çok aşamalı bir tornalama işlemi, kaba ve ince işlemeden oluşur. Tornalama işleminde kaba işlemedeki parametreler sırasıyla v_k , f_k , d_k ; ve ince işlemedeki parametreler sırasıyla v_i , f_i , d_i olarak tanımlanırsa; kesme maliyeti (5.22) denklemi ile verilir.

$$C_M = k_0 \left(\frac{\pi D L}{1000 v_k f_k} \left(\frac{d_t - d_i}{d_k} \right) + \frac{\pi D L}{1000 v_i f_i} \right) \quad (5.22)$$

5.4.1.2. Takım Değiştirme Maliyeti

Takım değiştirme maliyeti; takım değiştirme zamanı (t_e), takım ömrü (T_p), takımını değiştirmek için gerekli zaman ve kesme zamanını içerir. Takım değiştirme maliyeti (5.23) denklemi ile verilir. (Chen, 1996)

$$C_R = k_0 \frac{t_e}{T_p} \left(\frac{\pi DL}{1000 v_k f_k} \left(\frac{d_t - d_i}{d_k} \right) + \frac{\pi DL}{1000 v_i f_i} \right) \quad (5.23)$$

Burada T_p ile ifade edilen takım ömrü, kaba ve ince işlemede takımın maruz kaldığı aşınmanın farklı olmasından kaynaklanır. Kaba işlemedeki takım ömrü T_k , ince işlemedeki T_i olmak üzere (5.24) denklemi ile verilir. Denklemden görüldüğü üzere $\theta=1$ alınırsa kaba işlemedeki takım ömrü matematik modele dahil edilmiş olur.

$$T_p = \theta T_k + (1 - \theta) T_i \quad (5.24)$$

Burada T_k kaba işleme takım ömrü; Taylor takım ömrü denkleminde (5.25) ile ifade edilir.

$$T_k = \left(\frac{C_0}{v_k^p f_k^p d_k^r} \right) \quad (5.25)$$

5.4.1.3. Takım Maliyeti

Takım maliyeti (5.26) denklemiyle ifade edilir. (Chen, 1996)

$$C_T = \frac{k_t}{T_p} \left(\frac{\pi DL}{1000 v_k f_k} \left(\frac{d_t - d_i}{d_k} \right) + \frac{\pi DL}{1000 v_i f_i} \right) \quad (5.26)$$

5.4.1.4. Takım Boşta Kalma Maliyeti

Tezgahın mecbur olarak boşta kaldığı, başka bir ifadeyle parça bağlama ve sökme, takımın yaklaşma ve uzaklaşma gibi işlemlerinin yapıldığı süre zarfındaki kayıp maliyet C_1 ile gösterilir ve (5.27) denklemi ile verilir. (Chen, 1996)

$$C_1 = k_0 \left(t_c + (h_1 L + h_2) \left(\frac{d_t - d_l}{d_k} \right) + 1 \right) \quad (5.27)$$

5.4.1.5. Birim Üretim Maliyeti

Optimizasyonda amaç fonksiyonu olarak seçilen birim üretim maliyeti; takım maliyeti, takım boşta kalma maliyeti, takım değiştirme maliyeti ve kesme maliyetinden oluşup (5.28) denklemi ile verilir.

$$UC = C_M + C_1 + C_R + C_T \quad (5.28)$$

5.4.2. Optimizasyon Kısıtları

Bir mühendislik problemi optimize edilirken işlemin doğasından kaynaklanan ve işlemin sorunsuz ilerlemesini garanti altına alan belirli kısıtların tanımlanması zorunludur. Tornalama işleminde kısıtlarımız; esas kesme kuvveti büyüklüğü, takım tutucunun sehimi ve iş parçası yüzey pürüzlülüğüdür. Tüm kısıtlar (5.29) ve (5.36) denklemleri arasında verilmiştir.

Takım tutucu sehim kısıtı; kaba ve ince işleme için (5.29) ve (5.30) denklemleri ile verilmiştir.

$$(\delta_k)_{max} = (0,6) \left(k_s f_k d_k \left(\frac{L_k^3}{E} \right) \right) \leq 0,01 \quad (5.29)$$

$$(\delta_l)_{max} = (0,6) \left(k_s f_l d_l \left(\frac{L_l^3}{E} \right) \right) \leq 0,01 \quad (5.30)$$

Burada k_s , özgül kesme kuvveti olup özgül kesme kuvvetinin değerleri tablosundan 42CrMo4 (AISI 4140) için 2000 N/mm^2 'dir. L_t takımın çıkma boyu olup 50 mm 'dir. E sabitinin değeri $2,7216 \cdot 10^{11}$ 'dir.

Diğer bir kısıt, kesme kuvvetidir. Daha önce (5.12) ve (5.13) denklemleri ile kuvvet modeli kaba ve ince tornalama için verilmiştir. Kaba ve ince işleme için kesme kuvveti kısıtları (5.31) ve (5.32) denklemleri ile verilmiştir. Burada (5.12) ve (5.13) denklemlerindeki x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 ve x_6 , değerlerinin logaritmik olduğuna dikkat

edilmelidir. Bu nedenle kuvvet modelinden elde edilen sonuç üs olarak gelir. Bu sayede Newton cinsinden kuvvete çevrilmiş olur.

$$(2,718)^{(F_c)_k} \leq F_k^U \quad (5.31)$$

$$(2,718)^{(F_c)_i} \leq F_i^U \quad (5.32)$$

Yüzey pürüzlülüğü kısıtı (5.33) ve (5.34) denklemleri ile verilmiştir. İş parçası yüzey pürüzlülüğünü ifade eder. Burada R takım burun radyusu olup 0,4 mm'dir. Ra yüzey pürüzlülüğü birimi μm 'dir.

$$\frac{(x_2)^2}{8R} \leq (R_a)_{max} \quad (5.33)$$

$$\frac{(x_5)^2}{8R} \leq (R_a)_{max} \quad (5.34)$$

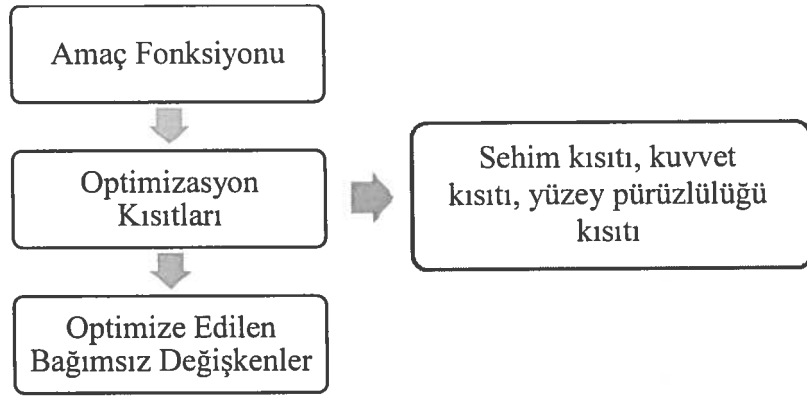
Motor gücü de matematiksel modelin son kısıtı olarak (5.35) ve (5.36) denklemleri ile verilmiştir.

$$\frac{x_2 x_3 x_1}{60000} \leq 7,5 \quad (5.35)$$

$$\frac{x_5 x_6 x_4}{60000} \leq 7,5 \quad (5.36)$$

5.4.3. Genetik Algoritma ile Optimizasyon Uygulaması

Genetik algoritma ile optimizasyonun iki önemli ayağı bulunmaktadır. Bunlardan ilki amaç fonksiyonu bileşenlerinin tanımlanmasıdır. İkincisi ise optimizasyonun hangi kısıtlar dahilinde gerçekleştirileceğidir. Çizelge 5.4'te amaç fonksiyonu bileşenleri verilmiştir. Genetik algoritmanın akış şeması Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Genetik Algoritma akış şeması.

Çizelge 5.4. Genetik Algoritma amaç fonksiyonu bileşenleri.

Amaç Fonksiyonu			
$UC = C_M + C_1 + C_R + C_T$			
C_M Bileşeni		Sabit Değerler	Bağımsız Değişkenler
$C_M = k_0 \left(\frac{\pi DL}{1000 v_k f_k} \left(\frac{d_t - d_i}{d_k} \right) + \frac{\pi DL}{1000 v_i f_i} \right)$		k_0, π, D, L	$v_k, f_k, v_i, f_i, d_i, d_t, d_k$
C_1 Bileşeni			
$C_1 = k_0 \left(t_c + (h_1 L + h_2) \left(\frac{d_t - d_i}{d_k} \right) + 1 \right)$		k_0, t_c, h_1, h_2, L	d_i, d_t, d_k
C_R Bileşeni			
$C_R = k_0 \frac{t_e}{T_p} \left(\frac{\pi DL}{1000 v_k f_k} \left(\frac{d_t - d_i}{d_k} \right) + \frac{\pi DL}{1000 v_i f_i} \right)$		k_0, t_e, T_p, π, D, L	$v_k, f_k, v_i, f_i, d_i, d_t, d_k$
C_T Bileşeni			
$C_T = \frac{k_t}{T_p} \left(\frac{\pi DL}{1000 v_k f_k} \left(\frac{d_t - d_i}{d_k} \right) + \frac{\pi DL}{1000 v_i f_i} \right)$		k_t, T_p, π, D, L	$v_k, f_k, v_i, f_i, d_i, d_t, d_k$

Her optimizasyon probleminde, prosesinin doğası gereği kısıtlar bulunur. Tornalama prosesindeki optimizasyon kısıtları Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Genetik Algoritma optimizasyon kısıtları.

Kısıtlar	Sabit Değerler	Bağımsız Değişkenler
Sehim Kısıtı (Kaba İşleme) $(\delta_k)_{max} = (0,6) \left(k_s f_k d_k \left(\frac{L_t^3}{E} \right) \right) \leq 0,01$	k_s, E, L_t	f_k, d_k
Sehim Kısıtı (İnce İşleme) $(\delta_i)_{max} = (0,6) \left(k_s f_i d_i \left(\frac{L_t^3}{E} \right) \right) \leq 0,01$	k_s, E, L_t	f_i, d_i
Kuvvet Kısıtı (Kaba İşleme) $(2,718)^{(F_c)_k} \leq F_k^U$	-	v_k, f_k, d_k
Kuvvet Kısıtı (İnce İşleme) $(2,718)^{(F_c)_i} \leq F_i^U$	-	v_i, f_i, d_i
Yüzey Pürüzlülüğü Kısıtı (Kaba İşleme) $\frac{(f_k)^2}{8R} \leq (R_a)_{max}$	R	f_k
Yüzey Pürüzlülüğü Kısıtı (İnce İşleme) $\frac{(f_i)^2}{8R} \leq (R_a)_{max}$	R	f_i
Motor Gücü Kısıtı (Kaba İşleme) $\frac{v_k f_k d_k}{60000} \leq 7,5$	-	v_k, f_k, d_k
Motor Gücü Kısıtı (İnce İşleme) $\frac{v_k f_k d_k}{60000} \leq 7,5$	-	v_k, f_k, d_k

Amaç fonksiyonu ve kısıtlar belirlendikten sonra optimize edilecek bağımsız değişkenlerin alt ve üst sınırları belirlenmiştir. Optimizasyon bu aralıkta minimum değeri sağlayana kadar çalıştırılmıştır. Alt ve üst sınırlar ince ve kaba işlemede ortak olmak üzere aşağıdaki gibidir.

$$150 \leq v \leq 250$$

$$0,05 \leq f \leq 0,2$$

$$0,5 \leq d \leq 1,5$$

Amaç fonksiyonu, kısıtlar ve alt-üst sınırlar belirlendikten sonra optimizasyon algoritması çalıştırılmıştır. Her bir denemede bulunan optimum parametreler, amaç fonksiyonu değeri ve iterasyon sayısı Çizelge 5.6’da verilmiştir.

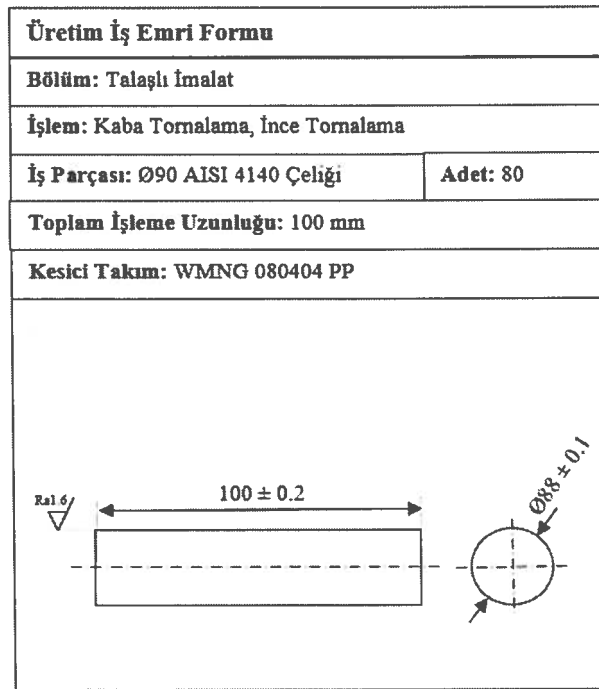
Çizelge 5.6. Genetik Algoritma ile optimizasyon denemeleri ve sonuçları.

Deneme	İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonu Değeri (Birim Üretim Maliyeti, TL)	v_k	f_k	d_k	v_i	f_i	d_i
1	5	21,011	181,454	0,168	1,5	152,14	0,1	0,5
2	3	21,637	217,643	0,132	1,5	156,884	0,092	0,518
3	5	22,538	244,323	0,114	1,493	166,838	0,084	0,527
4	3	21,754	202,964	0,147	1,483	210,859	0,065	0,503
5	5	21,115	178,142	0,173	1,498	162,357	0,092	0,5
6	2	21,488	175,116	0,181	1,466	183,231	0,078	0,503
7	5	21,069	178,129	0,172	1,5	158,174	0,095	0,5
8	5	21,741	236,555	0,132	1,365	170,29	0,086	0,5
9	5	21,424	206,711	0,142	1,5	173,277	0,084	0,5
10	3	21,793	183,816	0,166	1,497	250	0,052	0,502
11	5	21,248	193,168	0,153	1,5	166,926	0,088	0,504
12	3	21,295	184,73	0,166	1,488	168,764	0,086	0,51
13	5	21,325	188,957	0,165	1,454	160,131	0,093	0,502
14	3	21,574	171,519	0,186	1,466	154,559	0,09	0,538
15	5	22,263	187,47	0,181	1,355	204,295	0,068	0,5
16	3	21,874	166,483	0,192	1,478	180,277	0,073	0,542
17	3	21,759	190,456	0,162	1,469	225,221	0,06	0,5
18	5	21,518	190,897	0,159	1,482	199,921	0,07	0,5
19	2	22,332	216,558	0,137	1,467	230,918	0,056	0,517
20	5	21,537	177,603	0,18	1,448	181,966	0,079	0,501

5.5. Sanal Adaptif Kontrol Sistemi Yaklaşımının Örnek Bir İş Parçası Üzerinden İncelenmesi

Bu bölümde, geliştirilen sanal adaptif kontrol sisteminin bir imalat tesisinde geleneksel yaklaşıma göre nasıl bir avantaj sağlayacağını belirtmek amacıyla örnek bir iş parçası ele alınmıştır. Örnek imalat prosesi olarak, seri üretim yaptığı varsayılan ve tornalama işlemini kullanan bir üretim tesisi ele alınmıştır. Belirli bir parçanın üretim rotasında bulunan kaba ve ince silindirik tornalama işlemi yapılmaktadır. Bu işlemlere karşılık gelen iş emri Şekil 5.13’te gösterilmiştir. İş emri seçilirken, adaptif parametre seçiminin takım aşınmasını geciktirmesi araştırılacağından toplam kesme uzunluğunun fazla olacağı durum ele alınmıştır. Şekilde verilen örnek iş emrine göre 90 mm standart

çapta gelen silindirik 4140 çelik malzemenin kaba ve ince tornalaması 80 adet parça için istenmektedir. Kesme uzunluğu her parça için 100 mm olup, kaba ve ince tornalama için 2 mm toplam paso derinliği bulunmaktadır. Parçalar işlenmeye başlandıktan sonra belirli pasolarda kuvvet ve aşınma değerlerinin hangi düzeye ulaştığı YSA ile sorgulanacaktır. Kullanılacak takım 0.4 mm burun radiusuna sahip WNMG olup 2.5 eksen Mori Seiki CNC Torna tezgâhta işlenecektir.



Şekil 5.13. Örnek parça iş emri.

Toplam 80 adet parça için her bir parçanın pasoları ve YSA modelinden elde edilen kuvvet aşınma değerleri Çizelge 5.7’de verilmiştir. Çizelge 5.7 esas olarak sanal adaptif kontrol yaklaşımını sergilemektedir. YSA’dan gelen verilere göre GA optimizasyonu tekrar uygulanmış ve parametreler değiştirilerek diğer parçaların kaba ve ince tornalanmasına devam edilmiştir. İlk aşamada $v_k = 150$ m/dk, $f_k = 0,2$ mm/dev, $d_k = 1,5$ mm alınmıştır.

Çizelge 5.7. Örnek parçaların kaba ve ince işlenmesi sırasında adaptif kontrol yaklaşımı.

Parça No	Paso	Takımın Maruz Kaldığı Toplam Paso Sayısı	Toplam Kesme Uzunluğu (mm)	Kesme Kuvveti (N)	Takım Aşınması (mm)
1	Kaba	1	380	248,89	< 0,15
	İnce	2	760	248,90	< 0,15
2	Kaba	3	1140	256,82	< 0,15
	İnce	4	1520	267,88	< 0,15
3	Kaba	5	1900	270,20	< 0,15
	İnce	6	2280	270,92	< 0,15
4	Kaba	7	2660	270,30	< 0,15
	İnce	8	3040	270,88	< 0,15
5	Kaba	9	3420	269,62	< 0,15
	İnce	10	3800	271,30	< 0,15
6	Kaba	11	4180	271,77	< 0,15
	İnce	12	4560	271,93	< 0,15
7	Kaba	13	4940	272,23	< 0,15
	İnce	14	5320	271,30	< 0,15
8	Kaba	15	5700	275,77	< 0,15
	İnce	16	6080	278,93	0,15

YSA modeline kesme parametreleri ve L (kesme uzunluğu) girilerek iki pasoda bir sorgulama yapılmıştır. Sekizinci parçada ve buna karşılık gelen on altıncı pasoda, takım 0,15 mm yan yüzey aşınması vermiştir. Kesme kuvveti ise 278,3 N değerine ulaşmıştır. Bu aşamada YSA modelinden aldığımız bu veriler ışığında GA optimizasyonu çalıştırılır. Parçalar yeni parametrelere göre işlenmeye devam eder. İkinci aşamada $v_k' = 150$ m/dk, $f_k' = 0,1$ mm/dev, $d_k' = 1$ mm alınmıştır. Optimizasyon sonuçlarının yönlendirmesiyle ilerleme ve kesme hızı düşürülerek takım aşınması geciktirilmiştir. İnce işleme paso sayısı ikiye çıkmak zorunda kalmıştır. Çizelge 5.8’de YSA modelinin kuvvet ve aşınma tahminleri sonrası ikinci aşamanın sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.8. YSA modeli tahminleri sonrası bulunan sonuçlar.

Parça No	Paso	Takımın Maruz Kaldığı Toplam Paso Sayısı	Toplam Kesme Uzunluğu (mm)	Kesme Kuvveti (N)	Takım Aşınması (mm)
9	Kaba	17	6460	297,69	< 0,30
	İnce (iki paso)	19	7220	297,43	< 0,30
10	Kaba	20	7600	303,61	< 0,30
	İnce (iki paso)	22	8360	304,25	< 0,30
11	Kaba	23	8740	305,13	< 0,30
	İnce (iki paso)	25	9500	303,39	< 0,30
12	Kaba	26	9880	304,06	< 0,30
	İnce (iki paso)	28	10640	312,21	< 0,30
13	Kaba	29	11020	325,88	< 0,30
	İnce (iki paso)	31	11780	324,85	< 0,30
14	Kaba	32	12160	328,25	< 0,30
	İnce (iki paso)	34	12920	330,44	< 0,30
15	Kaba	35	13300	337,17	< 0,30
	İnce (iki paso)	37	14060	341,60	< 0,30
16	Kaba	38	14440	341,67	< 0,30
	İnce (iki paso)	40	15200	362,69	0,30

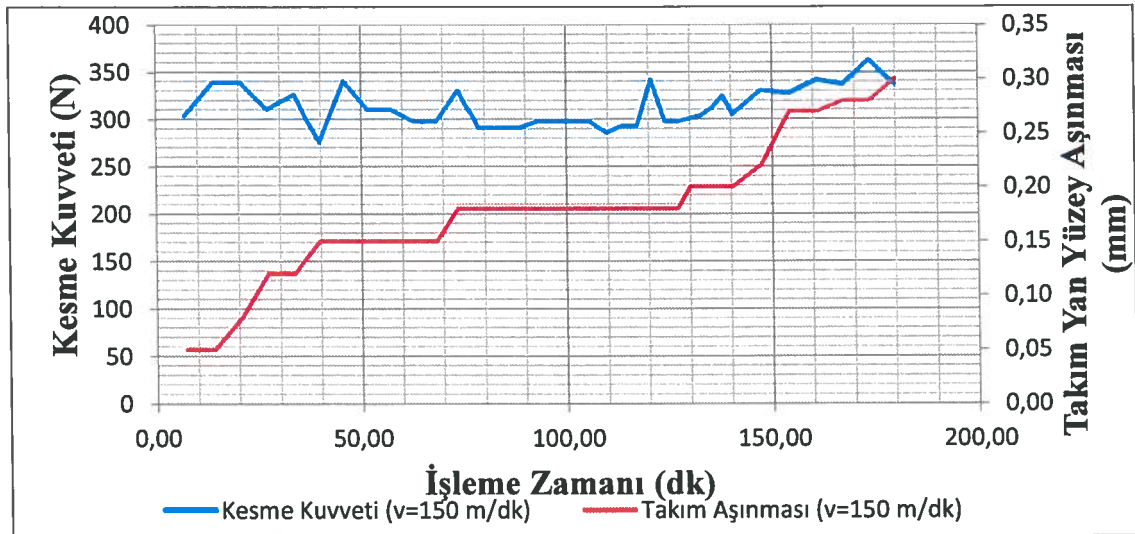
Bu aşamanın sonunda; toplam 16 parça işlendikten sonra kesici takımın bir kenarı aşınma kriterini aşmıştır. Toplam 80 adet parça olduğu göz önüne alınarak, 5 kesme kenarı harcanarak iş emrinin tamamlanacağı öngörülmüştür. Sanal adaptif kontrolün geleneksel yaklaşımdan farkı Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Temel fark sanal adaptif kontrolde aşınmanın dikkate alınarak kesme parametrelerinin düşürülmesidir. Bu sayede takım aşınması daha geç gerçekleşmiştir. Takım sarfiyatı ve kesme kuvvetleri azalarak işlemin verimi artırılmıştır

Sanal Adaptif Kontrol Yaklaşımı - Aşınma ve kesme kuvveti YSA ile her pasoda tahmin edilebiliyor. - Tahmine göre kesme parametreleri düşürülebiliyor. - Parametrelerin düşürülmesi GA optimizasyonu ile sağlanıyor. - Parametrelerin düşmesine karşılık takım ömründe artış gözlemleniyor.	Geleneksel Yaklaşım - Kesme kuvveti bilinemez. - Aşınmanın tahmin edilmesi operatörün tecrübesine bağlıdır. - Operatör 0,15 aşınmayı YSA gibi tahmin edemez. Bunun nedeni gözle kontrol veya sestten tahmin edilebilir. - İnsana bağımlı hatalar oluşabilir. Takım aşınması gözle kontrol edilmeden devam edilirse, takım kırılması parçanın bitiş yüzeyini ciddi oranda bozabilir.
---	--

Şekil 5.14. Sanal adaptif kontrol ve geleneksel talaşlı imalat yaklaşımlarının karşılaştırılması.

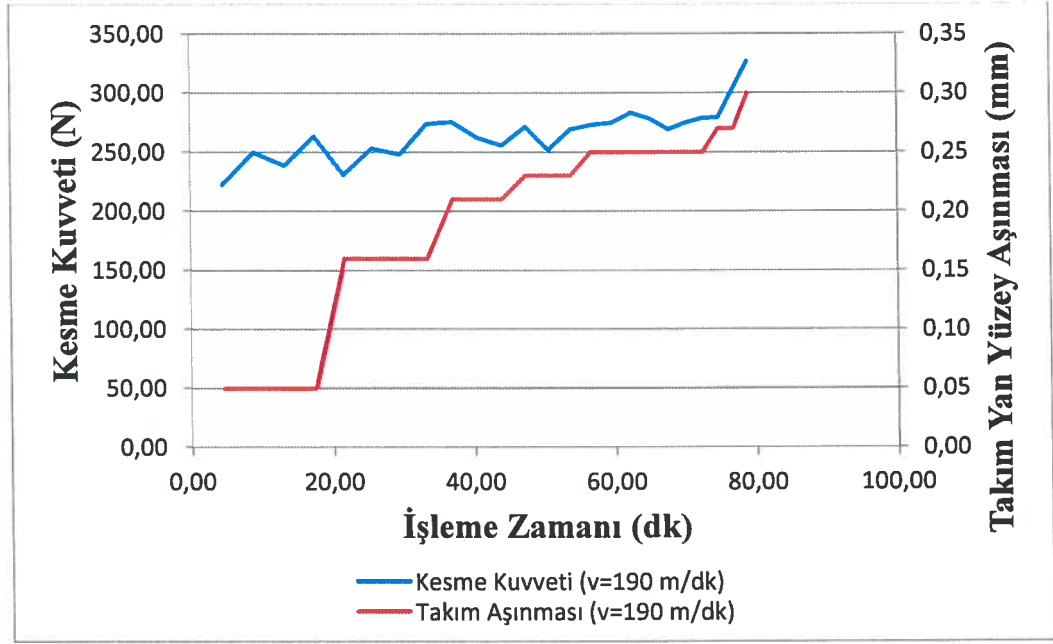
5.6. Kesme Parametrelerinin Takım Ömrüne ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Gerçekleştirilen deneyler sonunda çeşitli parametreler için kuvvet ve takım ömrü değerleri bilindiğinden, her bir kesme parametresinin kesme kuvvetine ve takım ömrüne etkisi incelenmiştir. Öncelikle takım aşınması ile kesme kuvvetinin birlikte değişimi incelenmiştir. Şekil 5.15'te zamana bağlı olarak kesme kuvvetinin takım aşınması ile değişimi verilmiştir. Grafik, kesme hızının 150 m/dk olduğu deneyleri kapsar. Diğer parametreler; $f = 0,1$ mm/dev ve $d = 0,5$ mm olmak üzere sabittir.

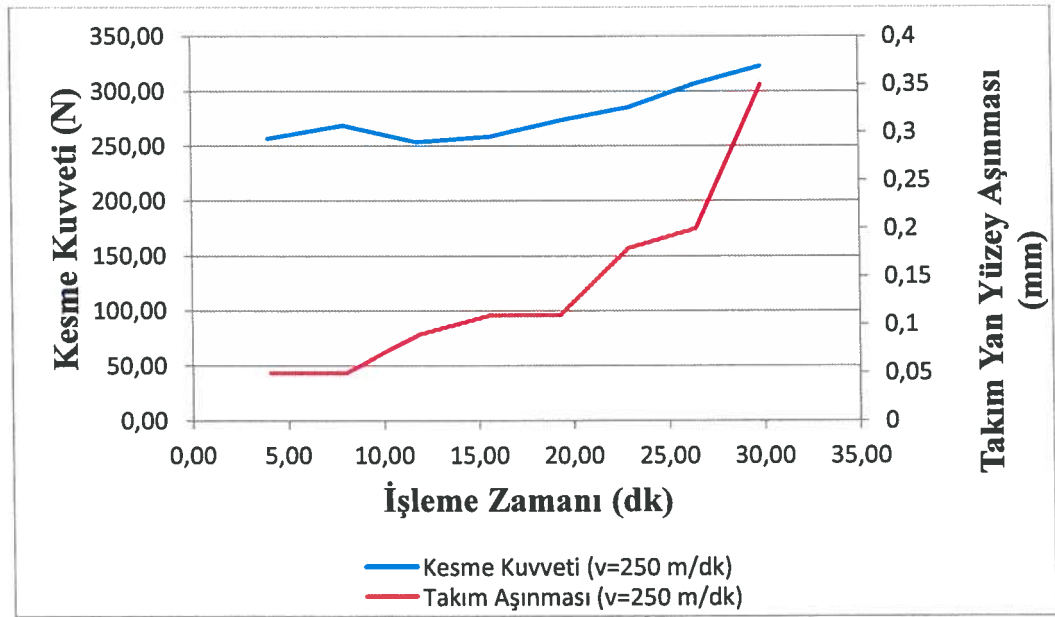


Şekil 5.15. Kesme kuvvetinin takım aşınması ile değişim grafiği.

Sırasıyla Şekil 5.16 ve 5.17'deki grafiklerde, zamana bağlı olarak kesme kuvvetinin takım aşınması ile değişimi verilmiştir. Grafikler, kesme hızının sırasıyla 190 m/dk ve 250 m/dk olduğu deneyleri kapsar. Diğer parametreler; $f = 0,1$ mm/dev ve $d = 0,5$ mm olmak üzere sabittir.

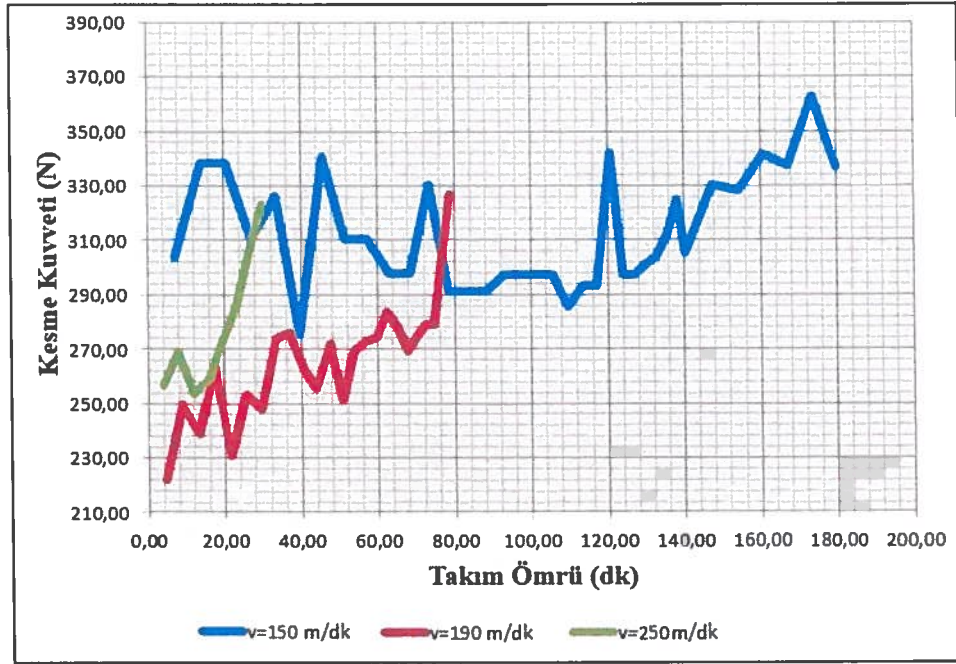


Şekil 5.16. Kesme kuvvetinin takım aşınması ile değişim grafiği.



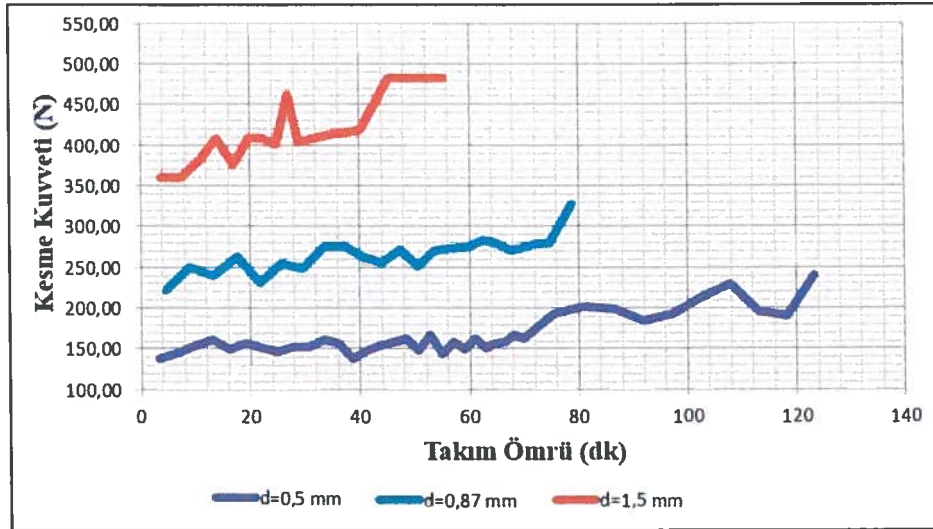
Şekil 5.17. Kesme kuvvetinin takım aşınması ile değişim grafiği.

İşlenebilirlik açısından bir diğer önemli araştırma kesme parametrelerinin takım ömrüne ve kesme kuvvetlerine etkisidir. Şekil 5.18'deki grafikte, kesme hızının takım aşınmasına ve kesme kuvvetine etkisi gösterilmiştir. Diğer parametreler; $f = 0,1$ mm/dev ve $d = 0,87$ mm olmak üzere sabittir.



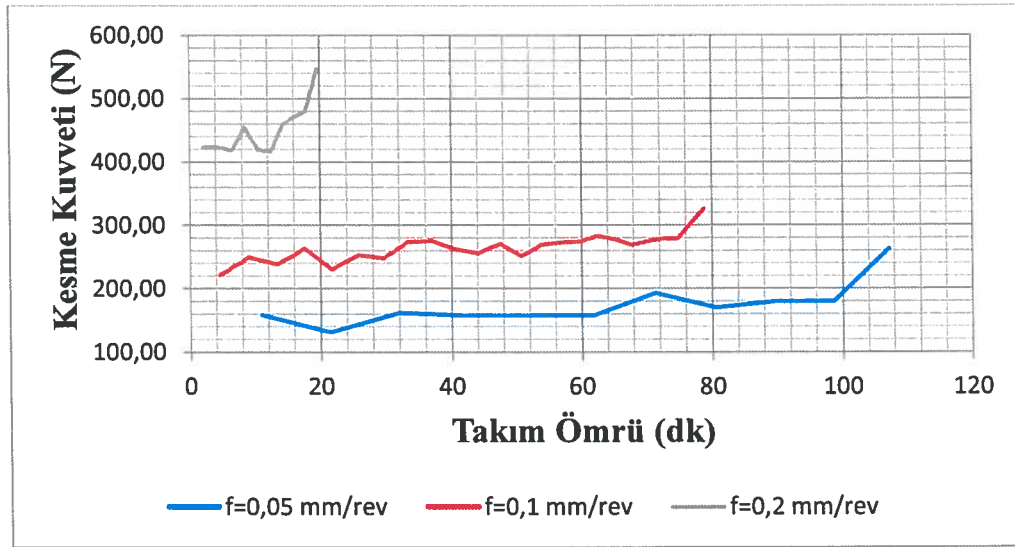
Şekil 5.18. Kesme kuvveti ve takım ömrüne kesme hızının etkisi.

Şekil 5.19'deki grafikte, kesme derinliğinin takım aşınmasına ve kesme kuvvetine etkisi gösterilmiştir. Diğer parametreler; $f = 0,1$ mm/dev ve $v = 190$ m/dk olmak üzere sabittir.



Şekil 5.19. Kesme kuvveti ve takım ömrüne kesme derinliğinin etkisi.

Şekil 5.20'deki grafikte, ilerlemenin takım aşınmasına ve kesme kuvvetine etkisi gösterilmiştir. Diğer parametreler; $d = 0,87$ mm ve $v = 190$ m/dk olmak üzere sabittir.



Şekil 5.20. Kesme kuvveti ve takım ömrüne ilerlemenin etkisi.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Talaşlı imalat sırasında gerçekleşen kesme işleminde, kesici takım yüksek kuvvetlere ve yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Bu ağır şartlar altındaki takım, işlem süresince kuvvette ve aşınmada kaçınılmaz olarak değişime uğramaktadır. Ancak geleneksel yaklaşımda bu aşınmanın olumsuz etkilerine önlem olarak, sadece katalog verileri ve operatör tecrübesi dikkate alınmaktadır. Geliştirilen sanal adaptif kontrol sistemi sayesinde 4140 çeliğinden birbirine eşdeğer silindirik bir malzeme grubunun, kaba ve ince işlenmesinde takımın ne zaman aşınacağı ve aşınma başlangıcında parametrelerin nasıl değiştirileceği önceden hesaplanmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için GA ile optimizasyon ve çok katmanlı YSA modeli birlikte kullanılmıştır. Çevrimiçi ya da başka bir ifadeyle gerçek zamanlı adaptif kontrolün pahalı olması ve uygulanmasındaki zorluklar sebebiyle sanal adaptif kontrol tercih edilmiştir.

Optimizasyonda genetik algoritma kullanılmıştır. Bu algoritmanın diğerlerine göre avantajı lokal minimumda takılı kalmadan global minimumu yani asıl aranan noktayı bulabilmesidir. Tez çalışmasında minimum üretim maliyetini sağlayan işleme parametreleri, verilen kısıtları sağlayacak şekilde bulunmuştur. İşlemin doğası gereği tezgahın dayanabileceği kuvvet ve tezgah gücü kısıt olarak alınmıştır. Ayrıca tornalamanın en önemli çıktısı olan iş parçası yüzey pürüzlülüğü de kısıt olarak dahil edilmiştir. Tornalamanın diğer imalat yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü boyutsal doğruluk ve yüksek kalitede yüzey pürüzlülüğü elde edilebilmesidir. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğü de mutlaka dahil edilmelidir.

Optimizasyondan alınan parametrelerle tornalama yapılırken takım aşınmasını tahmin edebilecek bir yapay zeka yöntemi aranmıştır. Tornalamanın çok farklı faktörlerin etkisi altında olması ve aşınma tahmininin doğrusal olmaması; yapılan araştırmada sürükleyici etmenler olmuştur. Literatür taramasından anlaşılabileceği üzere, yapay zeka sistemlerinden tornalamaya en uygun olan tahmin modeli olarak; çok katmanlı yapay sinir ağları(YSA) modeli seçilmiştir. YSA modeli Alyuda Neurointelligence yazılımında tasarlanmıştır. Modelin mimarisi program tarafından deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. Modelin eğitimi için ilave deneylerle birlikte 138 deney yapılmıştır.

YSA'nın eğitici öğrenme tipine göre eğitilmesi hedeflendiği için sadece girdi değerleri değil, çıktı değerleri de yazılıma girilmiştir. Eğitim sonucu tahmin değerleri ve gerçek değerler karşılaştırıldığında hata oranının oldukça düşük olduğu gözlenmiştir.

Adaptif kontrol sisteminin çalışma prensibi; belirli bir talaş hacminin kaldırılması sırasında optimum parametrelerin bulunması ile başlanması, ardından takım aşınmasının tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak yeniden optimizasyon yapılmasıdır. Optimizasyon genetik algoritma yardımı ile yapılır. Takım durumu YSA modeli ile tahmin edilir. YSA modelinin çıktıları optimizasyon kısıtlarında değişiklik olarak tanımlanır. Böylece tornalama işleminde parametre seçimi adaptif ve çevrimdışı olarak kontrol edilmiş olur.

Sonuç olarak geliştirilen ikili sistemin örnek bir durum üzerinden incelenmesi yapılmıştır. İlk aşamada örnek durum iş emri ile tanımlanmıştır. Toplam kaldırılacak paso derinliği belirlenmiştir. İlk optimizasyon sonucu bir parametre dizisi elde edilmiştir. Kaba ve ince tornalama sonunda takımın ne düzeyde aşındığı YSA modeli ile kontrol edilmiştir. YSA'dan alınan aşınma ve kuvvet değerleri optimizasyon kısıtları koduna girildiğinde optimizasyon modülü f ve d değerlerinin ikisi de daha düşük bulmuştur. Ayrıca daha önce kaba işleme parametrelerinde ilerleme ve kesme derinliği değerleri ince işlemedekilere göre daha yüksek bulunmuşken, yeni yapılan optimizasyonda ikisi de ince işleme değerlerine yakın çıkmıştır. Sonuç olarak YSA ve GA optimizasyonunun birlikte kullanımı sonucu, takımın aşınmasını göze alarak işleme parametrelerinin düşürülmesi gerektiği yorumunu yapabiliriz.

İşlenebilirlik ile ilgili yapılan inceleme sonucu, takım ömrüne en büyük etkiyi ilerlemenin yaptığı elde edilmiştir. Kesme hızının kesme kuvvetine etkisinin çok sınırlı olduğu ancak takım ömrüne önemli ölçüde etki ettiği bulunmuştur. Kesme kuvvetine etkileri incelendiğinde, ilerleme ve kesme derinliğinin etkisinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

6.2 Öneriler

Geliştirilen sistemde yer alan optimizasyonun amaç fonksiyonu birim üretim maliyeti alınmıştır. Amaç fonksiyonu seçilirken, toplam talaş hacmini maksimize ederken, birim üretim maliyetini minimize eden yeni bir yaklaşım seçilebilir. Ayrıca

geliştirilen sistem iki farklı yazılım üzerinden çalıştığı için ön çalışma gerektirmekte olup ticari olarak kullanıma sunulması mümkün olamayacaktır. Aynı yazılımda YSA ve GA döngülerinin birbiri ile iletişim halinde olması, buna ek olarak özgün bir arayüz tasarlanması sonucunda ticarileşebilecek bir optimizasyon sistemi geliştirilebilir. Akıllı üretim sistemlerinin yaygınlaştığı son yıllarda, böyle bir yenilik sayesinde özellikle de büyük miktarda üretim yapan tesislerde üretim maliyetleri ve verimlilik açısından fark yaratılabilecektir.

KAYNAKLAR

- Acayaba, G. M. A. ve Escalona, P. M. d., 2015, Prediction of surface roughness in low speed turning of AISI316 austenitic stainless steel, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 11, 62-67.
- Adnan Jameel, M. M., Md. Nizam, 2013, Using Genetic Algorithm to Optimize Machining Parameters in Turning Operation: A review, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3 (5), 1-6.
- Ahilan, C., Kumanan, S., Sivakumaran, N. ve Edwin Raja Dhas, J., 2013, Modeling and prediction of machining quality in CNC turning process using intelligent hybrid decision making tools, *Applied Soft Computing*, 13 (3), 1543-1551.
- Asiltürk, İ. ve Çunkaş, M., 2011, Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method, *Expert Systems with Applications*, 38 (5), 5826-5832.
- Bryant, K., Arthur Benjamin, 2000, Genetic algorithms and the traveling salesman problem, Yüsksek Lisans Tezi, *Harvey Mudd College*.
- Carpenter, G. A., and Stephen Grossberg, 1988, The ART of adaptive pattern recognition by a self-organizing neural network, *Computer*, 21 (3), 77-88.
- Chen, M.-C., and D-M. Tsai, 1996, A simulated annealing approach for optimization of multi-pass turning operations, *International Journal of Production Research*, 34 (10), 2803-2825.
- D. E. DIMLA, P. M. L., N. J. LEIGHTON, 1996, Neural Network Solutions to the Tool Condition Monitoring Problem in Metal Cutting - A Critical Review of Methods, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 37 (9), 1219-1241.
- David Mocnik, M. P., Simon Klancnik, Joze Balic, 2014, Prediction of Dimensional Deviation of Workpiece Using Regression, ANN and PSO Models in Turning Operation, *Technical Gazette*, 21 (1), 55-62.
- Fausett, L., 1994, Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications, Prentice-Hall, Inc., p.
- Fedai, Y., 2016, Frezeleme İşlemlerinde Sanal Zeki Adaptif Kontrol Sisteminin Geliştirilmesi, *Selçuk Üniversitesi, Konya*.
- Gökay, T., 2002, Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 129-152.
- Groover, M. P., 2010, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems, John Wiley & Sons, p.
- GÜNDÜZ, A., 2006, Tornalama İşleminde Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *MARMARA ÜNİVERSİTESİ*, İstanbul.

- K.A. Risbood, U. S. D., A.D. Sahasrabudhe, 2003, Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process, *Journal of Materials Processing Technology*, 132, 203-214.
- Karayel, D., 2009, Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (7), 3125-3137.
- Karpat, Y. ve Özel, T., 2006, Multi-objective optimization for turning processes using neural network modeling and dynamic-neighborhood particle swarm optimization, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35 (3-4), 234-247.
- Khuri, A. I., Siuli Mukhopadhyay, 2010, Response surface methodology, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2 (2), 128-149.
- Kirby, E., Chen, J. ve Zhang, J., 2006, Development of a fuzzy-nets-based in-process surface roughness adaptive control system in turning operations, *Expert Systems with Applications*, 30 (4), 592-604.
- Kohonen, T., 1990, Improved versions of learning vector quantization, *Neural Networks*.
- Kourosh Danai, A. G. U., 1987, An Adaptive Observer for On-line Tool Wear Estimation in Turning, Part II: Results, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 1 (2), 227-240.
- Lee, S. S. ve Chen, J. C., 2003, On-line surface roughness recognition system using artificial neural networks system in turning operations, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22 (7-8), 498-509.
- Minsky, M., Seymour Papert, 1969, *Perceptrons*, MIT Press, p.
- Neşeli, S., Süleyman Yıldız, Erol Türkeş, 2011, Optimization of tool geometry parameters for turning operations based on the response surface methodology, *Measurement*, 44 (3), 580-587.
- Özel, T. ve Karpat, Y., 2005, Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45 (4-5), 467-479.
- Öztemel, E., 2003, *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Bilim, p.
- Potvin, J.-Y., 1996, Genetic algorithms for the traveling salesman problem, *Annals of Operations Research*, 63 (3), 337-370.
- Routara, B. C., Sahoo, A. K., Parida, A. K. ve Padhi, P. C., 2012, Response Surface Methodology and Genetic Algorithm used to Optimize the Cutting condition for Surface Roughness Parameters in CNC Turning, *Procedia Engineering*, 38, 1893-1904.

- S.K. Choudhury, V. K. J., Ch.V.V. Rama Rao, 1999, On-line monitoring of tool wear in turning using a neural network, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39, 489-504.
- Senthilkumaar, J. S., Selvarani, P. ve Arunachalam, R. M., 2011, Intelligent optimization and selection of machining parameters in finish turning and facing of Inconel 718, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58 (9-12), 885-894.
- Sürmeli, D., 2011, Yapay sinir ağları ile afet yönetiminde sosyal zarar görülebilirlik riskinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi*, Sakarya.
- Tansel, I. N., 1991, Modelling 3-D Cutting Dynamics with Neural Networks, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 32 (6), 829-853.
- Widrow, B., Michael A. Lehr, 1990, 30 years of adaptive neural networks: perceptron, madaline, and backpropagation, *Proceedings of the IEEE* 78.9, 1415-1442.
- Y. S. TARNG, Y. S. W., 1993, An Adaptive Fuzzy Control System for Turning Operations, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 33 (6), 761-771.
- Zain, A. M., Haron, H. ve Sharif, S., 2010, Prediction of surface roughness in the end milling machining using Artificial Neural Network, *Expert Systems with Applications*, 37 (2), 1755-1768.
- Zare Chavoshi, S., 2010, Tool flank wear prediction in CNC turning of 7075 AL alloy SiC composite, *Production Engineering*, 5 (1), 37-47.

EKLER

EK-1 Deneysel olarak elde edilen ve YSA modelinin eğitiminde kullanılan veriler.

Deney No	v , kesme hızı (kodlanmış değişken)	f , ilerleme (kodlanmış değişken)	d , kesme derinliği (kodlanmış değişken)	L , kesme uzunluğu (mm)	VB, takım yan yüzey aşınması (mm)	F_c , asıl kesme kuvveti (N)
1	1	-1	-1	30	0,01	87,11
2	1	-1	-1	8470	0,15	115,05
3	1	-1	-1	10395	0,30	138,66
4	-1	1	-1	30	0,01	248,89
5	-1	1	-1	6545	0,15	274,54
6	-1	1	-1	15785	0,30	291,19
7	-1	-1	1	30	0,01	214,39
8	-1	-1	1	770	0,15	233,53
9	-1	-1	1	3080	0,30	317,16
10	1	1	1	30	0,01	681,27
11	1	1	1	1540	0,15	694,26
12	1	1	1	1925	0,30	743,67
13	0	0	0	30	0,01	241,23
14	0	0	0	3080	0,15	270,2
15	0	0	0	9240	0,30	298,63
16	0	0	0	30	0,01	222,28
17	0	0	0	1925	0,15	230,56
18	0	0	0	9240	0,30	326,79
19	0	0	0	30	0,01	264,67
20	0	0	0	3850	0,15	284,69
21	0	0	0	7315	0,30	307,65
22	-1	0	0	30	0,01	303,61
23	-1	0	0	3080	0,15	310,27
24	-1	0	0	13860	0,30	336,95
25	0	-1	0	30	0,01	158,80
26	0	-1	0	2310	0,15	193,15
27	0	-1	0	4235	0,30	263,06
28	0	0	1	30	0,01	360,13
29	0	0	1	1925	0,15	376,72
30	0	0	1	5775	0,30	482,75
31	0	1	-1	30	0,01	233,40
32	0	1	-1	9625	0,15	258,72
33	0	1	-1	20405	0,30	307,80
34	1	0	-1	30	0,01	135,30
35	1	0	-1	3850	0,15	168,34
36	1	0	-1	8470	0,30	209,02
37	1	1	0	30	0,01	415,17

Deney No	v , kesme hızı (kodlanmış değişken)	f , ilerleme (kodlanmış değişken)	d , kesme derinliği (kodlanmış değişken)	L , kesme uzunluğu (mm)	VB, takım yan yüzey aşınması (mm)	F_c , asıl kesme kuvveti (N)
38	1	1	0	1925	0,15	424,38
39	1	1	0	4620	0,30	472,27
40	1	0	0	30	0,01	256,82
41	1	0	0	2310	0,15	285,4
42	1	0	0	3080	0,30	322,88
43	0	1	0	30	0,01	423,51
44	0	1	0	2695	0,15	458,14
45	0	1	0	3850	0,30	547,04
46	0	0	-1	30	0,01	136,78
47	0	0	-1	5390	0,15	147,62
48	0	0	-1	14630	0,30	238,74
49	-1	-1	-1	30	-1	107,66
50	-0,51	-1	-1	30	-1	74,89
51	0	-1	-1	30	-1	60,56
52	0,32	-1	-1	30	-1	61,74
53	0,67	-1	-1	30	-1	72,37
54	1	-1	-1	30	-1	90,66
55	-1	-1	-0,39	30	-1	153,12
56	-0,51	-1	-0,39	30	-1	121,07
57	0	-1	-0,39	30	-1	107,50
58	0,32	-1	-0,39	30	-1	109,15
59	0,67	-1	-0,39	30	-1	120,30
60	1	-1	-0,39	30	-1	139,07
61	-1	0	-0,39	30	-1	221,52
62	-0,51	0	-0,39	30	-1	191,29
63	0	0	-0,39	30	-1	179,60
64	0,32	0	-0,39	30	-1	182,43
65	0,67	0	-0,39	30	-1	194,90
66	1	0	-0,39	30	-1	214,88
67	-1	0	-1	30	-1	133,54
68	-0,51	0	-1	30	-1	102,58
69	0	0	-1	30	-1	90,14
70	0,32	0	-1	30	-1	92,50
71	0,67	0	-1	30	-1	104,44
72	1	0	-1	30	-1	123,94
73	-1	1	-1	30	-1	265,42
74	-0,51	1	-1	30	-1	236,28
75	0	1	-1	30	-1	225,72
76	0,32	1	-1	30	-1	229,25
77	0,67	1	-1	30	-1	242,51
78	1	1	-1	30	-1	263,22
79	-1	-1	0	30	-1	178,26

Deney No	v , kesme hızı (kodlanmış değişken)	f , ilerleme (kodlanmış değişken)	d , kesme derinliği (kodlanmış değişken)	L , kesme uzunluğu (mm)	VB, takım yan yüzey aşınması (mm)	F_c , asıl kesme kuvveti (N)
80	-0,51	-1	0	30	-1	146,67
81	0	-1	0	30	-1	133,57
82	0,32	-1	0	30	-1	135,52
83	0,67	-1	0	30	-1	147,00
84	1	-1	0	30	-1	166,08
85	-1	0	0	30	-1	273,51
86	-0,51	0	0	30	-1	243,74
87	0	0	0	30	-1	232,52
88	0,32	0	0	30	-1	235,64
89	0,67	0	0	30	-1	248,44
90	1	0	0	30	-1	268,73
91	-1	-1	0,594	30	-1	211,49
92	-0,51	-1	0,594	30	-1	180,60
93	0	-1	0,594	30	-1	168,23
94	0,32	-1	0,594	30	-1	170,63
95	0,67	-1	0,594	30	-1	182,62
96	1	-1	0,594	30	-1	202,17
97	-1	0	0,594	30	-1	347,94
98	-0,51	0	0,594	30	-1	318,87
99	0	0	0,594	30	-1	308,38
100	0,32	0	0,594	30	-1	311,96
101	0,67	0	0,594	30	-1	325,27
102	1	0	0,594	30	-1	346,02
103	-1	-1	1	30	-1	230,46
104	-0,51	-1	1	30	-1	200,05
105	0	-1	1	30	-1	188,18
106	0,32	-1	1	30	-1	190,89
107	0,67	-1	1	30	-1	203,23
108	1	-1	1	30	-1	223,10
109	-1	0	1	30	-1	395,08
110	-0,51	0	1	30	-1	366,49
111	0	0	1	30	-1	356,50
112	0,32	0	1	30	-1	360,39
113	0,67	0	1	30	-1	374,05
114	1	0	1	30	-1	395,12
115	-1	1	0	30	-1	474,76
116	-0,51	1	0	30	-1	446,80
117	0	1	0	30	-1	437,47
118	0,32	1	0	30	-1	441,76
119	0,67	1	0	30	-1	455,89
120	1	1	0	30	-1	477,38
121	-1	1	-0,39	30	-1	395,93

Deney No	v , kesme hızı (kodlanmış değişken)	f , ilerleme (kodlanmış değişken)	d , kesme derinliği (kodlanmış değişken)	L , kesme uzunluğu (mm)	VB, takım yan yüzey aşınması (mm)	F_c , asıl kesme kuvveti (N)
122	-0,51	1	-0,39	30	-1	367,51
123	0	1	-0,39	30	-1	357,71
124	0,32	1	-0,39	30	-1	361,70
125	0,67	1	-0,39	30	-1	375,49
126	1	1	-0,39	30	-1	396,68
127	-1	1	1	30	-1	665,70
128	-0,51	1	1	30	-1	638,93
129	0	1	1	30	-1	630,82
130	0,32	1	1	30	-1	635,88
131	0,67	1	1	30	-1	650,86
132	1	1	1	30	-1	673,14
133	-1	1	0,594	30	-1	590,40
134	-0,51	1	0,594	30	-1	563,14
135	0	1	0,594	30	-1	554,54
136	0,32	1	0,594	30	-1	559,29
137	0,67	1	0,594	30	-1	573,92
138	1	1	0,594	30	-1	595,88

EK-2 Deneysel verilerin YSA tahmin modeli oluşturmak için gerekli olan eğitim verilerinin seçilmesi.

Eğitim için Seçilen Veriler													
Girdi Parametreleri						Çıktılar							
No	v	f	d	L	VB	F_c	No	v	f	d	L	VB	F_c
1	1	-1	-1	30	0,01	87,11	47	0	0	-1	30	0,01	90,14
2	1	-1	-1	10395	0,3	138,66	48	0,674	0	-1	30	0,01	104,44
3	-1	1	-1	30	0,01	248,89	49	0	1	-1	30	0,01	225,72
4	-1	1	-1	6545	0,15	274,54	50	0,317	1	-1	30	0,01	229,25
5	-1	-1	1	770	0,15	233,53	51	0,674	1	-1	30	0,01	242,51
6	-1	-1	1	3080	0,3	317,16	52	1	1	-1	30	0,01	263,22
7	1	1	1	30	0,01	681,27	53	-0,509	-1	0	30	0,01	146,67
8	1	1	1	1925	0,3	743,67	54	0	-1	0	30	0,01	133,57
9	0	0	0	30	0,01	241,23	55	0,674	-1	0	30	0,01	147,00
10	0	0	0	9240	0,3	298,63	56	1	-1	0	30	0,01	166,08
11	0	0	0	30	0,01	222,28	57	-1	0	0	30	0,01	273,51
12	0	0	0	1925	0,15	230,56	58	0,317	0	0	30	0,01	235,64
13	0	0	0	30	0,01	264,67	59	0,674	0	0	30	0,01	248,44
14	0	0	0	7315	0,3	307,65	60	1	0	0	30	0,01	268,73
15	-1	0	0	30	0,01	303,61	61	-0,509	-1	0,594	30	0,01	180,59
16	-1	0	0	3080	0,15	310,27	62	0	-1	0,594	30	0,01	168,23
17	0	-1	0	4235	0,3	263,06	63	0,674	-1	0,594	30	0,01	182,62
18	0	0	1	30	0,01	360,13	64	1	-1	0,594	30	0,01	202,17
19	0	0	1	1925	0,15	376,72	65	-0,509	0	0,594	30	0,01	318,87
20	0	0	1	5775	0,3	482,75	66	0,317	0	0,594	30	0,01	311,95
21	0	1	-1	30	0,01	233,4	67	0,674	0	0,594	30	0,01	325,27
22	0	1	-1	9625	0,15	258,72	68	1	0	0,594	30	0,01	346,02
23	1	0	-1	30	0,01	135,3	69	-1	-1	1	30	0,01	230,46
24	1	1	0	30	0,01	415,17	70	-0,509	-1	1	30	0,01	200,05
25	1	1	0	1925	0,15	424,38	71	0,674	-1	1	30	0,01	203,23
26	1	1	0	4620	0,3	472,27	72	1	-1	1	30	0,01	223,10
27	1	0	0	30	0,01	256,82	73	-1	0	1	30	0,01	395,08
28	1	0	0	2310	0,15	285,4	74	0	0	1	30	0,01	356,5
29	0	1	0	2695	0,15	458,14	75	0,317	0	1	30	0,01	360,38

No	v	f	d	L	VB	F_c	No	v	f	d	L	VB	F_c
30	0	1	0	3850	0,3	547,04	76	1	0	1	30	0,01	395,12
31	0	0	-1	30	0,01	136,78	77	-1	1	0	30	0,01	474,76
32	0	0	-1	5390	0,15	147,62	78	-0,509	1	0	30	0,01	446,81
33	-1	-1	-1	30	0,01	107,66	79	0	1	0	30	0,01	437,47
34	-1	-1	-1	30	0,01	74,89	80	0,317	1	0	30	0,01	441,76
35	0	-1	-1	30	0,01	60,56	81	-1	1	-0,387	30	0,01	395,92
36	1	-1	-1	30	0,01	90,66	82	-0,509	1	-0,387	30	0,01	367,51
37	-1	-1	-0	30	0,01	153,12	83	0,674	1	-0,387	30	0,01	375,49
38	-1	-1	-0	30	0,01	121,07	84	1	1	-0,387	30	0,01	396,68
39	0	-1	-0	30	0,01	109,15	85	-1	1	1	30	0,01	665,71
40	1	-1	-0	30	0,01	120,29	86	0,317	1	1	30	0,01	635,88
41	-1	0	-0	30	0,01	221,52	87	0,674	1	1	30	0,01	650,86
42	0	0	-0	30	0,01	182,43	88	1	1	1	30	0,01	673,14
43	1	0	-0	30	0,01	194,89	89	-0,509	1	0,594	30	0,01	563,14
44	1	0	-0	30	0,01	214,88	90	0,317	1	0,594	30	0,01	559,28
45	-1	0	-1	30	0,01	133,54	91	0,674	1	0,594	30	0,01	573,92
46	-1	0	-1	30	0,01	102,58	92	1	1	0,594	30	0,01	595,88

EK-3 Deneysel verilerin YSA tahmin modeli oluşturmak için gerekli olan doğrulama ve test verilerinin seçilmesi.

Doğrulama için Seçilen Veriler							Test için Seçilen Veriler						
Girdi Parametreleri						Çıktılar	Girdi Parametreleri						Çıktılar
No	ν	f	d	L	VB	F_c	No	ν	f	d	L	VB	F_c
1	-1	-1	1	30	0,01	214,39	1	1	-1	-1	8470	0,15	115,05
2	0	0	0	3080	0,15	270,2	2	1	1	1	1540	0,15	694,26
3	0	0	0	9240	0,3	326,79	3	0	0	0	3850	0,15	284,69
4	0	-1	0	2310	0,15	193,15	4	0	-1	0	30	0,01	158,8
5	1	0	-1	8470	0,3	209,02	5	1	0	-1	3850	0,15	168,34
6	1	0	0	3080	0,3	322,88	6	0	1	0	30	0,01	423,51
7	0,67	-1	-1	30	0,01	72,37	7	0,32	-1	-1	30	0,01	61,74
8	1	-1	-0,4	30	0,01	139,07	8	0	-1	-0,4	30	0,01	107,49
9	0	0	-0,4	30	0,01	179,6	9	-0,5	0	-0,4	30	0,01	191,29
10	0,32	0	-1	30	0,01	92,49	10	1	0	-1	30	0,01	123,94
11	0,32	-1	0	30	0,01	135,52	11	-1	1	-1	30	0,01	265,42
12	-0,5	0	0	30	0,01	243,73	12	-1	-1	0	30	0,01	178,26
13	-1	-1	0,59	30	0,01	211,48	13	0	0	0	30	0,01	232,52
14	0	0	0,59	30	0,01	308,38	14	0,32	-1	0,59	30	0,01	170,63
15	0	-1	1	30	0,01	188,18	15	-1	0	0,59	30	0,01	347,94
16	0,67	0	1	30	0,01	374,04	16	0,32	-1	1	30	0,01	190,89
17	0,67	1	0	30	0,01	455,88	17	-0,5	0	1	30	0,01	366,49
18	0,32	1	-0,4	30	0,01	361,71	18	1	1	0	30	0,01	477,38
19	-0,5	1	1	30	0,01	638,93	19	0	1	-0,4	30	0,01	357,71
20	-1	1	0,59	30	0,01	590,39	20	0	1	1	30	0,01	630,82
21	-0,5	1	-1	30	0,01	236,28	21	0	1	0,59	30	0,01	554,53

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Osman Öztürk
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : KEÇİÖREN - 1987
Telefon : 0533 818 54 02
Faks : -
e-mail : osmanozturk@selcuk.edu.tr, osmanozturk@outlook.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Eryaman Lisesi, Etimesgut, Ankara	2004
Üniversite	: TOBB ETÜ, Söğütözü, Ankara	2011
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008	Şahinler Metal San. ve Tic. A.Ş.	Tam zamanlı Stajyer (Üç ay)
2009	Akdaş Döküm San. ve Tic. A.Ş.	Tam zamanlı Stajyer (Üç ay)
2010	Aksan Kardan Ltd. Şti.	Tam zamanlı Stajyer (Üç ay)
2012	T-Kalıp San. Ve Tic. A.Ş.	Kalite Kontrol Sorumlusu
2013	Başkent Üniversitesi Müh. Fak.	Arş. Gör.
2014-Halen	Selçuk Üniversitesi Müh. Fak.	Arş. Gör.

UZMANLIK ALANI

Talaşlı İmalat Yöntemleri, Kalite Kontrol Sistemleri, Tersine Mühendislik.

YABANCI DİLLER

İngilizce (İyi Düzeyde)

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Öztürk, O., Ünüvar, “The Prediction of Tool Life by Using Changes in Cutting Forces During Turning Process” 2nd International Conference on Engineering and Natural Science", 24-28 May 2016, Sarajevo. (Yüksek Lisans Tezi’nden üretilmiştir.)

Yıldırım, F.,Öztürk, O., Koyunbakan, M., Yetgin, S.H., Aydın, M., Ünüvar, A., “Investigationof Drilling of Glass Fiber Reinforced Polyphenylene Sulphide Polymer Material:Thrust Forces and Surface Damages”, 4th International Polymeric CompositesSymposium., 7-9 May 2015, Izmir.

Öztürk, O.,Koyunbakan, M., Ünüvar, A., Bağcı, M., “Kesme Parametrelerinin ve SiO₂-Al₂O₃Katkısının CETP/Epoksi Kompozitlerin İşlenebilirliğine Etkisinin İncelenmesi.”, 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 23-25 Ekim 2014, Bursa.