



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİR İMALAT HÜCRESİNİN İŞLEME PARAMETRELERİNİN YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE TAHMİNİ

MERT ARSLAN

Ekim 2021

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİR İMALAT HÜCRESİNİN İŞLEME PARAMETRELERİNİN YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE TAHMİNİ

MERT ARSLAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İlyas KACAR

Ekim 2021

Mert ARSLAN tarafından Dr. Öğr. Üyesi İlyas KACAR danışmanlığında hazırlanan “Bir İmalat Hücresinin İşleme Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Süleyman KILIÇ, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırşehir

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat YALÇIN, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İlyas KACAR, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Prof. Dr. Murat BARUT

MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

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

Mert Arslan



ÖZET

BİR İMALAT HÜCRESİNİN İŞLEME PARAMETRELERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

ARSLAN, Mert

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman

:Dr. Öğr. Üyesi İlyas KACAR

Ekim 2021, 59 sayfa

Üretim sektöründe firmaların rekabet edebilmesi ve sürdürülebilirliği sağlaması için imalat esnasında en az kaynağı kullanarak birim hacim başına minimum işleme süresini sağlamaları ve yüzey pürüzlülük değerini en aza indirmeleri gerekmektedir. Bu doğrultuda tornalama için kesme parametrelerinin optimize edilmesi, işleme sürelerinin düşürülmesi ve yüzey kalitesinin artırılması için son derece önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada ıslah çeliği olan 41Cr4 (AISI/SAE 5140) malzemesinden üretilen mafsal iş parçasının farklı kesme parametrelerinde işlemleri yapılarak yüzey pürüzlülük değerleri ve işleme süreleri tespit edilmiştir. Bu veriler yapay sinir ağları ve Edgeworth-Pareto yöntemiyle kullanılarak tornalama işlemi için kesme parametrelerinin optimizasyonu sağlanmıştır. Sonuçta da yüzey pürüzlülük değerinin en iyi olabilmesi ve işleme maliyetiyle birlikte işleme için harcanan gücün de en optimum olabilmesi için gereken kesme parametreleri tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Kesme parametreleri, Tornalama, Yapay sinir ağı, Edgeworth-pareto, Yüzey pürüzlülüğü

SUMMARY

PREDICTION OF CUTTING PARAMETERS OF A MANUFACTURING CELL BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ARSLAN, Mert

Niğde Ömer Halisdemir University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Assit. Prof. Dr. İlyas KACAR

October 2021, 59 pages

In the manufacturing industry, companies should provide the minimum processing time per unit volume and minimize the surface roughness value spending minimum sources in order to ensure their sustainability and competitiveness. Accordingly, it becomes extremely important to optimize cutting parameters for turning, to reduce machining times and to increase surface quality. In this study, surface roughness values and processing times were determined for the ball joint work piece made from 41Cr4 (AISI / SAE 5140) under various cutting conditions. By using these data in the artificial neural networks and Edgeworth-Pareto method, the cutting parameters were optimized for the turning operation. As a result, the cutting parameters providing the best surface roughness and the optimum power consumption and the machining cost were determined.

Keywords: Cutting parameters, Turning, Artificial neural network, Edgeworth-pareto, Surface roughness

ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans çalışmamda, ıslah çeliği olan 41Cr4 (AISI/SAE 5140) hammaddesinden numuneler işlenerek yüzey pürüzlülüğü ve işleme süreleri araştırılmıştır. Bu numuneler farklı kesme parametrelerinde işlenerek sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Burada elde edilen deneysel sonuçlar yapay sinir ağında kullanılarak kesme modeli oluşturulmuştur. Bu model ile birlikte bir optimizasyon metodu olan Edgeworth-Pareto yöntemi kullanılmış ve optimum kesme parametreleri elde edilmiştir. Optimum parametreler yapay sinir ağı tahminleri ile doğrulanmıştır. Sonuçta en iyi yüzey kalitesi elde edilmiş ve işleme maliyetlerinde de kazançlar sağlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi İlyas KACAR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak yanımda olan aileme katkılarından ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
BÖLÜM I.....	1
1.1 Tormalama İşlemi	2
1.2 Tormalama Tezgâhları	4
1.2.1 Üniversal torna tezgâhları	5
1.2.2 Bilgisayarlı nümerik kontrollü torna tezgâhları	6
1.3 Kesici ve Tutucular	7
1.4 Yüzeyler ve Özellikleri	9
1.4.1 Yüzey dokusu	10
1.4.2 Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü.....	11
1.5 Optimizasyon ve Edgeworth - Pareto Yöntemi	13
1.6 Yapay Sinir Ağları	16
1.6.1 Yapay sinir ağı yapısı	16
1.6.2 Yapay sinir ağı modelleri ve öğrenme metodu	20
BÖLÜM II	22
2.1 Literatür Araştırması	22
BÖLÜM III	24
3.1 Materyal ve Metot.....	24
3.2 Çekme Deneyi.....	25
3.3 Tormalama	25
3.4 YSA Mimarisi.....	27
3.5 Optimum İşleme Parametrelerini Belirleme Stratejisi.....	27
3.5.1 Optimizasyon problemi ifadesi (stratejinin ilk adımı).....	35
3.5.2 YSA ile yüzey pürüzlülüğü tahmin modeli oluşturma (stratejinin ikinci adımı).....	36

BÖLÜM IV	40
4.1 Bulgular	40
4.2 Pareto Eğrilerinin Belirlenmesi (Stratejinin Üçüncü Adımı)	40
4.3 Pareto Sınırının Belirlenmesi (Stratejinin Dördüncü Adımı)	42
4.4 Optimum Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi (Stratejinin Beşinci Adımı).....	43
4.5 Pareto Eğrisi İçin Tornalama İşleminin Maliyetinin ve Gücünün Hesaplanması	46
BÖLÜM V	49
5.1. Tartışma	49
BÖLÜM VI.....	52
6.1 Sonuçlar	52
6.2 Müteakip Çalışmalar ve Öneriler.....	53
KAYNAKLAR	55
ÖZ GEÇMİŞ.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Kesici takımlar için ISO kalite sınıflandırması (İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, 2019).....	9
Çizelge 3.1. EN 41Cr4 ıslah çeliğinin kimyasal bileşimi.....	24
Çizelge 3.2. EN 41Cr4 ıslah çeliğinin mekanik özellikleri	25
Çizelge 3.3. $a_p = 0,2$ (mm) için işleme ve optimizasyon için boyutsuz parametreler	30
Çizelge 3.4. $a_p = 0,4$ (mm) için işleme ve optimizasyon için boyutsuz parametreler	31
Çizelge 3.5. $a_p = 0,6$ (mm) işleme ve optimizasyon için boyutsuz parametreler	32
Çizelge 3.6. $a_p = 0,8$ (mm) için işleme ve optimizasyon için boyutsuz parametreler	33
Çizelge 3.7. $a_p = 1$ (mm) için işleme ve optimizasyon için boyutsuz parametreler	34
Çizelge 4.1. Pareto sınır analizi çizgileri.....	42
Çizelge 4.2. K_c Spesifik kesim gücü referans tablosu (Keyence, 2020)	47
Çizelge 4.3. Optimum noktalardaki değerlerin kıyaslaması.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Talaş kaldırma işlemleri	1
Şekil 1.2. Tornalama işlemi (Tofaş Akademi, 2016).....	2
Şekil 1.3. Tornalama işlemi hareketleri (Groover, 2016).....	2
Şekil 1.4. Başlıca tornalama işlemleri (Arslan, 2020)	4
Şekil 1.5. Üniuersal torna tezgâhı (Groover, 2016).....	6
Şekil 1.6. CNC torna tezgâhı (Groover, 2016)	6
Şekil 1.7. Kesici ve tutucular (Tofaş akademi, 2016).....	7
Şekil 1.8. Kesici seçim diyagramı (Tofaş akademi, 2016)	8
Şekil 1.9. Kesici takım malzemeleri (Akkaya, 2017).....	8
Şekil 1.10. Metal bir malzemenin büyütülmüş kesit görüntüsü (Groover, 2016)	9
Şekil 1.11. Metal bir parçanın yüzey dokusu (Groover, 2016).....	10
Şekil 1.12. Yüzey pürüzlülük tanımlamaları (Groover, 2016)	11
Şekil 1.13. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	12
Şekil 1.14. Yüzey pürüzlülük ölçüm tekniği (Groover, 2016)	12
Şekil 1.15. Optimizasyon işlemi (Kücükkoç, 2020).....	13
Şekil 1.16. Edgeworth-Pareto metodunun şematik gösterimi (Noghin, 2006).....	15
Şekil 1.17. Yapay bir sinir hücresinin yapısı (Keskenler ve Keskenler, 2017)	17
Şekil 1.18. Lineer aktivasyon fonksiyonu (Sharma, 2017).....	18
Şekil 1.19. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu (Sharma, 2017)	19
Şekil 1.20. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu (Bircanoğlu ve Arıca, 2018).....	19
Şekil 1.21. İleri beslemeli yapay sinir ağı (Pekel ve Kara, 2017).....	20
Şekil 1.22. Geri beslemeli bir yapay sinir ağı (Pekel ve Kara, 2017).....	21
Şekil 3.1. İncelenen mafsallık iş parçasına ait işleme basamakları	24
Şekil 3.2. Çekme testi numunelerinin boyutları (mm).....	25
Şekil 3.3. Numune işleme deney kurulumu ve örnek numune	26
Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçüm yapılması	26
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan ağ topolojisi	27
Şekil 3.6. Edgeworth-Pareto karar verme diyagramı.....	28
Şekil 3.7. Gizli katmandaki farklı nöron sayıları durumunda en düşük ortalama kare hatası (a) MLP 3-9-1 (b) MLP 3-10-1 (c) MLP 3-11-1	36

Şekil 3.8. MLP 3-10-1 türündeki ağın (a) performansı (b) %10 ve (c) %20 doğrulama kümesi kullanıldığındaki ürettiği hatalar	38
Şekil 4.1. Birim hacim işleme süresi Tm^* ve birim yüzey pürüzlülüğü Ra^* değerlerinin birbirlerine göre değişimi ($vf = 0,1$ mm/dev).....	40
Şekil 4.2. Ra^* ve Tm^* arasındaki ilişkiyi gösteren kesişimler (A-B-C-D-E).....	41
Şekil 4.3. Ra^* ve Tm^* arasındaki ilişkiyi gösteren kesişimler (B-C-D-E-G-H-I-J-K-L-F)	41
Şekil 4.4. Boyutsuz parametreler için pareto sınırı a) global optima b) yerel optima (işleme süresini minimum yapan parametre) c) yerel optima (yüzey pürüzlülüğü değerini minimum yapan parametre).....	43
Şekil 4.5. Global optimum işleme parametreleri kullanıldığında elde edilen (a) yüzey mikrofotografı (b) yüzey profili (c) yerel optimum değerler kullanılarak yapılan işleme ile elde edilen (c) yüzey mikrofotografı (d) yüzey profili	45
Şekil 5.1. Global kesme parametrelerinin Edgeworth-Pareto ve YSA tahminleri (a) İş mili hızı Edgeworth-Pareto ve YSA tahmin kıyaslaması, (b) Talaş kalınlığı Edgeworth-Pareto ve YSA tahmin kıyaslaması, (c) İlerleme hızı Edgeworth-Pareto ve YSA tahmin kıyaslaması.....	49

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
V_c	Kesme hızı
D	Çap
n	İş mili hızı (devir hızı)
V_f	İlerleme (besleme hızı)
a_p	Talaş kalınlığı
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
L_m	Pürüzlülük ölçümü yapılan önceden belirlenmiş mesafe
y	Nominal yüzeyden mutlak dikey sapmalar
X	Uygulanabilmektedir alternatifler seti (noktalar, vektörler)
f	X üzerinde tanımlanan vektör değerli bir sayısal fonksiyon
\triangleright	DM 'nin tercihi
DM	Karar verici (Decision Maker)
YSA	Yapay sinir ağı
X_I	Yapay sinir ağı girdi değerleri
W_I	Yapay sinir ağı ağırlıklar
GA	Genetik algoritma
$^\circ$	Derece
$\%$	Yüzde
FZ	Geçerli tahminler
$P_f(X)$	Pareto optimal sınır kümesi
T_m	Birim hacim başına işleme süresi
R_a^*	Boyutsuz ortalama yüzey pürüzlülük değeri
T_m^*	Boyutsuz birim hacim başına işleme süresi
R_{a_i}	Mevcut n için yüzey pürüzlülüğü
$R_{a_{max}}$	Maksimum yüzey pürüzlülüğü
T_{m_i}	Mevcut n , a_p ve V_f için birim hacim başına işleme süresi

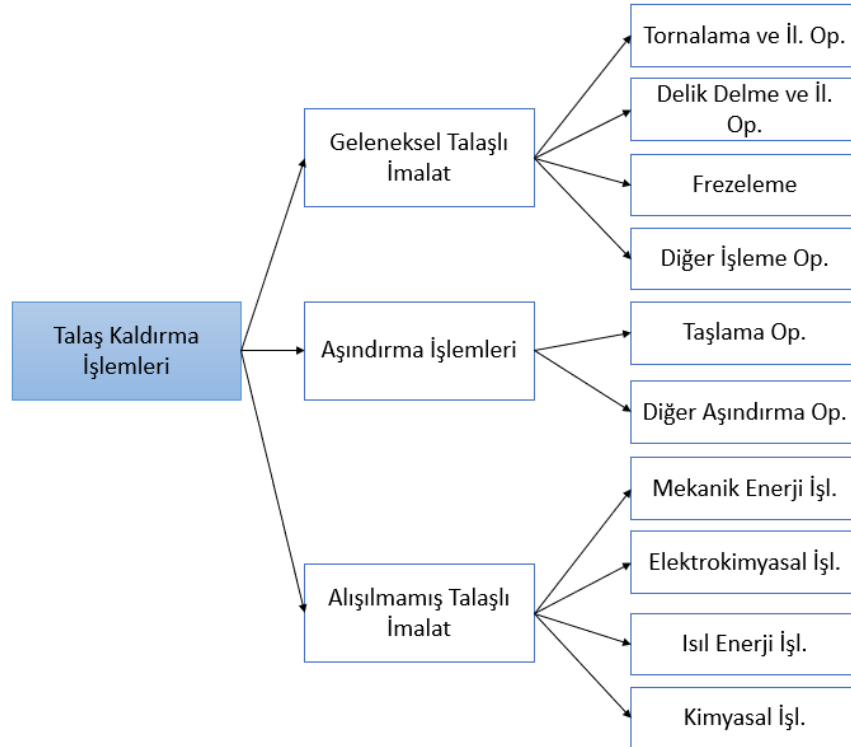
$T_{m\ max}$	Birim hacim başına maksimum işleme süresi
C_0	Operatör ve tezgâhın birim süredeki maliyeti
T_h	Parçayı ele alma (taşımaya) süresidir
T_m	Takımın parça üzerine temas ederek işleme yaptığı süre
T_t	Takım değiştirme süresi
n_p	Bir takımın ömründe kesilen parça sayısı
K_c	Spesifik kesim gücü
P_c	Kesme gücü



BÖLÜM I

Şekillendirilecek iş parçası üzerinden kesici takımlar yardımıyla küçük parçacıklar halinde talaş koparılarak yapılan imalata talaşlı imalat denmektedir. Talaşlı imalat yardımıyla malzemeler üzerinden parçacıklar kaldırılarak istenen şekil ve ölçülerde parça imali mümkün olmaktadır. İşlemin esası, takım ile iş parçası malzemelerinin birbirinden farklı sertlikte olmaları ve böylece talaş kaldırılabilmesidir. Talaş kaldırma yöntemlerinin ortak noktası; ham malzemedan talaş kaldırarak kalan parçanın istenen geometriye sahip olmasıdır. Bu yöntemler üç farklı gruba ayrılmaktadır (Tofaş Akademi, 2016). Şekil 1.1’de talaş kaldırma işlemlerine ait sınıflandırma şematik olarak görülmektedir.

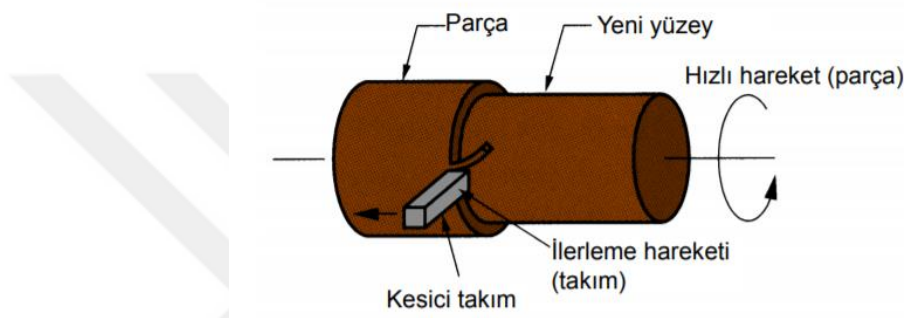
- 1) Geleneksel talaşlı imalat: Sivri bir kesici takımla talaş kaldırma, örneğin tornalama, frezeleme, delme.
- 2) Aşındırma işlemleri: Sert aşındırıcı parçacıklarla talaş kaldırma, örneğin taşlama, honlama, lebleme vb.
- 3) Alışılmamış talaşlı imalat: Talaş kaldırmak için sivri kesici takımın dışındaki yöntemler, örneğin tel erozyon, su jeti vb.



Şekil 1.1. Talaş kaldırma işlemleri

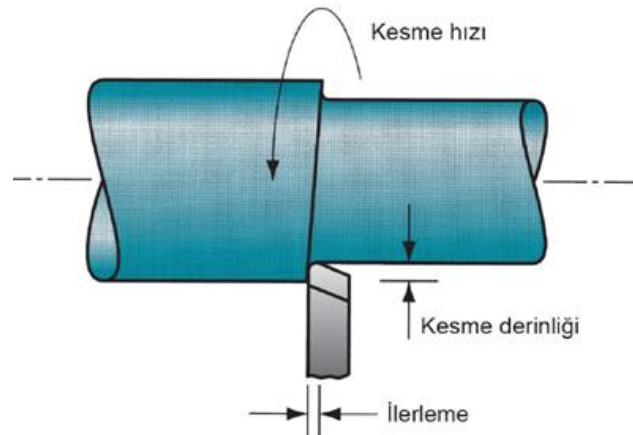
1.1 Tornalama İşlemi

Geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinden tornalama, dairesel hareket yapan bir iş parçası üzerinden, kesici takımla talaş kaldırma ve şekil verme olarak tarif edilebilmektedir. İş parçası torna tezgâhında dönerek esas hareketi oluşturmaktadır. Paso verme ve ilerleme hareketi kesici takım ile gerçekleştirilerek kesme işlemi yapılmaktadır (Yaldız, 2020). Tornalamadaki talaş kaldırma prensibi Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Tornalama işlemi (Tofaş Akademi, 2016)

Genel olarak bir talaş kaldırma işlemini; *kesme hızı*, *ilerleme (besleme hızı)* ve *kesme derinliği (talaş kalınlığı)* hareketleri oluşturmaktadır. Bunlar bir tornalama işlemi için Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Tornalama işlemi hareketleri (Groover, 2016)

Kesme hızı (V_c – m/dak): Kesicinin iş parçası etrafında bir dakikada metre cinsinden aldığı yola kesme hızı denmektedir.

Kesme hızı, kesici takım kutularının üzerindeki etiketlerden ya da kataloglardan bulunabildiği gibi Denklem (1.1)'deki kesme hızı formülünden hesaplanarak da bulunabilmektedir (MEB, 2014).

$$V_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \quad (1.1)$$

Burada, V_c kesme hızı (m/dak), π sayısı 3.14, D iş parçasının çapı (mm), n iş mili hızı (devir hızı) (dev/dak), 1000 ise metrenin milimetreye dönüşümü için kullanılan sabit sayıdır. Kesme hızını etkileyen temel faktörler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Kesilen malzemenin cinsi
- Kullanılan kesici takımın cinsi
- Torna tezgâhının gücü ve kapasitesi
- İlerleme miktarı
- Talaş derinliği
- İşleme cinsi
- İş parçasının bağlanma şekli

Kesme hızının gerekenden fazla olması, kesici uç aşınmasına ve titreşime, gerekenden az olması ise talaş yığılmasına ve kötü yüzey kalitesine yol açmaktadır (Yaldız, 2020; Tezmaksan Akademi, 2020).

İlerleme (*besleme hızı*, V_f (mm/dev)): Kesici takımın iş parçasının bir tam devrinde “mm” cinsinden almış olduğu yola “ilerleme” veya “besleme hızı” denmektedir. Besleme hızını etkileyen temel faktörler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

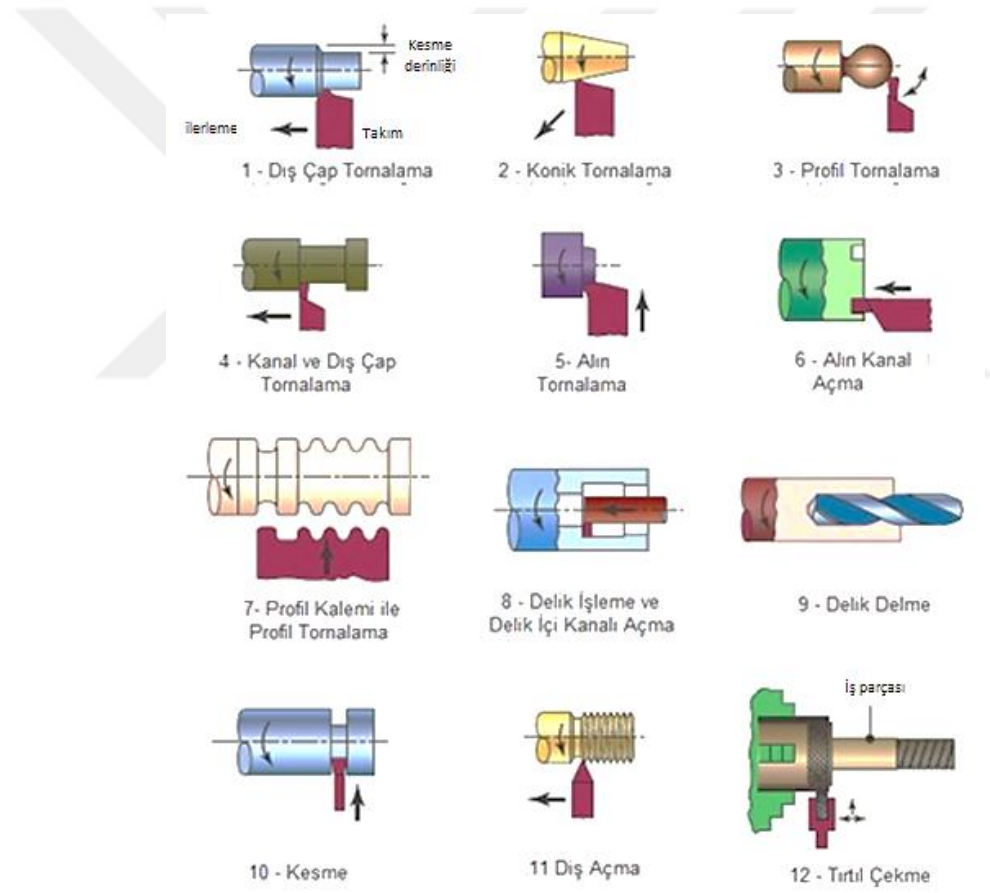
- Talaş derinliği
- İş parçası malzemesinin cinsi
- Kesme hızı
- Torna tezgâhının gücü ve kapasitesi
- Elde edilecek yüzeyin kalitesi

- Kullanılan kesme sıvısı

Besleme hızı da kullanılan kesiciye, kesme hızına ve yukarıdaki maddelere bağlı olarak katalogdan değer belirlenerek seçilebilmektedir (Yaldız, 2020; Tezmaksan Akademi, 2020).

Talaş kalınlığı (a_p (mm)): Bir pasoda yüzeyden kaldırılan tabakanın kalınlığına kesme derinliği (talaş kalınlığı) denmektedir.

Tornalama yönteminin birçok farklı metodu olmakla birlikte en çok kullanılan tornalama işlemleri Şekil 1.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Başlıca tornalama işlemleri (Arslan, 2020)

1.2 Tornalama Tezgâhları

Geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinden tornalama; dairesel hareket yapan bir iş parçası üzerinden, kesici takımla talaş kaldırma ve şekil verme olarak tarif edilebilmektedir.

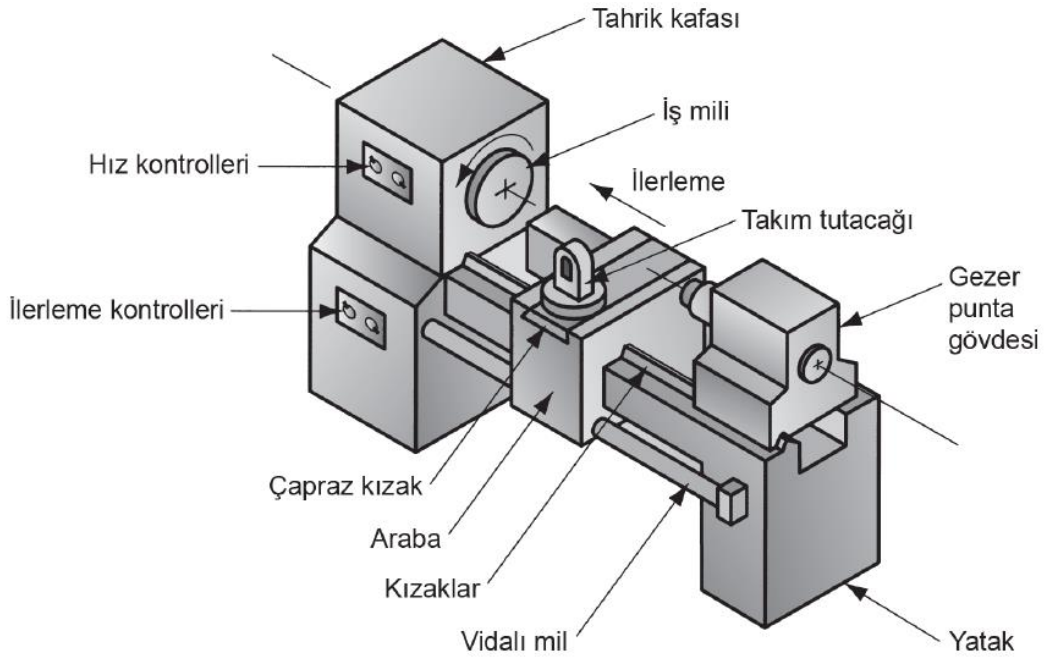
Tornalama işlemlerinin yapıldığı tezgâha ise torna tezgâhları denmektedir. Başlıca torna tezgâhı çeşitleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir (MEB, 2014).

- Üniversal torna tezgâhları
- Özel işlem torna tezgâhları
- Düşey torna tezgâhı
- Otomat torna tezgâhı
- Masa tipi (saatçi) torna tezgâhı
- Revolver torna tezgâhı
- Ağır iş torna tezgâhları
- Kopya torna tezgâhı
- Çok amaçlı torna tezgâhları
- Bilgisayarlı nümerik kontrollü (CNC) torna tezgâhı

Bu tezgâhlardan piyasada en çok kullanılanlar üniversal torna tezgâhları ve bilgisayarlı nümerik kontrollü (CNC) torna tezgâhlarıdır.

1.2.1 Üniversal torna tezgâhları

Günümüzde kullanılan üniversal torna tezgâhları temel olarak; iş parçasının bağlandığı iş mili, tahrik ünitesi, hız kontrolleri, ilerleme kontrolleri, iş parçasını destekleyen gezer punto gövdesi, takım tutucu ve kesici takımın hareketini sağlayan arabadan oluşmaktadır. Şekil 1.5’de üniversal torna tezgâhı ve başlıca bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Ünlversal torna tezgâhı (Groover, 2016)

1.2.2 Bilgisayarlı nümerik kontrollü torna tezgâhları

Bilgisayarlı nümerik kontrollü (CNC) torna tezgâhları; g-kodu adı verilen ve sayı, harf vb. sembollerden meydana gelen, belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar yardımıyla işletilmektedir (Tofaş Akademi, 2016).



Şekil 1.6. CNC torna tezgâhı (Groover, 2016)

1.3 Kesici ve Tutucular

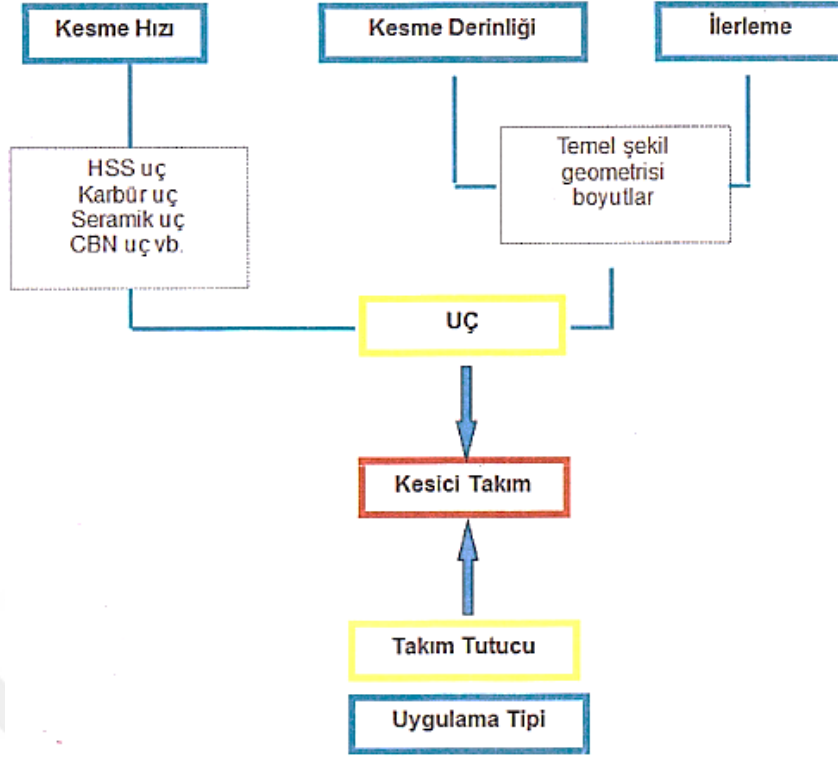
Talaşlı imalatta iş parçası üzerinden parçacıklar halinde talaş kaldırmaya yarayan ve sert malzemelerden yapılmış gereçlere “kesici”, kesicileri tezgâha bağlamaya yarayan gereçlere de “tutucu, kater” adı verilmektedir (Tofaş akademi, 2016).



Şekil 1.7. Kesici ve tutucular (Tofaş akademi, 2016)

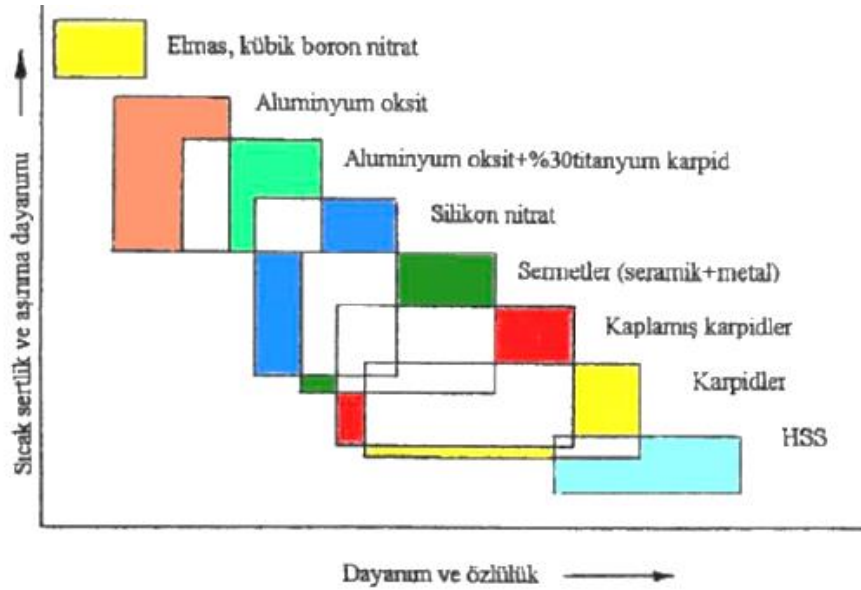
Tornalamada, yapılan işe uygun kesici uç seçmek, işin doğru ve en kısa sürede yapılması için çok önemlidir. Kesici uç ve tutucusu doğru seçildiğinde yapılan iş hem en ekonomik hem de en kaliteli şekilde yapılabilecektir. İşleme özgü en uygun kesici uç seçilirken Şekil 1.8’deki kesici seçim diyagramından yararlanılmaktadır.

Tornalama operasyonları temelde; alın tornalama, kaba (silindirik) tornalama, oyma ile kanal oluşturma, matkaplama ile delik delme, diş açma işlemleridir. *C* ve *Y* eksenleri olan torna tezgâhlarında ise hem silindirik yüzey üzerinde hem de alın üzerinde talaş kaldırma işlemleri yapılabilmektedir.



Şekil 1.8. Kesici seçim diyagramı (Tofaş akademi, 2016)

Kesici takım malzemeleri aşınma direnci ve tokluk durumlarına göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 1.9'da kesici takım malzemelerinin sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 1.9. Kesici takım malzemeleri (Akkaya, 2017)

Kesici takım malzemeleri; daha yüksek ilerleme ve kesme hızlarında talaş kaldırabilmek için üç ana özelliğe sahip olmalıdırlar.

- Aşınmaya karşı dayanma kabiliyeti (aşınma direnci)
- Kırılmaya karşı mukavemet (tokluk)
- Yüksek sıcaklıklarda sertliği ve kimyasal kararlılığı koruma (sıcakta sertlik)

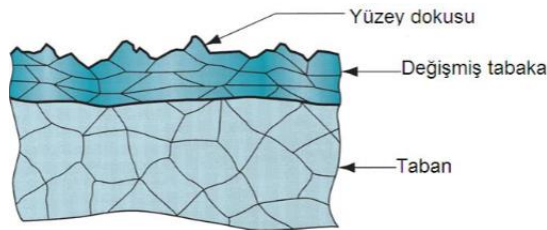
Kesici takım malzemeleri çeşit çeşit olup üretici firmalar ISO sınıflandırma sistemine göre “P, M, K, N, S, H” serisi olarak altı grupta üretmektedirler.

Çizelge 1.1. Kesici takımlar için ISO kalite sınıflandırması (İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, 2019)

ISO Grubu ve Rengi	Malzeme Grubu	Kalite	Özelliği
P (Mavi)	Çelikler	P01-P50	 Aşınma Dayanımı Tokluk 
M (Sarı)	Paslanmaz Çelikler	M10-M40	
K (Kırmızı)	Dökme Demirler	K01-K30	
N (Yeşil)	Demir Esaslı Olmayan Malzemeler	N01-N30	
S (Turuncu)	Isıl Dirençli Malzemeler	S01-S30	
H (Gri)	Sertleştirilmiş Malzemeler	H01-H30	

1.4 Yüzeyler ve Özellikleri

Bir cismin yüzeyinin büyütülmüş görüntüsü sayesinde yüzeydeki mevcut kusurlar ve düzensizlikler görülebilmektedir (Şekil 1.10).

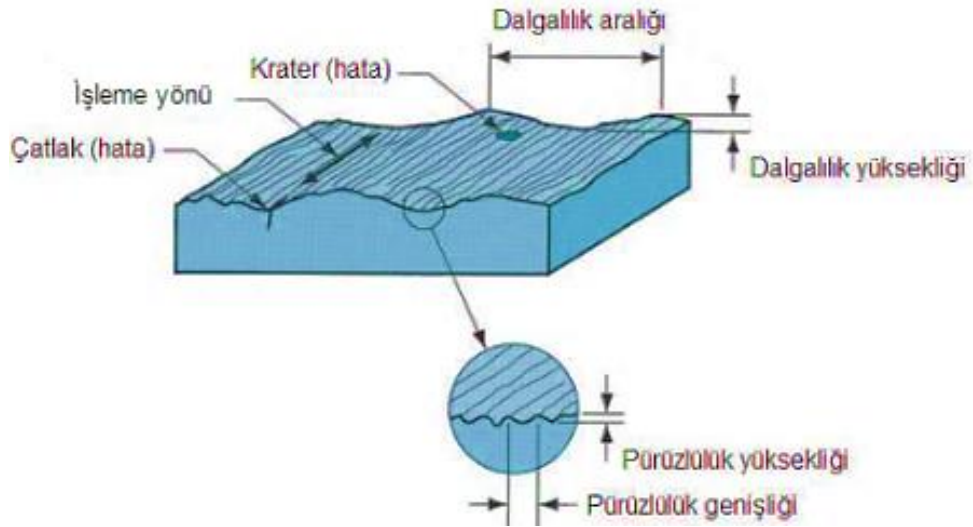


Şekil 1.10. Metal bir malzemenin büyütülmüş kesit görüntüsü (Groover, 2016)

Bir yüzey taban, değişmiş tabaka ve yüzey dokusu olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Burada taban diye ifade edilen kısım metalin ana katmanıdır ve parçanın büyük oranda hacmini oluşturmaktadır. Yüzey; pürüzlülük, dalgalılık ve kusurlar içermektedir. Tüm bu geometrik (topografik) özellikler yüzey dokusu (tekstürü) olarak ifade edilmektedir. Yüzey dokusu ile ana malzeme arasında, yapısı ana malzemeden farklı olan bir bölge vardır. Buna değişmiş tabaka denmektedir. Bu tabaka, yüzeyde gerçekleşen olayların bir göstergesidir.

1.4.1 Yüzey dokusu

Yüzey dokusu; *pürüzlülük*, *dalgalılık*, *dizilim* ve *kusurlar* olmak üzere dört farklı tanımlama ile ifade edilmektedir. Şekil 1.11’de yüzey dokusu özellikleri görülmektedir.



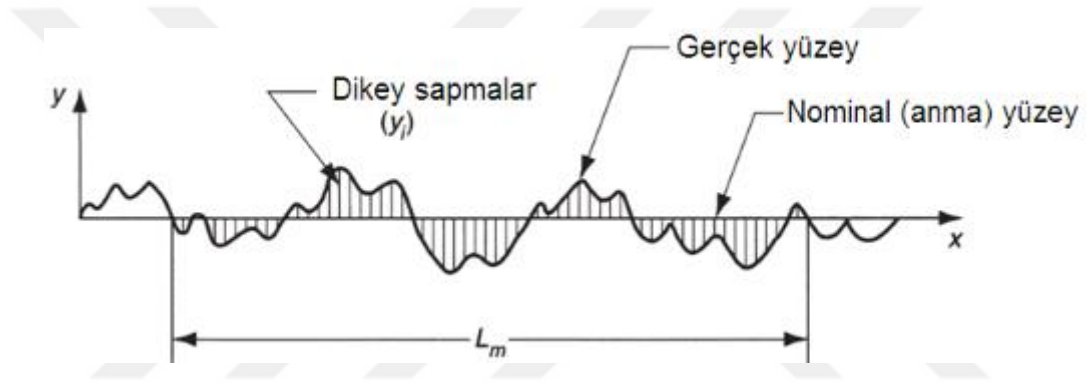
Şekil 1.11. Metal bir parçanın yüzey dokusu (Groover, 2016)

Pürüzlülük, nominal yüzey düzleminden küçük ve aralıklı sapmaları ifade etmektedir. *Dalgalılık*, daha geniş sapmalar olarak tanımlanmaktadır ve iş parçasının eğilmesi, titreşimi ve benzeri nedenlerden oluşabilmektedir. *Dizilim*, yüzey dokusunun baskın yönü veya şeklini ifade etmektedir. Genellikle kesici etkisi ile oluşmaktadır. *Kusurlar* ise yüzeyde oluşan düzensizliklerdir. Yüzey pürüzlüğü, pürüzlülük değişimlerine bağlı olarak ölçülebilen bir özelliktir ve nominal yüzeydeki belirli mesafedeki sapmaların ortalaması olarak tanımlanabilmektedir. Bu pürüzlülük değeri ortalama yüzey pürüzlülük

değeri olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1.12’de yüzey pürüzlülük değerinin tanımlanmasının daha kolay anlaşılması için yüzeyler ve sapmalar gösterilmektedir. Denklem (1.2) de ortalama yüzey pürüzlülük değeri ifade edilmektedir.

$$R_a = \int_0^{L_m} \frac{|y|}{L_m} dx \quad (1.2)$$

Burada, R_a ortalama yüzey pürüzlülük değeri, y nominal yüzeyden mutlak dikey sapmalar, L_m pürüzlülük ölçümü yapılan yerin orijin noktasına olan mesafesidir.



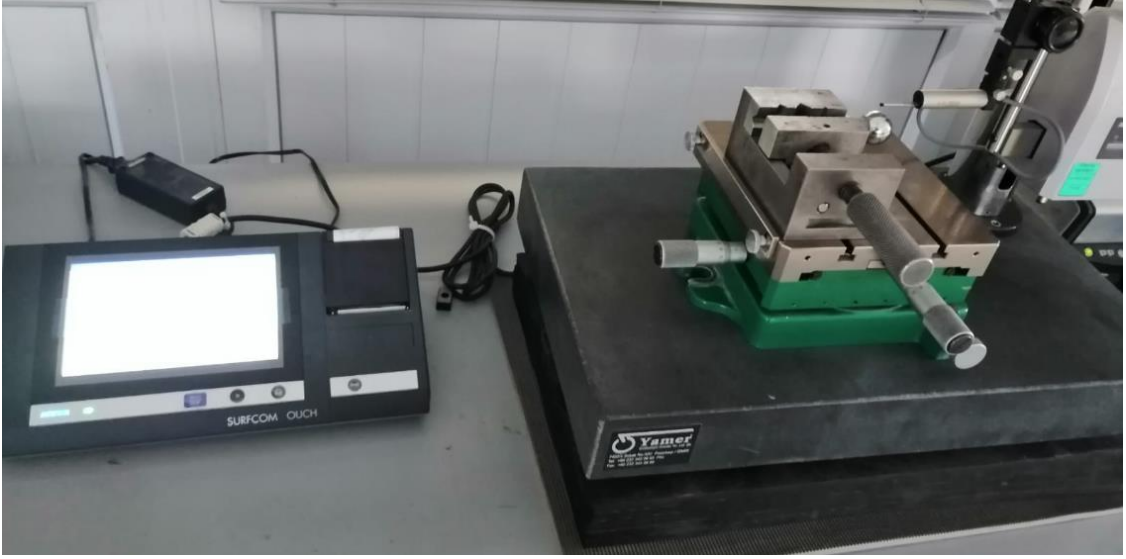
Şekil 1.12. Yüzey pürüzlülük tanımlamaları (Groover, 2016)

1.4.2 Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü

Yüzey pürüzlülüğünü tespit etmek için; algılayıcı uçlu (iğneli) elektronik cihazlar ile ölçüm, standart test yüzeyleri ile karşılaştırma yöntemi ve optik tekniklerle ölçüm olmak üzere genel olarak üç farklı metot kullanılmaktadır.

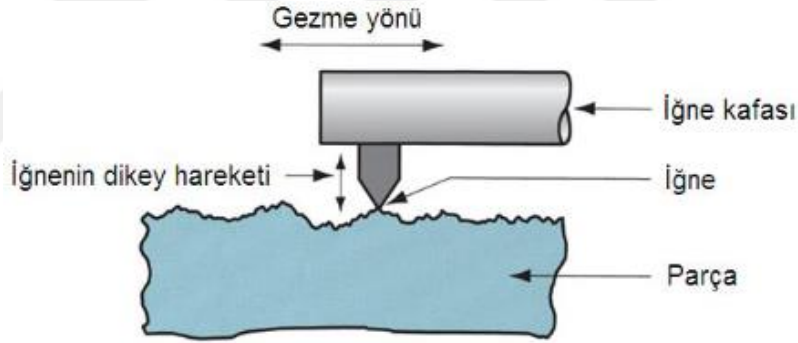
1. Algılayıcı uçlu (iğneli) elektronik cihazlar ile ölçüm

Bu yöntemde elmas iğne test edilen yüzey üzerinde yavaş bir hızla gezdirilmektedir. Algılayıcı uç kafası yatay olarak hareket ettirildiğinde yüzeydeki bozukluklardan dolayı düşey olarak da hareket etmektedir ve yüzey sapmalarını belirlemektedir. Şekil 1.13’de iğne uçlu bir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 1.13. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Bu işlemin mantığının anlaşılması için şematik gösterim Şekil 1.14’de verilmiştir.



Şekil 1.14. Yüzey pürüzlülük ölçüm tekniği (Groover, 2016)

2. Standart test yüzeyleri ile karşılaştırma yöntemi

Her biri belirli yüzey pürüzlülük değerine sahip kontrol blokları vardır. Yüzey pürüzlülüğü belirlenecek cisim ile kontrol blokları yan yana getirilip hem gözle hem de tırnak ile sürterek karşılaştırma yapılmaktadır.

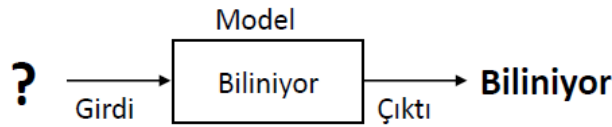
3. Optik tekniklerle ölçüm

Yüzeyden ışık yansımaları, ışık saçılması ve lazer tekniği ile yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir.

1.5 Optimizasyon ve Edgeworth - Pareto Yöntemi

Optimizasyon, bir sistemde belirli kısıtlar varken (veya yokken), amaç fonksiyonunu en iyi temsil eden çözümün elde edilme sürecidir. Diğer bir deyişle, istenilen çıktının elde edilmesi için amaç fonksiyonu kullanılarak girdilerin ne olacağını belirlemek işlemidir. Problemin türüne göre amaç fonksiyonu farklı farklıdır.

Genellikle bilinen değer ile modelce bulunan (tahmin edilen) değer arasındaki farkın sıfır veya minimum olması amaçlanır. Kısaca optimizasyon, problem çözümünde en iyi olanı tespit etmek için kullanılan yöntemlerin genel adıdır ve buradan bulunan değerler ise optimum değer olarak adlandırılır (Küçükkoç, 2020). İstenilen çıktıyı elde edebilmek üzere girdi değerlerinin belirlenmesini içeren bir optimizasyon işleminin şematik gösterimi Şekil 1.15’de verilmiştir.



Şekil 1.15. Optimizasyon işlemi (Küçükkoç, 2020)

Temel olarak optimizasyonun aşamaları,

- Sistemin temelini oluşturulması
- Değişkenlerin tanımlanması
- Hedef, amaç fonksiyonun belirtilmesi
- Kısıtların belirtilmesi
- Uygun optimizasyon metodunun seçilmesi ve uygulanması

şekindedir (Sonel, 2019). Bir optimizasyon işlemi için kullanılan teknikler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (Sevindirir, 2018).

Bir boyutlu kısıtlamasız optimizasyon

- Golden bölme araması
- İkinci derece interpolasyon

- Newton yöntemi

Çok boyutlu kısıtlamasız optimizasyon

- Doğrudan yöntemler (Rastgele arama, benzer değişim ve model aramaları)
- Gradyen yöntemler

Kısıtlamalı optimizasyon

- Doğrusal programlama, grafik çözüm, simpleks yöntemi
- Doğrusal olmayan kısıtlamalı optimizasyon

Bu klasik yöntemler haricinde optimizasyon için kullanılan diğer teknikler de mevcuttur. Edgeworth- Pareto yöntemi bunlardan birisidir (Noghin, 2006).

19. yüzyıldan beri Edgeworth – Pareto prensibi, çok kriterli problemleri çözmek için kullanılan etkili bir yöntemdir. Bir “çok kriterli problem”, skaler optimizasyon teorisinin bir genel hali olup X, f, \triangleright olmak üzere üç nesne ile çalışmaktadır. Burada X , değişkenler kümesi (noktalar, vektörler) ve $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$ ifadesi X üzerinde tanımlanan vektör değerli amaç fonksiyonlarıdır. Burada \triangleright işareti, X kümesi üzerinde tanımlanan bir karar vericinin (Decision Maker, DM) asimetrik ikili (tercih) ilişkisini göstermektedir. Yani; \triangleright operatörü, DM 'nin tercihini tanımlamaktadır.

Örneğin, $x_1 \triangleright x_2$ ifadesi; DM 'nin x_1 i x_2 'ye tercih ettiğini söylemektedir. X ve f sabitken, karar verici (DM); X arasından kendisi için en iyi referans ilişkilerine sahip, bir veya daha fazla alternatif \triangleright 'yi seçmek zorundadır. $Sel(X)$ kümesi, $Sel(X) \subset X$ ile gösterilmektedir ve seçilmiş alternatiflerden birisi olarak adlandırılmaktadır.

Çok kriterli problemi çözmek, $Sel(X)$ 'i bulmak demektir. Bir maksimizasyon problemi için Pareto seti Denklem (1.3)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$P_f(X) = \{x^* \in X \mid \text{mevcut değil } x \in X \text{ öyle ki } f(x^*) \geq f(x)\} \quad (1.3)$$

Burada $a \geq b$ ifadesi $a_i \geq b_i, i = 1, 2, \dots, m$ ve $a \neq b$ anlamına gelmektedir.

Uygun aksiyom seçimi,

1) Pareto Aksiyomu, Denklem (1.4) de verilmiştir.

$$\forall x_1, x_2 \in X: f(x_1) \geq f(x_2) \Rightarrow x_2 \notin Sel(X) \quad (1.4)$$

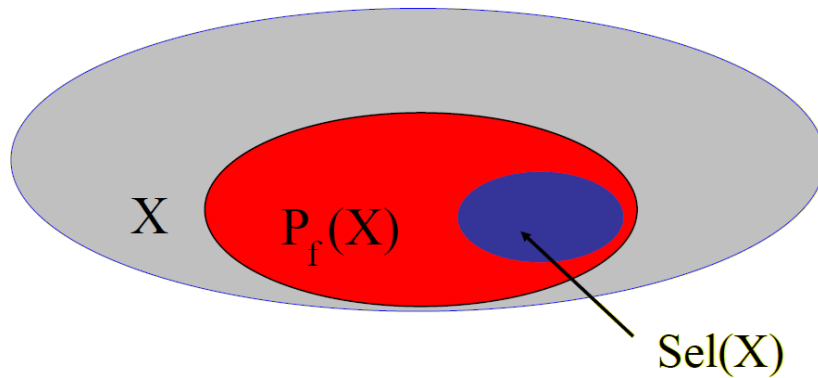
2) Baskın seçenekler hariç Aksiyom, Denklem (1.5) de verilmiştir.

$$\forall x_1, x_2 \in X: x_1 \triangleright x_2 \Rightarrow x_2 \notin Sel(X) \quad (1.5)$$

Bu iki aksiyom, karar verme süresince DM' nin davranışını belirlemektedir. Ek olarak Aksiyom 2'yi sağlayan herhangi bir $Sel(X)$ için Denklem (1.6) geçerlidir.

$$Sel(X) \subset P_f(X) \quad (1.6)$$

Şekil 1.16'da Edgeworth-Pareto analizinin şematik gösterimi verilmiştir. Bu şemaya göre; X bölgesi, değişkenlerin içerisinde bulunduğu kümeyi gösterirken, $P_f(X)$ Pareto setini ve $Sel(X)$ ise optimizasyon sonucu X bölgesi içerisinde seçilmiş olan en uygun değerleri göstermektedir.



Şekil 1.16. Edgeworth-Pareto metodunun şematik gösterimi (Noghin, 2006)

Edgeworth-Pareto metodunda kullanılan semboller aşağıda açıklanmıştır (Abbas vd., 2019; Abbas vd., 2017).

DM , karar verici

m , optimizasyondaki kriter adedi

FZ , geçerli tahminler

$f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$, amaç fonksiyonu

$Y = f(X)$, tahminler kümesi

$N_{\text{dom } X}$, baskın olmayan tahminler kümesi

$N_{\text{dom } Y}$, baskın olmayan tahminler kümesi

$P_f(X)$, Pareto optimal sınır kümesi

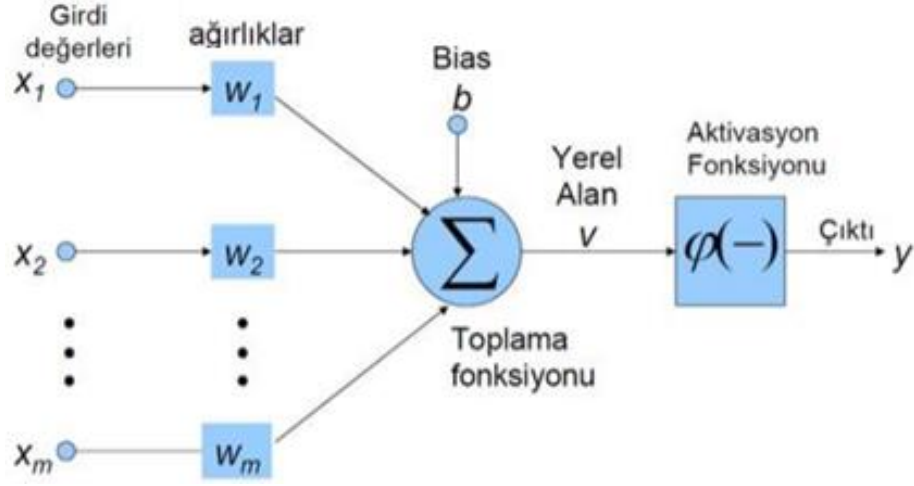
P , Pareto optimal vektörleri seti, Pareto optimal tahminleri

1.6 Yapay Sinir Ağları

Biyolojik sistemde öğrenme, nöronlar arası sinaptik bağlantılar ile oluşmaktadır. Buradan esinle, yapay sinir ağları insan beyninin bilgi işleme tekniği referans alınarak geliştirilmiştir. Nöronlar çeşitli şekillerde birbirine bağlanarak ağlar oluşturmaktadırlar ve bir nörondan diğerine sinyalleri alıp bunları birleştirerek dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartmaktadır. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarabilme yeteneğine sahiptirler (Yazıcı vd., 2007).

1.6.1 Yapay sinir ağı yapısı

Şekil 1.17'de bir yapay sinir ağı yapısı görülmektedir.



Şekil 1.17. Yapay bir sinir hücresinin yapısı (Keskenler ve Keskenler, 2017)

Yapay sinir ağı (YSA) en temelde; girdi değerleri, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı değerlerinden oluşmaktadır. Girdi değerleri bir ağırlık ile çarpılmaktadır ve bunlar doğrusal olarak toplanır. Aktivasyon fonksiyonu bunu işleyerek çıktı bilgisine çevirir.

- Girdi değerleri: Yapay sinir ağına ilk gelen bilgidir. Şekil 1.17’de gösterilen X_1, X_2, \dots, X_m gibi değerlerdir.
- Ağırlıklar: İnsan beynindeki sinapslar ile aynı görevi üstlenmektedir. Girdi değerlerinin çıktı üzerindeki etkisini belirleyen katsayılarıdır. Şekil 1.17’de gösterilen W_1, W_2, \dots, W_m gibi değerlerdir.
- Toplama fonksiyonu: İnsan beynindeki sinir hücrelerinin yaptığı işi, yapay sinir ağlarında toplama fonksiyonu yapar. YSA’ya gelen bilgilerin ağırlandıktan sonra bias (b)’m eklenmesiyle ağa giren net bilgi hesaplanır. Genel olarak toplam fonksiyonu Denklem (1.7)’deki gibi ifade edilmektedir.

$$net = \sum_{i=1}^m X_i \times W_i + b \quad (1.7)$$

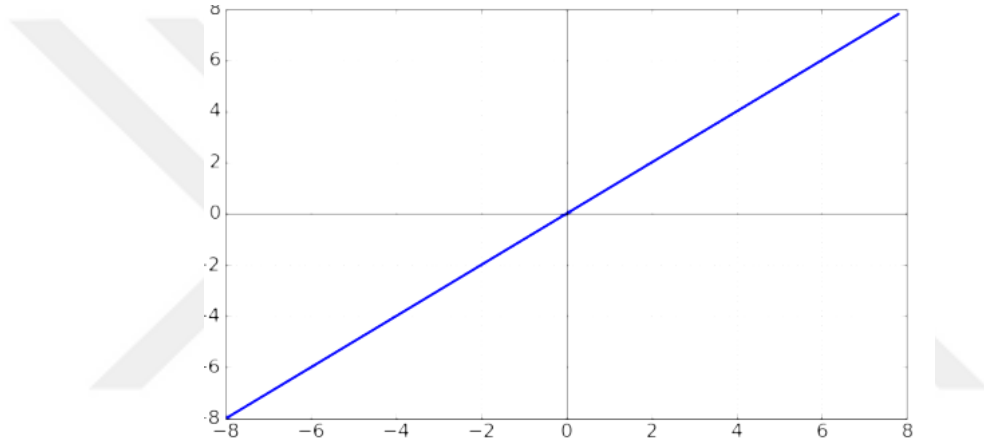
- Aktivasyon fonksiyonu: Herhangi bir katmandaki bir hücrenin çıkışı; toplama fonksiyonuyla elde edilen ağırlıklanan girişlerin bir eşik değerden çıkartılıp aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılan bir $f(x)$ fonksiyondan geçirilmesiyle

hesaplanmaktadır. Başlıca aktivasyon fonksiyonu çeşitleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Linear fonksiyon: Toplama fonksiyonundan çıkan sonuç belirli bir katsayı ile çarpılarak çıktı olarak hesaplanır. Denklem (1.8)'de formülü görülmektedir.

$$f(net) = A \times net \quad (1.8)$$

Şekil 1.18'de linear aktivasyon fonksiyonu verilmiştir.



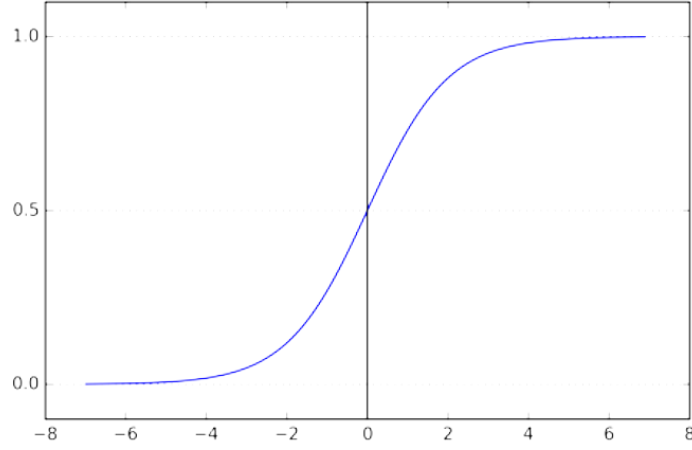
Şekil 1.18. Linear aktivasyon fonksiyonu (Sharma, 2017)

- Sigmoid fonksiyon:

Sürekli ve türevi alınabilen bir fonksiyondur. Doğrusal olmayışında ötürü en çok tercih edilen fonksiyondur. Çıkış değerlerini 0 ve 1 arasına sıkıştırır. Formülü Denklem (1.9) da verilmiştir.

$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \quad (1.9)$$

Şekil 1.19'da sigmoid aktivasyon fonksiyonu verilmiştir.



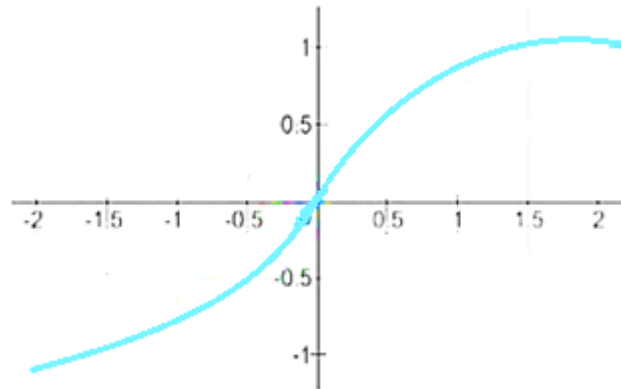
Şekil 1.19. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu (Sharma, 2017)

○ Hiperbolik tanjant fonksiyon:

Sigmoid fonksiyonuna benzer bir fonksiyondur. Çıkış değerleri -1 ile 1 arasında değişmektedir. Formülü Denklem (1.10) verilmiştir.

$$f(net) = \frac{e^{net} + e^{-net}}{e^{net} - e^{-net}} \quad (1.10)$$

Şekil 1.20’de hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonun grafiksel gösterimi verilmiştir.



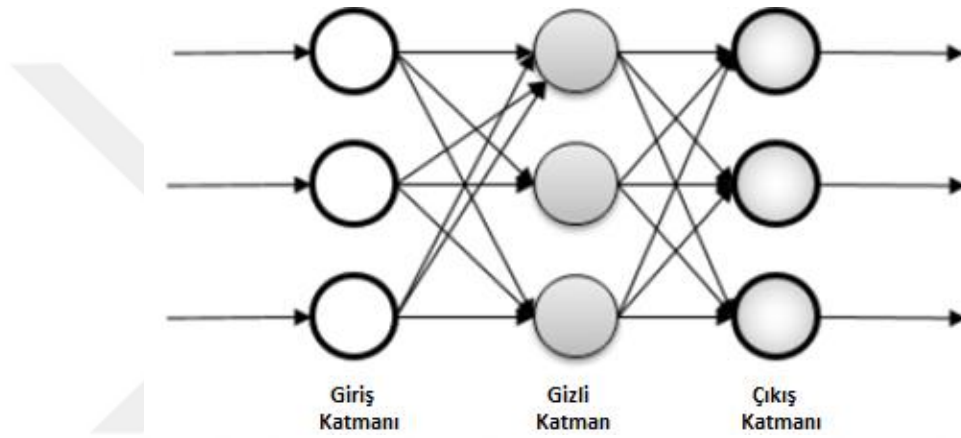
Şekil 1.20. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu (Bircanoğlu ve Arıca, 2018)

1.6.2 Yapay sinir ağı modelleri ve öğrenme metodu

Yapay sinir ağı işlem akışına göre, ileri beslemeli yapay sinir ağı ve geri beslemeli yapay sinir ağı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

1) İleri beslemeli yapay sinir ağı:

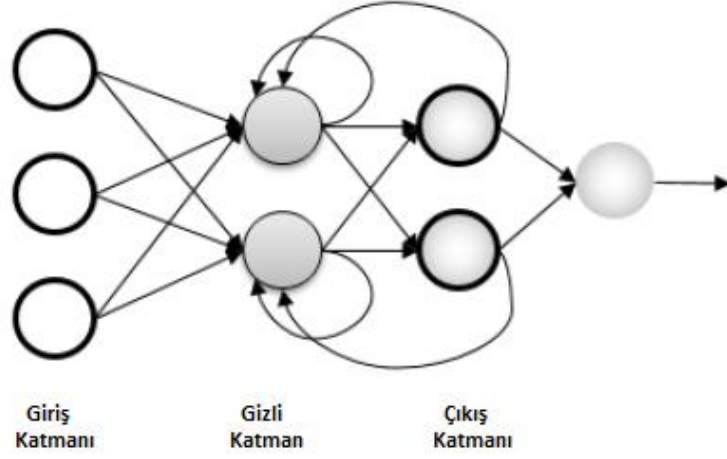
Bu ağ yapısında işlemler ileri yönlü ilerlemektedir. Tek yönlü sinyal akışı vardır. Şekil 1.21'de görüldüğü gibi bir girdi katmanı, bir gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşmaktadır.



Şekil 1.21. İleri beslemeli yapay sinir ağı (Pekel ve Kara, 2017)

2) Geri beslemeli yapay sinir ağı:

En az bir hücrenin çıkışı, geri besleme olarak gizli katmana ya da giriş katmanına bilgi olarak verilen yapay sinir ağıdır. Şekil 1.22'de bir girdi katmanlı, bir gizli katmanlı ve bir çıktı katmanından oluşan bir örnek verilmiştir.



Şekil 1.22. Geri beslemeli bir yapay sinir ağı (Pekel ve Kara, 2017)

YSA'da öğrenme metodu olarak kullanılan yöntemlerden Levenberg-Marquardt yöntemi, YSA eğitiminde sağlamış olduğu hız ve kararlılık nedeniyle tercih edilmektedir (Çavuşlu vd., 2012). Algoritmanın amacı, hesapladığı hata değerine göre nöron ağırlıklarını güncelleyerek en küçük hata değerini yakalamaktır. Algoritmada en küçük kareler metodu ve geri yayılım kullanılmaktadır. İleri beslemeli ağlarda en hızlı öğrenme metodu olarak kabul edilmektedir.

BÖLÜM II

2.1 Literatür Araştırması

Tornalama, iş parçasının dönmesi ve kesici takımın ilerleme hareketi yapması ile malzeme üzerinden talaş kaldırılarak yapılan üretim metodudur. Otomotiv, savunma sanayi gibi birçok sektörde çok yaygın kullanıma sahip olan tornalama metodunda iş parçasında boyutsal olarak kontrol edilecek birçok nokta vardır fakat ana parametrelerden birisi nihai ürünün yüzey kalitesi yani yüzey pürüzlülük (Ra) değeridir. Talaşlı imalatın en önemli operasyonlarından biri olan tornalamada, yüzey pürüzlülük değerinin istenilen seviyede olabilmesi için birçok etken olduğu gibi bunların başında kesme parametrelerinin optimize edilmesi ve bununla birlikte işleme maliyetlerinin de minimum da olması gelmektedir. Buradan hareketle konu ile ilgili mevcut çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Üretimde işleme sürecini daha iyi anlamak ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tahmin edilebilmesi için matematiksel modellerden de yararlanılmalıdır. Bu matematiksel modellemeler regresyon ve YSA birlikte kullanılarak oluşturulabilmektedir (Zain vd., 2009; Zain vd., 2011). İş parçasının işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi için gereken model, YSA esaslı oluşturulabilmiştir (Zain vd., 2010).

Kesme parametrelerinin optimize edilmesi için Edgeworth-Pareto yöntemiyle birlikte YSA kullanılarak algoritma oluşturulabilmektedir. Bu yöntem ile kesme parametreleri optimize edilerek birim hacim başına işleme süresi düşürülmekte, yüzey kalitesi artırılabilmektedir. Böylece üretim maliyetleri azaltılabilmekte ve nihai ürünün doğruluğu da iyileştirilmektedir (Abbas vd., 2019; Abbas vd., 2017). Ayrıca kesme parametrelerinin optimize edilmesi ile yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi için YSA ile birlikte farklı tekniklerin kullanıldığı da görülmüştür. YSA ile genetik algoritma (GA) metodu (Zain vd., 2010; Sangwan vd. 2015) veya YSA ile birlikte Simulation Annealing optimizasyon (SA) (Zain vd., 2011) metotları birlikte kullanılmıştır. Her iki teknikte de, ürünlerdeki en iyi yüzey kalitesini yani minimum Ra değerini elde etmek ve optimum kesme parametresi tespit edilmiştir. YSA yöntemi sadece yüzey pürüzlülüğü tahmini değil aynı zamanda da işleme sırasında kesme parametrelerini optimize etmek için de kullanılmaktadır (Davim vd., 2008).

Hangi kesme parametrelerinin, Ra değeri üzerinde daha etkili olduğu ve optimum kesme parametrelerinin neler olduğu YSA ile belirlenebilmektedir (Patel vd., 2014).

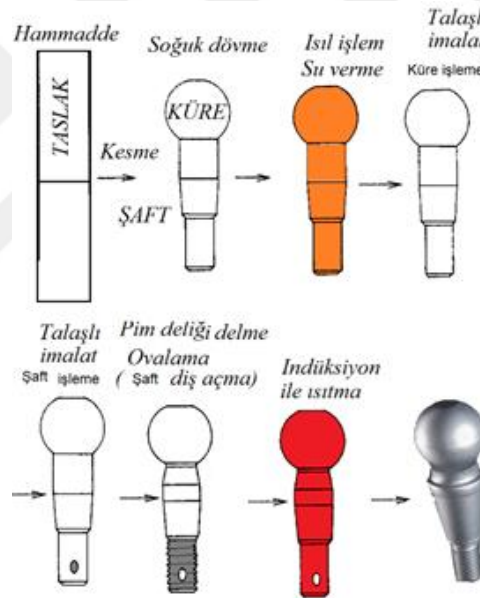
Rekabet dünyasındaki bir üretici için, güvenlik, üretim süresi ve düşük maliyetten ödün vermeden talaşlı imalat yapılabilmesi oldukça önemlidir. Tolerans dışı yüzeye sahip iş parçalarının kullanımı imkânsız bir iştir. Bu nedenle optimum kesme parametreleri ile işleme yapabilmek çok önemlidir. Bu sayede en uzun takım ömrü ve en uygun parça yüzeyi elde edilebilecektir. Bu nedenle, bu çalışma talaşlı imalat sektörü için önemlidir.

Yukarıda yapılan izahâtlardan YSA'nın talaşlı imalat sektöründe yaygın olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe çokça tercih edilen bir hammadde olan ıslah çeliği 41Cr4 (AISI/SAE 5140) kullanılarak yapılan talaşlı imalat sırasında, en iyi yüzey kalitesinin sağlanması, birim hacim başına minimum işleme süresinin elde edilmesini sağlayacak uygun kesme parametrelerinin tahmini, YSA ile birlikte Edgeworth-Pareto yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma otomotiv yan sanayi üreticileri için büyük öneme sahiptir.

BÖLÜM III

3.1 Materyal ve Metot

Optimum şartların belirlenmesi amaçlı olarak deneysel veriler kullanılmıştır. Deneysel için otomotiv aktarma organının hayati bir parçası olan mafsalın tornalaması incelenmiştir. Şekil 3.1’de bir mafsal imalatı esnasında uygulanan işlemler dizisi sırası ile verilmiştir. Şekilde “küre işleme” olarak gösterilen basamakta, tornalama işlemi uygulanmaktadır. Mafsalın malzemesi 41Cr4 (AISI/SAE 5140) çelik olup, TiN kaplamalı kesici uç (DNMG 110408) ve kater kullanılarak tornalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Malzemeye ait kimyasal bileşim Çizelge 3.1’de verilmiştir.



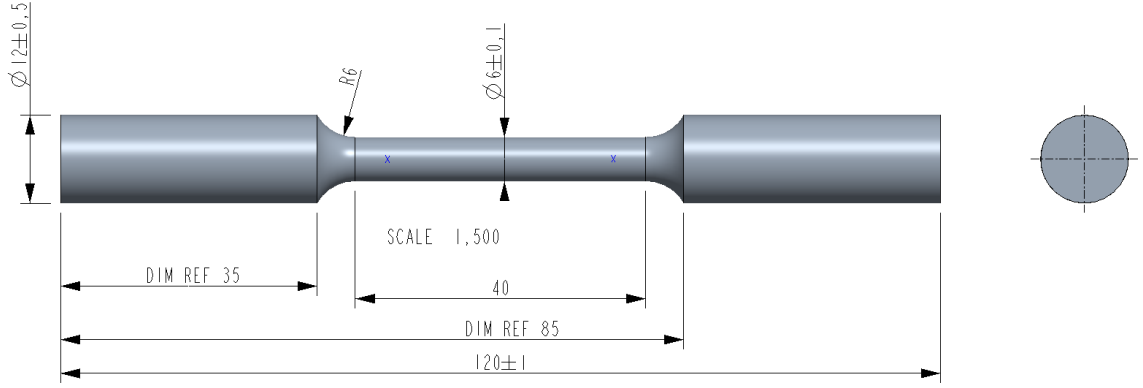
Şekil 3.1. İncelenen mafsal iş parçasına ait işleme basamakları

Çizelge 3.1. EN 41Cr4 ıslah çeliğinin kimyasal bileşimi

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
97.4	0.404	0.375	0.740	0.0155	0.0090	0.927	<0.0040	0.0100	0.0211	0.0296
97.5	0.412	0.374	0.745	0.0154	0.0089	0.937	<0.0040	0.0083	0.0202	0.0291
97.4	0.401	0.371	0.742	0.0154	0.0082	0.919	<0.0040	0.0065	0.0197	0.0279

3.2 Çekme Deneyi

Çekme testlerini gerçekleştirmek için video tipi ekstansometre sistemine sahip bir Shimadzu Autograph 100 kN test makinesi kullanıldı.



Şekil 3.2. Çekme testi numunelerinin boyutları (mm)

Monotonik gerilme eğrisi (şekil değiştirme ϵ ve gerilme σ), Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ASTM B557 M 02A standardına göre hazırlanan numuneler kullanılarak doğrusal koordinat sisteminde oluşturulmuştur (ASTM, 2002). Çekme testleri 25 mm/dk hızında gerçekleştirilmiştir.

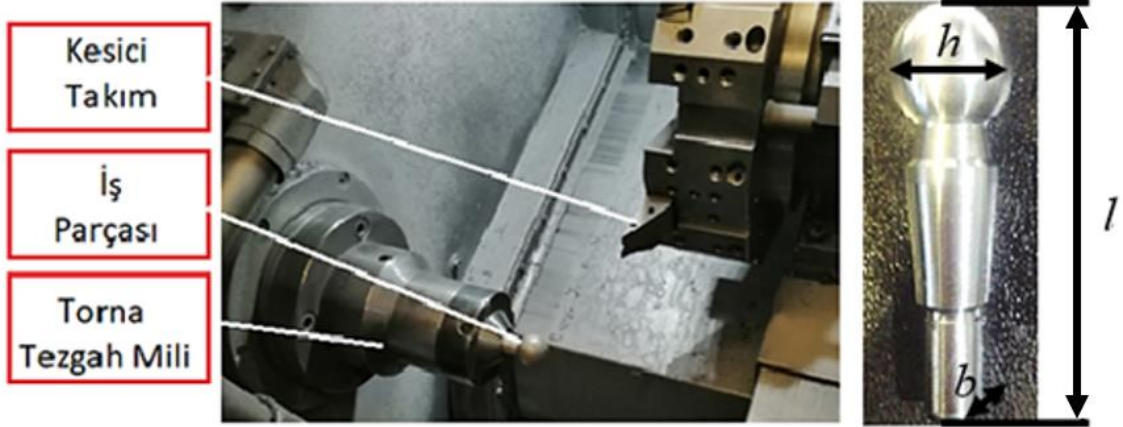
Çizelge 3.2’de malzemenin mekanik özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.2. EN 41Cr4 ıslah çeliğinin mekanik özellikleri

Akma Gerilmesi (MPa)	Maksimum Gerilme (MPa)	Şekil Değişirme (%)	Sertlik (HRC)
651.209	853.303	18.3848	23-33

3.3 Tornalama

Mafsallar Şekil 3.3’de görüldüğü gibi Goodway GLS-200 marka CNC torna tezgâhında işlenmiştir. İş parçasının boyutları genişlik $b = 24$ (mm), uzunluk $l = 108$ (mm) ve en $h = 31$ (mm)’dir. Talaş kaldırma için TiN kaplamalı kesici uç ve kater kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Numune işleme deney kurulumu ve örnek numune

Yüzey pürüzlülüğü parçalar üzerinde 30 (mm) boyunca ölçülmüş ve bu doğrultuda raporlanmıştır. Numunelerin yüzey pürüzlülüklerinin ölçüldüğü cihaz Şekil 3.4’de görülmektedir.

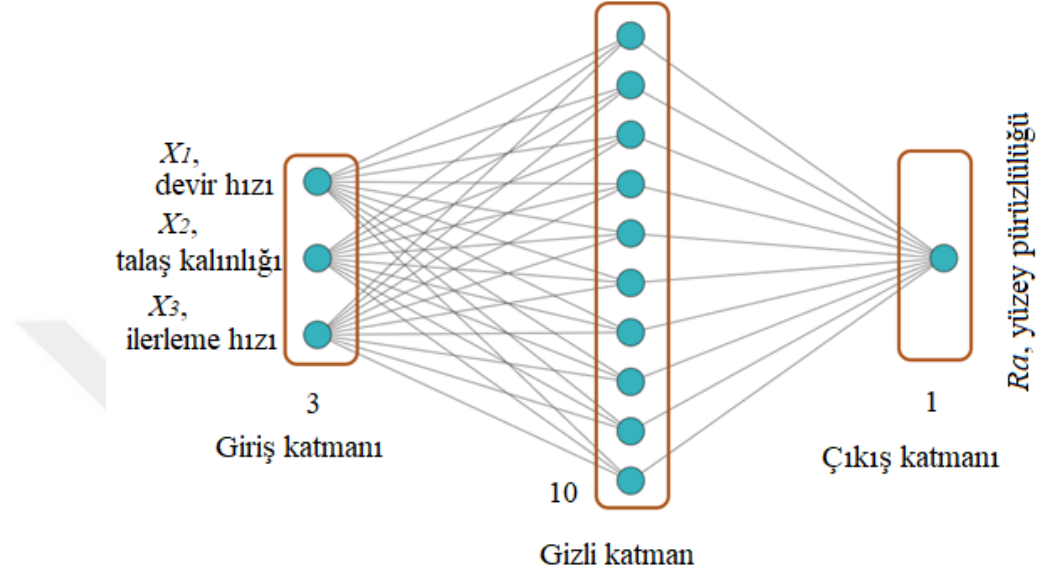


Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçüm yapılması

Çalışma beş koşulu kapsayan 25’li guruplardan oluşmaktadır. Devir hızı (n) 2000 (rpm) den başlayarak 250’şer artışla 3000 (rpm)’e kadar çıkmaktadır. Talaş kalınlığı (a_p) 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 (mm) arasındadır. Besleme hızı ise (V_f) 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 (mm/dev) değerleri arasında değiştirilmiştir.

3.4 YSA Mimarisi

Çalışmamızda ileri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmış olup, ağ topolojisi Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan ağ topolojisi

3.5 Optimum İşleme Parametrelerini Belirleme Stratejisi

Çalışmamızda; yüzey pürüzlülüğünü minimum, maksimum yapacak en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir. YSA tekniği ile deneysel verilere dayanan tornalama modelleri oluşturulmuş ve müteakibinde de Edgeworth-Pareto (Abbas vd., 2017) tekniği ile de optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Takip edilen adımlar aşağıdaki gibidir.

- Adım 1. Optimizasyon için hem kısıt hem de değişkenlerin çalışma alanındaki alt-üst sınırları tanımlanmıştır.
- Adım 2. Deneysel verilere YSA tekniği uygulanarak tornalama modelleri oluşturulmuştur.
- Adım 3. Optimal kararlar ve tahminler ile birlikte Pareto eğrisi belirlenmiştir.
- Adım 4. Pareto'nun baskın olmayan tahminleri belirlenmiştir.
- Adım 5. Pareto'nun yerel tahminleri belirlenmiş, optimum kararları içeren Pareto noktası oluşturulmuş ve YSA modelleri ile doğrulama yapılmıştır.

YSA için giriş değişkenleri;

- x_1 , devir hızı,
- x_2 , talaş kalınlığı,
- x_3 , ilerleme hızı

ve çıkış değişkeni;

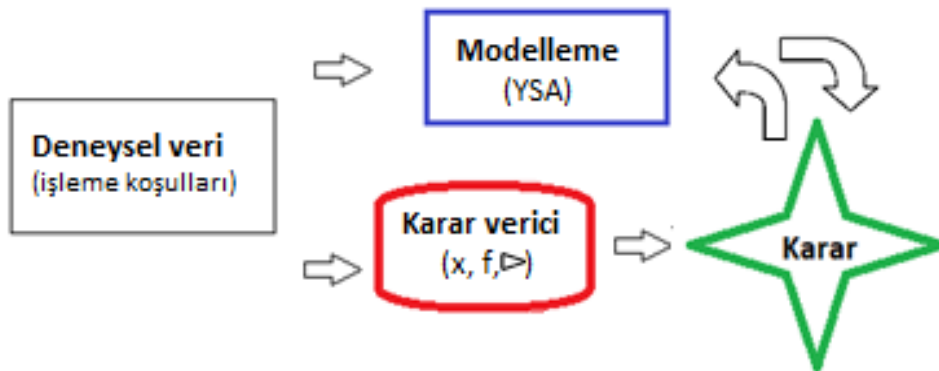
- Ra , yüzey pürüzlülüğüdür.

Giriş ve çıkış değişkenleri, deneysel olarak tespit edilmiştir. Uzman olarak YSA algoritması kullanılmış olup neticede tornalama modelleri elde edilmiştir. YSA algoritması Matlab© programı kullanılarak uygulanmıştır (Matlab©, 2010). Elde edilen modeller Edgeworth-Pareto karar vericide kullanılarak;

- Ra , yüzey pürüzlülüğünü minimum/maksimum edecek,
- Tm , birim hacim işleme süresi maksimum/minimum edecek

değerler belirlenmiştir.

Şekil 3.6'da Edgeworth-Pareto analizinin şematik prensibi gösterilmiş olup. Bu çalışmada el ile uygulanmıştır. Yapılan işlemler adım adım izah edilmiştir.



Şekil 3.6. Edgeworth-Pareto karar verme diyagramı

Çizelge 3.3-3.7 farklı işleme koşulları için deneysel olarak ölçülmüş olan değişkenleri göstermektedir. Bu değerler ayrıca yapay sinir ağı için bir eğitim, doğrulama ve test seti olarak kullanılmıştır. Aşağıda ise çizelgelerde kullanılan terimler izah edilmiştir.

- $x1$ devir hızı, n , (rpm)
- $x2$ talaş kalınlığı, ap (mm)
- $x3$ ilerleme hızı, vf (mm/dev)
- Yüzey pürüzlülüğü, Ra (μm)
- Boyutsuz yüzey pürüzlülüğü, $f1$, (Ra^*)
- Birim hacim işleme süresi, Tm (dakika/cm³)
- Boyutsuz birim hacim işleme süresi, $f2$, (Tm^*)
- Birim vektör uzunluğu, f

Çizelge 3.3. $a_p = 0,2$ (mm) için işleme ve optimizasyon için boyutsuz parametreler

Deneysel ölçümler					Boyutsuz parametreler			
$x1$ (rpm)	$x2$ (mm)	$x3$ (mm/dev)	Ra (μm)	Tm (min/cm^3)	$f1,$ (Ra^*)	$f2,$ (Tm^*)	f	YSA dan Ra (μm)
2000	0,2	0,1	0,831	0,133	0,92	1,00	1,356	0,832
2000	0,2	0,15	0,868	0,088	0,96	0,67	1,166	0,844
2000	0,2	0,2	0,881	0,066	0,97	0,50	1,092	0,871
2000	0,2	0,25	0,897	0,053	0,99	0,40	1,067	0,881
2000	0,2	0,3	0,907	0,044	1,00	0,33	1,054	0,909
2250	0,2	0,1	0,759	0,105	0,84	0,79	1,151	0,712
2250	0,2	0,15	0,772	0,070	0,85	0,53	1,001	0,736
2250	0,2	0,2	0,786	0,052	0,87	0,40	0,952	0,819
2250	0,2	0,25	0,798	0,042	0,88	0,32	0,935	0,853
2250	0,2	0,3	0,812	0,035	0,90	0,26	0,933	0,879
2500	0,2	0,1	0,735	0,085	0,82	0,64	1,033	0,727
2500	0,2	0,15	0,757	0,057	0,83	0,43	0,937	0,751
2500	0,2	0,2	0,768	0,042	0,85	0,32	0,905	0,758
2500	0,2	0,25	0,779	0,034	0,86	0,26	0,896	0,762
2500	0,2	0,3	0,788	0,028	0,87	0,21	0,895	0,775
2750	0,2	0,1	0,606	0,070	0,67	0,53	0,852	0,614
2750	0,2	0,15	0,613	0,047	0,68	0,35	0,762	0,606
2750	0,2	0,2	0,627	0,035	0,69	0,26	0,740	0,631
2750	0,2	0,25	0,638	0,028	0,70	0,21	0,735	0,640
2750	0,2	0,3	0,647	0,023	0,71	0,18	0,735	0,648
3000	0,2	0,1	0,554	0,059	0,61	0,44	0,755	0,557
3000	0,2	0,15	0,561	0,039	0,62	0,30	0,686	0,557
3000	0,2	0,2	0,572	0,029	0,63	0,22	0,669	0,563
3000	0,2	0,25	0,584	0,024	0,64	0,18	0,668	0,575
3000	0,2	0,3	0,591	0,020	0,65	0,15	0,668	0,594

Çizelge 3.4. $a_p = 0,4$ (mm) için işleme ve optimizasyon için boyutsuz parametreler

Deneysel ölçümler					Boyutsuz parametreler			
$x1$ (rpm)	$x2$ (mm)	$x3$ (mm/dev)	Ra (μm)	Tm (min/cm ³)	$f1,$ (Ra^*)	$f2,$ (Tm^*)	f	YSA dan Ra (μm)
2000	0,4	0,1	0,802	0,066	0,88	0,50	1,016	0,802
2000	0,4	0,15	0,817	0,044	0,90	0,33	0,960	0,815
2000	0,4	0,2	0,834	0,033	0,92	0,25	0,953	0,833
2000	0,4	0,25	0,849	0,027	0,94	0,20	0,957	0,845
2000	0,4	0,3	0,866	0,022	0,95	0,17	0,969	0,865
2250	0,4	0,1	0,756	0,052	0,83	0,40	0,922	0,767
2250	0,4	0,15	0,765	0,035	0,84	0,26	0,884	0,786
2250	0,4	0,2	0,776	0,026	0,86	0,20	0,878	0,804
2250	0,4	0,25	0,785	0,021	0,87	0,16	0,880	0,836
2250	-0,4	0,3	0,794	0,017	0,88	0,13	0,885	0,864
2500	0,4	0,1	0,734	0,042	0,81	0,32	0,870	0,729
2500	0,4	0,15	0,754	0,028	0,83	0,21	0,858	0,798
2500	0,4	0,2	0,775	0,021	0,85	0,16	0,869	0,772
2500	0,4	0,25	0,794	0,017	0,88	0,13	0,885	0,825
2500	0,4	0,3	0,813	0,014	0,90	0,11	0,903	0,847
2750	0,4	0,1	0,601	0,035	0,66	0,26	0,713	0,605
2750	0,4	0,15	0,61	0,023	0,67	0,18	0,695	0,610
2750	0,4	0,2	0,622	0,018	0,69	0,13	0,698	0,600
2750	0,4	0,25	0,633	0,014	0,70	0,11	0,706	0,625
2750	0,4	0,3	0,645	0,012	0,71	0,09	0,717	0,643
3000	0,4	0,1	0,548	0,029	0,60	0,22	0,644	0,539
3000	0,4	0,15	0,56	0,020	0,62	0,15	0,635	0,554
3000	0,4	0,2	0,573	0,015	0,63	0,11	0,641	0,573
3000	0,4	0,25	0,587	0,012	0,65	0,09	0,653	0,591
3000	0,4	0,3	0,599	0,010	0,66	0,07	0,665	0,604

Çizelge 3.5. $a_p = 0,6$ (mm) işleme ve optimizasyon için boyutsuz parametreler

Deneysel ölçümler					Boyutsuz parametreler			
$x1$ (rpm)	$x2$ (mm)	$x3$ (mm/dev)	Ra (μm)	Tm (min/cm^3)	$f1,$ (Ra^*)	$f2,$ (Tm^*)	f	YSA dan Ra (μm)
2000	0,6	0,1	0,798	0,044	0,88	0,33	0,941	0,805
2000	0,6	0,15	0,81	0,029	0,89	0,222	0,920	0,810
2000	0,6	0,2	0,821	0,022	0,91	0,17	0,920	0,820
2000	0,6	0,25	0,832	0,018	0,92	0,13	0,927	0,831
2000	0,6	0,3	0,845	0,015	0,93	0,11	0,938	0,845
2250	0,6	0,1	0,773	0,035	0,85	0,26	0,892	0,702
2250	0,6	0,15	0,779	0,023	0,86	0,18	0,877	0,737
2250	0,6	0,2	0,788	0,017	0,87	0,13	0,879	0,750
2250	0,6	0,25	0,795	0,014	0,88	0,11	0,883	0,794
2250	0,6	0,3	0,802	0,012	0,88	0,09	0,889	0,802
2500	0,6	0,1	0,729	0,028	0,80	0,21	0,832	0,730
2500	0,6	0,15	0,731	0,019	0,81	0,14	0,818	0,731
2500	0,6	0,2	0,734	0,014	0,81	0,11	0,816	0,734
2500	0,6	0,25	0,742	0,011	0,82	0,09	0,823	0,741
2500	0,6	0,3	0,749	0,009	0,83	0,07	0,829	0,796
2750	0,6	0,1	0,708	0,023	0,78	0,18	0,800	0,707
2750	0,6	0,15	0,715	0,016	0,79	0,12	0,797	0,713
2750	0,6	0,2	0,723	0,012	0,80	0,09	0,802	0,725
2750	0,6	0,25	0,732	0,009	0,81	0,07	0,810	0,728
2750	0,6	0,3	0,741	0,008	0,82	0,06	0,819	0,742
3000	0,6	0,1	0,624	0,020	0,69	0,15	0,704	0,627
3000	0,6	0,15	0,637	0,013	0,70	0,10	0,709	0,633
3000	0,6	0,2	0,65	0,010	0,72	0,07	0,720	0,657
3000	0,6	0,25	0,664	0,008	0,73	0,06	0,734	0,666
3000	0,6	0,3	0,679	0,007	0,75	0,05	0,750	0,678

Çizelge 3.6. $a_p = 0,8$ (mm) için işleme ve optimizasyon için boyutsuz parametreler

Deneysel ölçümler					Boyutsuz parametreler			
$x1$ (rpm)	$x2$ (mm)	$x3$ (mm/dev)	Ra (μm)	Tm (min/cm ³)	$f1,$ (Ra^*)	$f2,$ (Tm^*)	f	YSA dan Ra (μm)
2000	0,8	0,1	0,771	0,033	0,85	0,25	0,886	0,762
2000	0,8	0,15	0,781	0,022	0,86	0,17	0,877	0,773
2000	0,8	0,2	0,792	0,017	0,87	0,13	0,882	0,796
2000	0,8	0,25	0,794	0,013	0,88	0,10	0,881	0,796
2000	0,8	0,3	0,801	0,011	0,88	0,08	0,887	0,793
2250	0,8	0,1	0,758	0,026	0,84	0,20	0,859	0,750
2250	0,8	0,15	0,763	0,017	0,84	0,13	0,851	0,761
2250	0,8	0,2	0,769	0,013	0,85	0,10	0,854	0,771
2250	0,8	0,25	0,778	0,010	0,86	0,08	0,861	0,791
2250	0,8	0,3	0,786	0,009	0,87	0,07	0,869	0,824
2500	0,8	0,1	0,736	0,021	0,81	0,16	0,827	0,739
2500	0,8	0,15	0,741	0,014	0,82	0,11	0,824	0,752
2500	0,8	0,2	0,749	0,011	0,83	0,08	0,830	0,760
2500	0,8	0,25	0,754	0,008	0,83	0,06	0,834	0,783
2500	0,8	0,3	0,759	0,007	0,84	0,05	0,839	0,795
2750	0,8	0,1	0,723	0,018	0,80	0,13	0,808	0,677
2750	0,8	0,15	0,729	0,012	0,80	0,09	0,809	0,700
2750	0,8	0,2	0,735	0,009	0,81	0,07	0,813	0,713
2750	0,8	0,25	0,739	0,007	0,81	0,05	0,816	0,730
2750	0,8	0,3	0,746	0,006	0,82	0,04	0,824	0,748
3000	0,8	0,1	0,603	0,015	0,66	0,11	0,674	0,669
3000	0,8	0,15	0,623	0,010	0,69	0,07	0,691	0,649
3000	0,8	0,2	0,642	0,007	0,71	0,06	0,710	0,674
3000	0,8	0,25	0,651	0,006	0,72	0,04	0,719	0,699
3000	0,8	0,3	0,667	0,005	0,74	0,04	0,736	0,738

Çizelge 3.7. $a_p = 1$ (mm) için işleme ve optimizasyon için boyutsuz parametreler

Deneysel ölçümler					Boyutsuz parametreler			
$x1$ (rpm)	$x2$ (mm)	$x3$ (mm/dev)	Ra (μm)	Tm (min/cm^3)	$f1,$ (Ra^*)	$f2,$ (Tm^*)	f	YSA dan Ra (μm)
2000	1	0,1	0,721	0,027	0,79	0,20	0,820	0,723
2000	1	0,15	0,729	0,018	0,80	0,13	0,815	0,722
2000	1	0,2	0,737	0,013	0,81	0,10	0,819	0,727
2000	1	0,25	0,744	0,011	0,82	0,08	0,824	0,745
2000	1	0,3	0,752	0,009	0,83	0,07	0,832	0,757
2250	1	0,1	0,691	0,021	0,76	0,16	0,778	0,686
2250	1	0,15	0,699	0,014	0,77	0,11	0,778	0,690
2250	1	0,2	0,708	0,010	0,78	0,08	0,785	0,717
2250	1	0,25	0,715	0,008	0,79	0,06	0,791	0,733
2250	1	0,3	0,723	0,007	0,80	0,05	0,799	0,750
2500	1	0,1	0,723	0,017	0,80	0,13	0,807	0,743
2500	1	0,15	0,724	0,011	0,80	0,09	0,803	0,725
2500	1	0,2	0,726	0,008	0,80	0,06	0,803	0,763
2500	1	0,25	0,725	0,007	0,80	0,05	0,801	0,728
2500	1	0,3	0,734	0,006	0,81	0,04	0,810	0,804
2750	1	0,1	0,625	0,014	0,69	0,11	0,697	0,590
2750	1	0,15	0,631	0,009	0,70	0,07	0,699	0,624
2750	1	0,2	0,637	0,007	0,70	0,05	0,704	0,633
2750	1	0,25	0,641	0,006	0,71	0,04	0,708	0,659
2750	1	0,3	0,65	0,005	0,72	0,04	0,718	0,689
3000	1	0,1	0,591	0,012	0,65	0,09	0,658	0,614
3000	1	0,15	0,602	0,008	0,66	0,06	0,666	0,615
3000	1	0,2	0,613	0,006	0,68	0,04	0,677	0,636
3000	1	0,25	0,624	0,005	0,69	0,04	0,689	0,657
3000	1	0,3	0,637	0,004	0,70	0,03	0,703	0,679

3.5.1 Optimizasyon problemi ifadesi (stratejinin ilk adımı)

Çalışmada amaç fonksiyonları, iş parçasının tornalamasında ki optimizasyon kriterleri, f_1 yüzey pürüzlülüğü ($R_a, \mu m$) ve f_2 birim hacim başına işleme süresi ($T_m, dk/cm^3$) olup bu durumda $m = 2$ 'dir. İki boyutlu uzayda olası Y tahminleri kümesi ve $f = (f_1, f_2)$ vektörleri oluşturulmuştur. f_1 ve f_2 'lerin kolaylık açısından en az boyutlu bir f vektörü ile ifade edilebilmesi için $R^2 = f_1^2 + f_2^2$ şeklinde bir tanımlama yapılmıştır. Daha sonra değişkenler normalleştirilerek boyutsuz hale getirilmiştir. Boyutsuz yüzey pürüzlülüğü değeri R_a^* için Denklem (3.1) ve boyutsuz birim hacim başına işleme süresi T_m^* için Denklem (3.2) kullanılarak değerler normalize edilmiştir.

$$R_a^* = R_{a_i}/R_{a_{max}} \quad (3.1)$$

$$T_m^* = T_{m_i}/T_{m_{max}} \quad (3.2)$$

Burada, R_{a_i} kümedeki i 'inci eleman için yüzey pürüzlülüğü olup, $R_{a_{max}}$ ise kümedeki maksimum yüzey pürüzlülüğü değeridir. Benzer şekilde T_{m_i} kümedeki i 'inci eleman için işleme süresi olup, $T_{m_{max}}$ ise kümedeki birim hacim başına maksimum işleme süresidir. R_a^* ise normalize edilmiş boyutsuz yüzey pürüzlülüğü ve T_m^* normalize edilmiş boyutsuz birim hacim başına işleme süresidir.

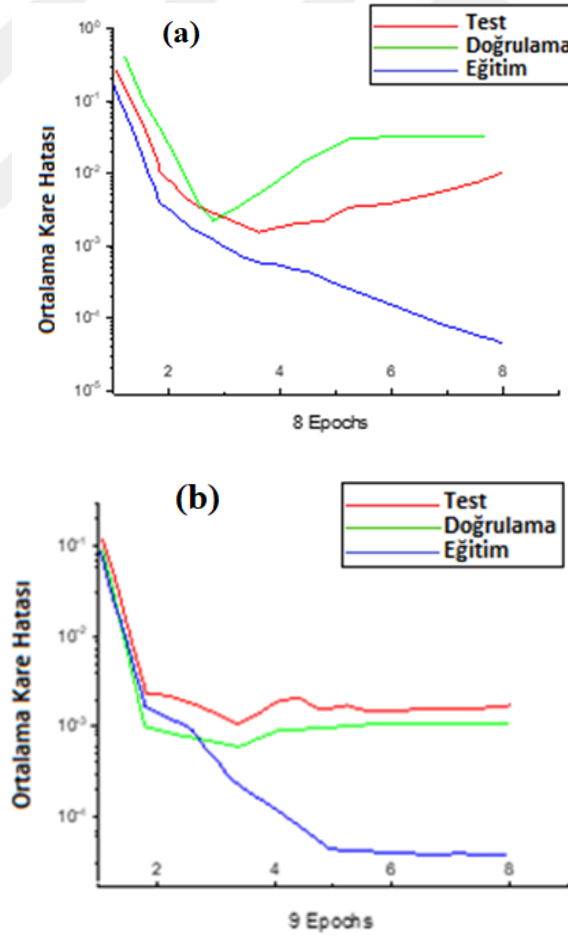
Değişkenlerin alt-üst limitleri belirlenmiştir. x_1 değişkeni iş mili hızı olup $n = [2000, 3000]$ (rpm) aralığında değişmektedir. x_2 değişkeni talaş kalınlığı olup $a_p = [0.2, 1]$ (mm) aralığında değişmektedir. Son olarak x_3 değişkeni besleme hızını ifade etmekte olup $V_f = [0.1, 0.3]$ (mm/dev) aralığında değişmektedir. Literatürde işleme süresinin hesaplanabilmesi için Denklem (3.3)'ün de kullanılabildiği görülmüştür (Abbas vd., 2019; Abbas vd., 2017). Çalışmamızda deneysel olarak ölçülmüştür.

$$T_m = 1000/(V_c * a_p * v_f) \quad (3.3)$$

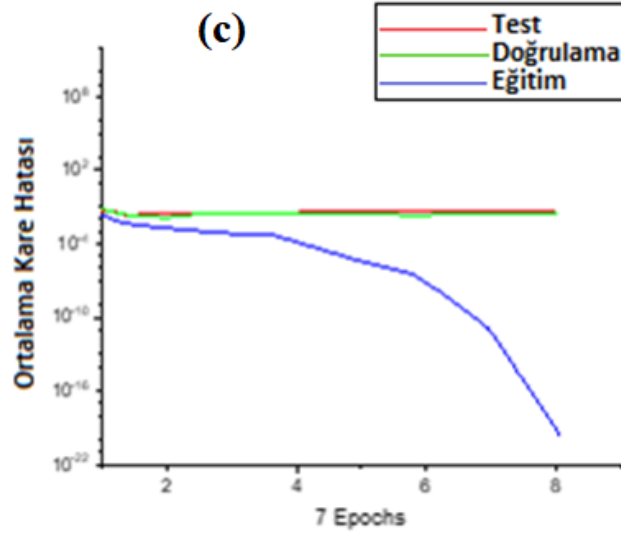
Burada T_m (sn), işleme süresi V_c (m/dak) kesme hızı, a_p (mm) talaş kalınlığı, v_f (mm/dev) ise ilerleme hızıdır.

3.5.2 YSA ile yüzey pürüzlülüğü tahmin modeli oluşturma (stratejinin ikinci adımı)

Matlab© programı (Matlab©,2010), yapay sinir ağını oluşturmak için kullanılmıştır. YSA'yı eğitmek için Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır (Çavuşlu vd., 2012). YSA'yı yapılandırmak için iki katman kullanıldı ve tüm değerler için normalleştirme işlemi yapılarak tüm girdilerin $\{0,1\}$ aralığına uyması sağlandı. Nöronların ağırlıklı değerlerini güncellemek için bir eğitim seti ve hata durumunda eğitimi durdurmak için bir doğrulama seti kullanıldı. Verilerin %70 i eğitim için kullanılmış olup, modeli doğrulamak için %10 ve %20 olan iki ayrı durum kullanılmıştır. Geri kalan miktar ise test için kullanıldı. Gizli katmandaki nöron sayıları sırası ile 9, 10 ve 11 alınmış ve en küçük ortalama kare hatasına bakılarak ağ performansları gözlemlenmiştir. Şekil 3.7 de eğitim, test ve doğrulama esnasında YSA'nın ortalama kare hatası verilmiştir.



Şekil 3.7. Gizli katmandaki farklı nöron sayıları durumunda en düşük ortalama kare hatası (a) MLP 3-9-1 (b) MLP 3-10-1 (c) MLP 3-11-1



Şekil 3.7. (Devam)

Şekil 3.7-a da verilen hata grafiğinden hem eğitim, hem doğrulama ve hem de test esnasında 9 nöronlu ağıın artan iterasyonlarla birlikte kararsız bir hata ya sahip olduğu görülmektedir.

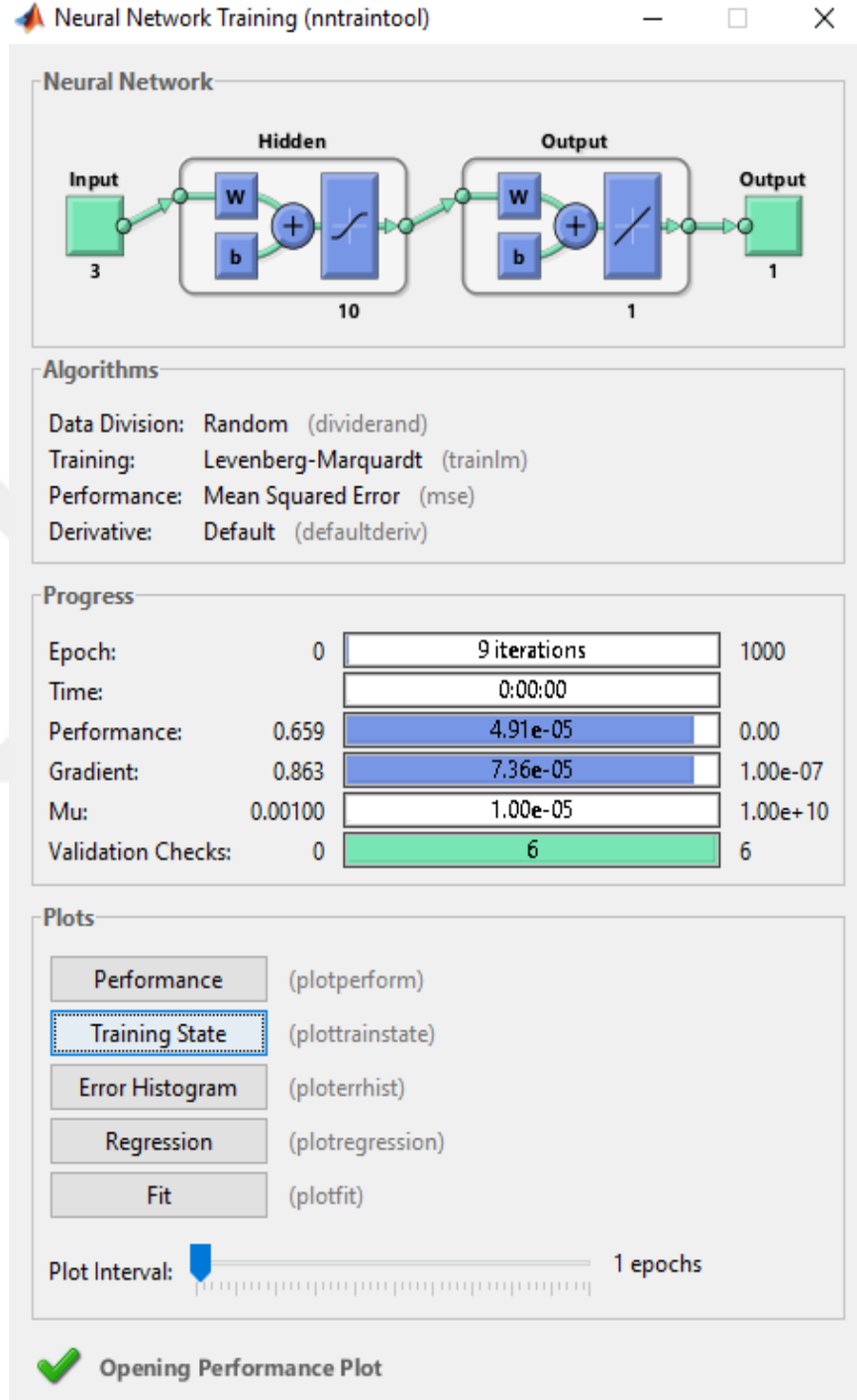
Şekil 3.7-b de ise test ve doğrulama işlemlerindeki hata değerlerini artan iterasyonlarla birlikte bir kararlı değere ulaştığı görülmüştür. Doğrulama setindeki hata 0.001'lik seviyelere kadar düşmüştür.

Eğitim esnasındaki hata ise artan iterasyonla birlikte sabit bir hale gelmiştir. Bu durum bu ağı daha güvenilir hale getirmektedir.

Şekil 3.7-c'den görüleceği üzere, test ve doğrulama işlemlerindeki hata 0.001'lik seviyelere gelmiş olmakla birlikte eğitimdeki hata belli bir kararlı değere ulaşamamıştır, artan iterasyonla birlikte azalmaya devam etmektedir. Bu nedenle optimum iterasyon sayısı açısından bu ağ güven vermemektedir.

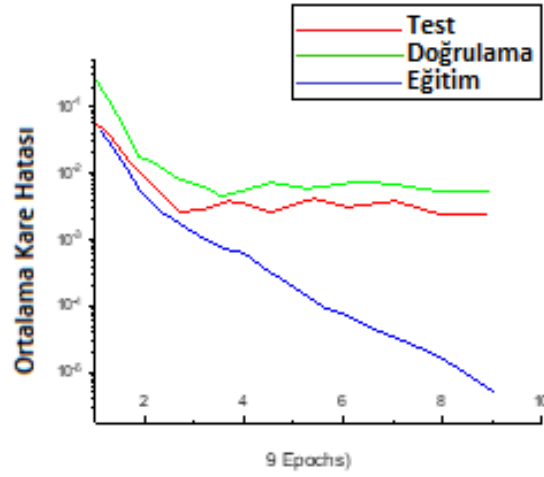
Netice olarak 3-10-1 düzenindeki çok katmanlı (MLP) ağıın kullanılması tercih edilmiştir. Bu ağıın tahminlerinin korelasyon katsayısı 0.977 olup bu değer yüzey pürüzlülüğünün tahmin için yeterli kabul edilmiştir.

Şekil 3.8 te ise ağın performans değerleri ve farklı doğrulama sayılarındaki tepkileri verilmiştir.

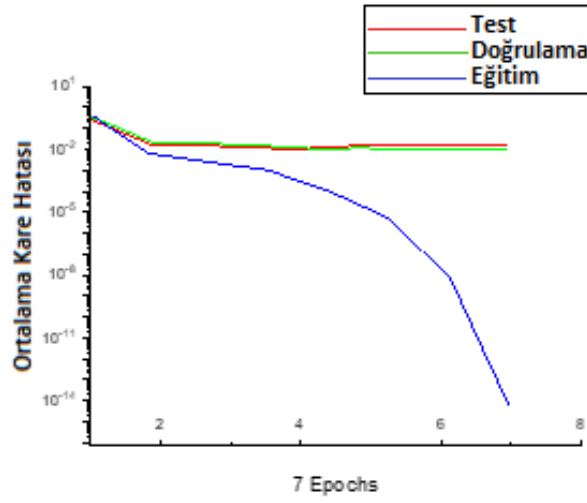


(a)

Şekil 3.8. MLP 3-10-1 türündeki ağın (a) performansı (b) %10 ve (c) %20 doğrulama kümesi kullanıldığındaki ürettiği hatalar



(b)



(c)

Şekil 3.8. (Devam)

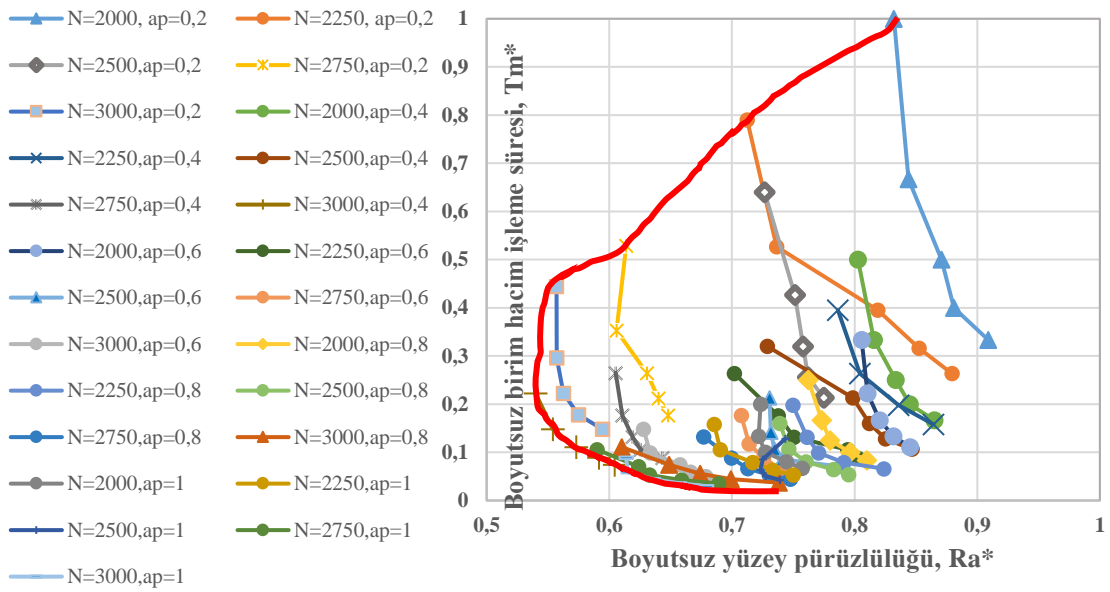
YSA' da verilerinin doğrulanması için %10'luk veri seti kullanıldığında hata değeri % 0.44 (bakınız Şekil 3.8 b) %20'lik veri seti kullanıldığında hata değeri % 5.74'dir (bakınız Şekil 3.8c). Bu durumda hatanın daha az olduğu %10'luk doğrulama setinin kullanılmasına karar verilmiştir.

BÖLÜM IV

4.1 Bulgular

4.2 Pareto Eğrilerinin Belirlenmesi (Stratejinin Üçüncü Adımı)

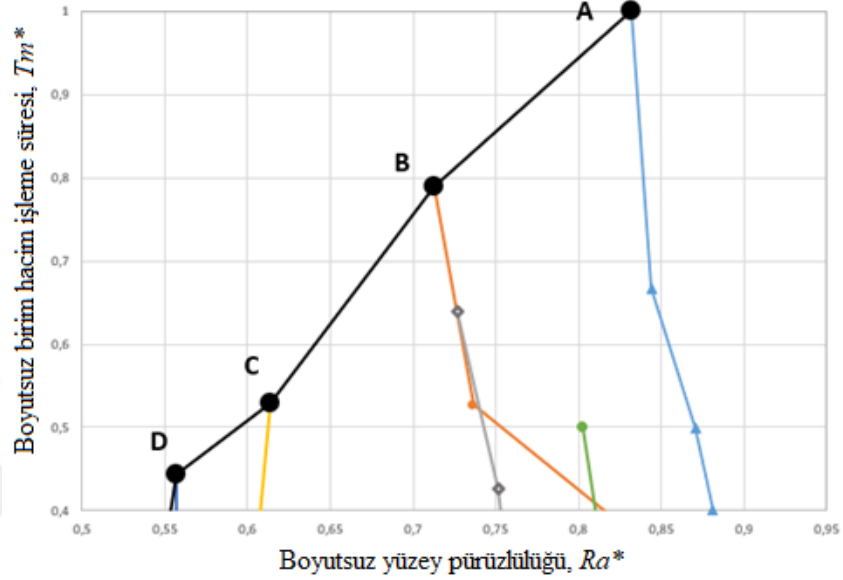
Çizelge 3.3-3.7 de verilmiş olan x_1 , x_2 , x_3 işleme parametreleri için YSA'dan elde edilen Ra^* ve Tm^* değerleri, Pareto sınırlarını göstermek için kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Birim hacim işleme süresi Tm^* ve birim yüzey pürüzlülüğü Ra^* değerlerinin birbirlerine göre değişimi ($v_f = 0,1$ mm/dev)

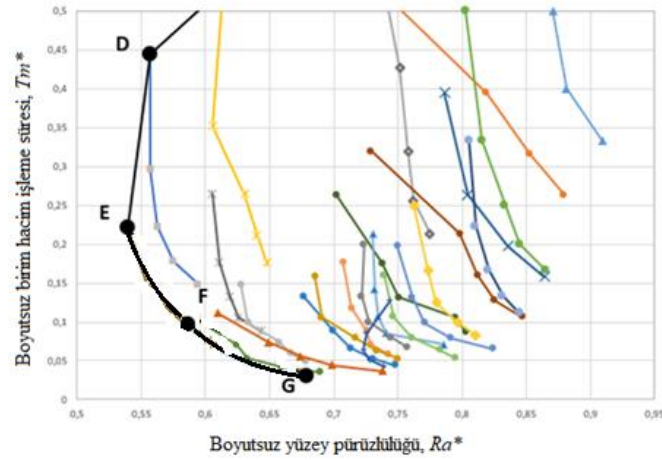
Şekil 4.1'de boyutsuz yüzey pürüzlülüğü ve boyutsuz birim hacim işleme süresi arasındaki ilişkileri gösteren çizgiler görülmektedir. Bu çizgiler çalışmada kullanılan bütün veriler için elde edilmiştir. Örneğin, $n=2000$ rpm, $a_p = 0,2$ mm iken beş farklı ilerleme hızına karşılık beş farklı yüzey pürüzlülüğü ve birim işleme süresi elde edilmiştir. Bunlar da normalleştirme formülleriyle boyutsuz hale getirilerek bu eğriler elde edilmiştir. Metot gereği pareto sınırının çizilmesi pareto eğrilerindeki minimum değerlerin birleştirilmesi ile yapılmaktadır. Grafikteki ilk nokta A ile adlandırılmıştır. AB çizgisi, $n= 2000 \dots 2250$ (rpm), $v_f = 0,1$ (mm/dev), $a_p = 0,2$ (mm); BC çizgisi, $n = 2250 \dots 2750$ (rpm), $v_f = 0,1$ (mm/dev), $a_p = 0,2$ (mm); CD çizgisi, $n = 2750 \dots 3000$ (rpm), $v_f = 0,1$ (mm/dev), $a_p = 0,2$ (mm) olup nokta koordinatları ise A (0,832; 1), B (0,712; 0,790), C (0,614; 0,529), D (0,557; 0,444)'dir.

A, B, C, D noktalarının koordinatları Ra^* ve Tm^* eksenlerinde teker teker belirlendikten sonra noktalar birleştirilerek AB, BC ve CD çizgileri elde edilmiştir. Bu eğri *Pareto sınır eğrisi* olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 4.2. Ra^* ve Tm^* arasındaki ilişkiyi gösteren kesişimler (A-B-C-D)

Şekil 4.2 ve 4.3 de detay görünümü verilen grafiklerde 7 adet nokta; $A \rightarrow$ nokta 1, $B \rightarrow$ nokta 2, $C \rightarrow$ nokta 3, $D \rightarrow$ nokta 4, $E \rightarrow$ nokta 5, $F \rightarrow$ nokta 6, $G \rightarrow$ nokta 7, şeklinde adlandırılmıştır. Pareto sınırını oluşturmak için çok önemli olan bu noktaların koordinatları, $E (0,540; 0,222)$, $F (0,590; 0,106)$, $G (0,679; 0,030)$ ' dir.



Şekil 4.3. Ra^* ve Tm^* arasındaki ilişkiyi gösteren kesişimler (D-E-F-G)

Çizelge 4.1’de ardışık noktaların birleştirilmesiyle elde edilen çizgilere ait olan v_f , n ve a_p değerleri verilmiştir.

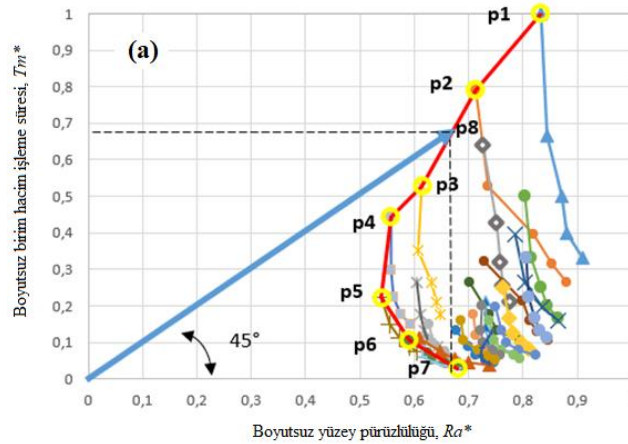
Çizelge 4.1. Pareto sınır analizi çizgileri

	Çizgi 1	Çizgi 2	Çizgi 3	Çizgi 4
	Nokta 1 - Nokta 2	Nokta 2 - Nokta 3	Nokta 3 - Nokta 4	Nokta 4 - Nokta 5
v_f (mm / dev)	0,1	0,1	0,1	0,1
n (rpm)	2000...2250	2250...2750	2750...3000	3000
a_p (mm)	0,2	0,2	0,2	0,2...0,4

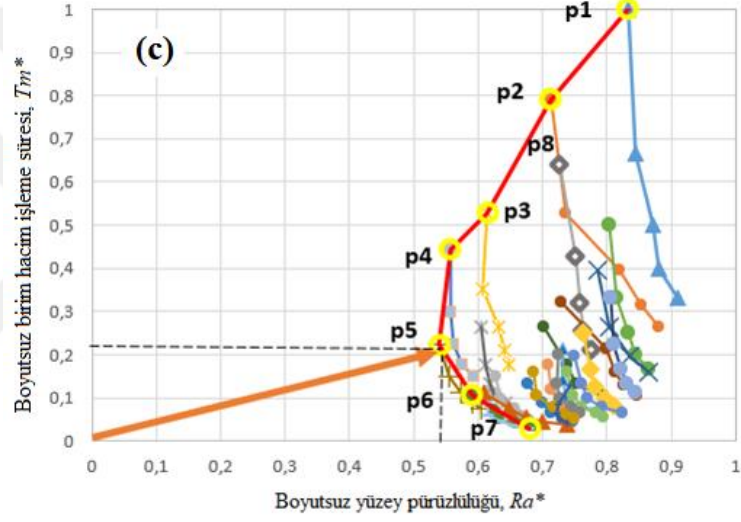
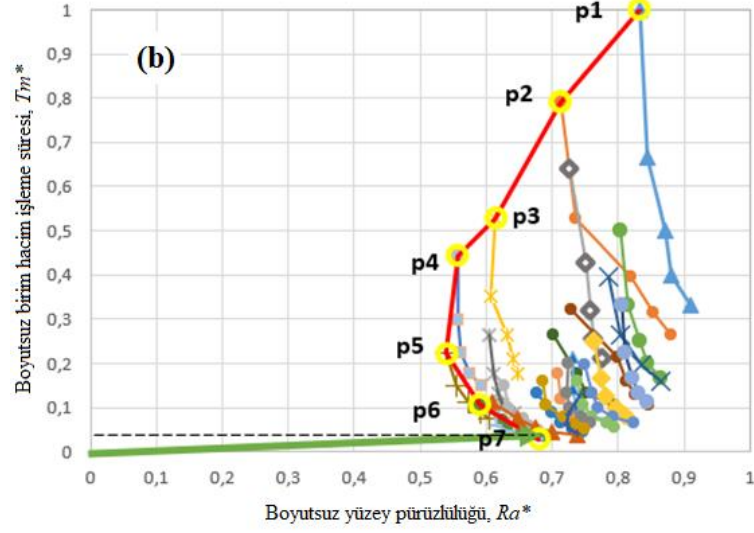
	Çizgi 5	Çizgi 6
	Nokta 5 - Nokta 6	Nokta 6 - Nokta 7
v_f (mm / dev)	0,1	0,1
n (rpm)	3000...2750	2750...3000
a_p (mm)	0,4...1	1

4.3 Pareto Sınırının Belirlenmesi (Stratejinin Dördüncü Adımı)

Birim hacim işleme zamanı, talaş kaldırma işleminde maliyet ve harcanan güç hesaplamaları yapılırken doğrudan kullanılan bir parametredir. Yüzey pürüzlülüğü ise ürün kalitesini etkileyen bir parametredir. Şekil 4.4'a da görüldüğü gibi 45°'lik mavi çizgi ile daha önceden çizilmiş olan Pareto eğrisi kestirilmiştir. Böylece global optima belirlenmiştir.



Şekil 4.4. Boyutsuz parametreler için pareto sınırı a) global optima b) yerel optima (işleme süresini minimum yapan parametre) c) yerel optima (yüzey pürüzlülüğünü minimum yapan parametre)



Şekil 4.4. (Devam)

4.4 Optimum Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi (Stratejinin Beşinci Adımı)

Algoritmanın son aşamasında, optimum değerler belirlenmiştir. Bu aşamada Pareto sınır çizgisi ve stratejinin ikinci adımında tespit edilmiş olan YSA tornalama modelleri kullanılmıştır. Şekil 4.4a'da mavi çizgi ile çizilen bir vektörün bitiş noktasının koordinatları (0,68;0,68) olup nokta 8 olarak isimlendirilmiştir. İşte bu nokta **global optima** olup, Denklem 3.1, 3.2 ve YSA' dan elde edilen modeller kullanılarak karşılık gelen değerleri Global optima noktasının Edgeworth-Pareto yöntemi ile bulunmuş değerleri aşağıdaki gibi tespit edilmiştir.

$Tm = 0,090$ (dk/cm³), $Ra = 0,617$ (μm), $n = 2750$ (rpm), $a_p = 0,2$ (mm) ve $v_f = 0,15$ (mm/dev).

YSA yöntemi ile bulunmuş değerleri,

$Tm = 0,090$ (dk/cm³), $Ra = 0,617$ (μm), $n = 2728$ (rpm), $a_p = 0,26$ (mm) ve $v_f = 0,14$ (mm/dev).

Edgeworth-Pareto yöntemi ile bulunan nokta Çizelge 3.3 kullanılarak Ra^* ve Tm^* değerlerine karşılık gelen parametrelerin tespiti yapılmıştır.

Pareto eğrileri arasında, yüzey pürüzlülüğü değerini göz ardı ederek, işleme süresini minimum yapan parametreler tespit etmek üzere Şekil 4.4b'de yeşil çizgi ile bir vektör çizilmiştir. Bu vektörün Pareto sınırının 7 inci noktasını kestiği görülecektir. 7. nokta yüzey pürüzlülüğünün (yatay eksendeki değer) en fazla fakat işleme süresinin en kısa olduğu noktadır. Bunun nedeni de talaş kalınlığının ve ilerleme hızının çalışmada kullanılan en yüksek değerler olmasıdır. Buradan yüzey pürüzlülüğünün; talaş kalınlığı ve ilerleme hızı ile arasında ters bir orantı olduğu açıkça görülmektedir. Fakat birim hacim işleme süresi doğal olarak bu parametrelerde en kısadır. Çünkü daha fazla talaş kaldırılmakta ve daha hızlı ilerleme yapılmaktadır. Pareto sınırının 7. noktasına karşılık gelen Ra^* ve Tm^* sırasıyla (0,679, 0,030) olmuştur. Bu durumda Denklem 3.1, 3.2 ve YSA' dan elde edilen modeller kullanılarak yerel optima ve karşılık gelen kesme parametreleri aşağıdaki gibi tespit edilmiştir. İşleme süresini minimum yapan yerel optima noktasının Edgeworth-Pareto yöntemi ile bulunmuş değerleri,

$Tm = 0,004$ (dk/cm³), $Ra = 0,616$ (μm), $n = 3000$ (rpm), $a_p = 1,0$ (mm), $v_f = 0,3$ (mm/dev).

YSA yöntemi ile bulunmuş değerleri,

$Tm = 0,004$ (dk/cm³), $Ra = 0,616$ (μm), $n = 2946$ (rpm), $a_p = 1,1$ (mm), $v_f = 0,27$ (mm/dev).

Edgeworth-Pareto yöntemi ile bulunan nokta Çizelge 3.7 kullanılarak Ra^* ve Tm^* değerlerine karşılık gelen parametrelerin tespiti yapılmıştır. Burada sınır çizgilerinden 7 numaralı noktanın parametreleri işleme süresini minimum yapan değerlerdir. Bu durumda, $Ra^* 0,679$ ve $Tm^*=0,030$ olup aralarında 22.6 kat fark oluşmaktadır. Nokta 8

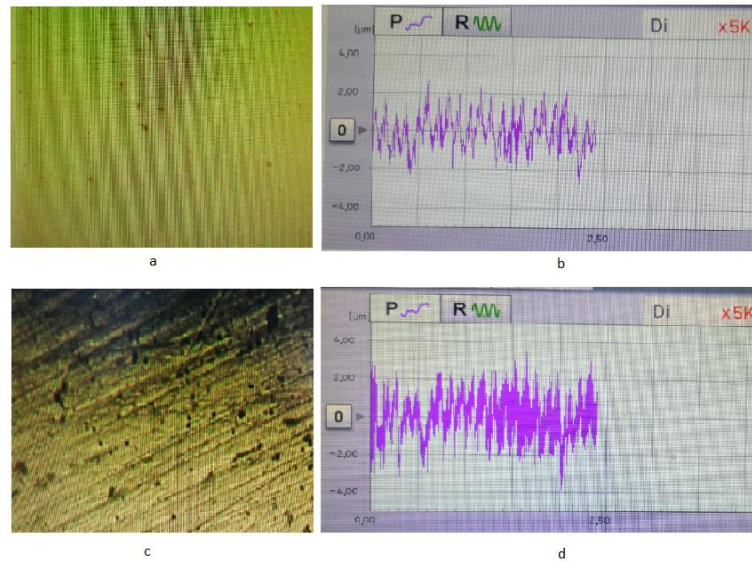
ve nokta 7 kıyaslandığında Pareto'ya göre geçerli tercih $y_7 \triangleright Y y_8$ ve $x_7 \triangleright X x_8$ olacaktır. Sonuç olarak, seçilen nokta Şekil 4.4-b de yeşil vektörün ucu ile gösterilen P7 noktasıdır. Yüzey pürüzlülük değerinin minimum yapıldığı değerlerin tespit edilmesi için Şekil 4.4-c deki turuncu vektör çizilmiş ve Pareto sınır çizgisi üzerindeki P5 noktası tespit edilmiştir. P5 noktasına karşılık gelen Ra^* ve Tm^* sırasıyla (0,540, 0,222) dir. Aralarında 2,43 kat fark vardır. Yüzey pürüzlülük değerini minimum yapan yerel optima noktasının Edgeworth-Pareto yöntemi ile bulunmuş değerleri,

$$Tm = 0,030 \text{ (dk/cm}^3\text{)}, Ra = 0,490 \text{ (}\mu\text{m)}, n = 3000 \text{ (rpm)}, a_p = 0,4 \text{ (mm)}, v_f = 0,1 \text{ (mm/dev)}.$$

YSA yöntemi ile bulunmuş değerleri,

$$Tm = 0,030 \text{ (dk/cm}^3\text{)}, Ra = 0,490 \text{ (}\mu\text{m)}, n = 2952 \text{ (rpm)}, a_p = 0,33 \text{ (mm)}, v_f = 0,12 \text{ (mm/dev)}.$$

Edgeworth-Pareto yöntemi ile bulunan nokta için Çizelge 3.4 kullanılarak Ra^* ve Tm^* değerlerine karşılık gelen parametrelerin tespiti yapılmıştır. Burada sınır çizgilerinden P5 noktasının parametreleri yüzey pürüzlülük değerini minimum yapan değerlerdir. Şekil 4.5 te yukarıdaki koşullarda yapılan işlemeye ait yüzey fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 4.5. Global optimum işleme parametreleri kullanıldığında elde edilen (a) nokta 5 için yüzey mikrofotografı (b) nokta 5 için yüzey profili (c) nokta 7 için yüzey mikrofotografı (d) nokta 7 için yüzey profili

Şekil 4.5a ve b, nokta 5 koşullarında ($Tm = 0,03$ (dk/cm³), $Ra = 0,490$ (µm), $n = 3000$ (rpm), $a_p = 0,4$ (mm), $v_f = 0,1$ (mm/dev)) karşılık gelen işlenmiş yüzeyin profilini göstermektedir ve Şekil 4.5c, d yerel optimum (nokta 7) için aynı sonuçları göstermektedir ($Tm = 0,006$ (dk/cm³), $Ra = 0,616$ (µm), $n = 3000$ (rpm), $a_p = 1$ (mm), $v_f = 0,3$ (mm/dev)).

4.5 Pareto Eğrisi İçin Tornalama İşleminin Maliyetinin ve Gücünün Hesaplanması

İşleme maliyetinin hesaplanması için dört adet bileşen vardır (Groover, 2016).

1. Parça ele alma süresinin maliyeti: Operatörün parçayı yüklerken ve boşaltırken geçen sürenin maliyetidir. Parça ele alma süresinin maliyeti = $C_0 \times T_h$ olup, burada, C_0 operatör ve tezgâhın birim süredeki maliyeti ($C_0 = 3,1$ \$/dk (0,1 \$ operatör maliyeti, 3 \$ makine maliyeti)), T_h ise parçayı ele alma (taşıma) süresidir ($T_h = \frac{1}{3} dk$).
2. İşleme süresinin maliyeti: İşlemede takımın parça üzerinde kesme yaparak talaş üretirken geçen sürenin maliyetidir. İşleme süresinin maliyeti = $C_0 \times T_m$ olup burada T_m ise takımın parça üzerine temas ederek bizzat işleme yaptığı süredir (Nokta 5 için $T_m = 1,5 dk$, Nokta 7 için $T_m = 1 dk$, Nokta 8 için $T_m = 1,2 dk$).
3. Takım değiştirme süresi maliyeti: Takım değiştirme süresi maliyeti = $\frac{C_0 \times T_t}{n_p}$ formülü ile bulunmuş olup, burada T_t takım değiştirme süresi ($T_t = 5 dk$) ve n_p ise bir takımın ömründe kesilen parça sayısıdır. Nokta 5 için $n_p = 750 adet$, Nokta 7 için $n_p = 700 adet$, Nokta 8 için $n_p = 800 adet$.
4. Takım maliyeti: Takım değiştirme süresine ek olarak, takımın kendi maliyeti toplam işlem maliyetine eklenmelidir. Bu maliyet kesme kenarı başına düşen maliyetin C_t kesme kenarı ile kesilen parça sayısına n_p bölümü ile elde edilmektedir. Dolayısıyla parça başına takım maliyeti = C_t/n_p olarak elde edilmektedir. Çalışmada tek kullanımlık takma uçlar kullanılmıştır. Bunun maliyeti $C_t = P_t/n_e$ olup burada, C_t kesici kenar başına maliyet, P_t takma ucun fiyatı ($P_t = 15$ \$), n_e uç başına kesici kenar sayısıdır ($n_e = 4 kenar$).

Dört maliyet bileşeninin toplamı işleme çevriminde birim ürüne düşen toplam maliyeti C_c Denklem (3.4) ile hesaplanmaktadır.

$$C_c = C_0 x T_h + C_0 x T_m + \frac{C_0 x T_t}{n_p} + \frac{C_t}{n_p} \quad (3.4)$$

Bu denklemde, Nokta 5, 7 ve 8 için hesaplanmış olduğumuz sayısal değerleri yazalım.

$$\text{Nokta 5 için } C_c = 3,1 x \frac{1}{3} + 3,1 x 1,5 + \frac{3,1 x 5}{750} + \frac{15}{4 x 750} = 5,709 \$$$

$$\text{Nokta 7 için } C_c = 3,1 x \frac{1}{3} + 3,1 x 1 + \frac{3,1 x 5}{700} + \frac{15}{4 x 700} = 4,160 \$$$

$$\text{Nokta 8 için } C_c = 3,1 x \frac{1}{3} + 3,1 x 1,2 + \frac{3,1 x 5}{800} + \frac{15}{4 x 800} = 4,77 \$$$

olarak hesaplanacaktır. Şimdi de kesme gücü gereksinimini hesaplayalım. Takım üreticisi Sandvik, tornalama yönteminde kesme gücünün (kW) hesaplanması için Denklem (3.5) formülünü sunmaktadır (Sandvik, 2020).

$$P_c = (a_p x v_c x v_f x K_c) / (60 x 10^3) \quad (3.5)$$

Burada, a_p talaş kalınlığı, v_c kesme hızı, v_f ilerleme hızı, K_c spesifik kesim gücüdür. K_c 'yi veren tablo, Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.2. K_c Spesifik kesim gücü referans tablosu (Keyence, 2020)

İş parçası malzemesi	Çekme mukavemeti (MPa) ve stiffness	Her ilerleme için spesifik kesme kuvveti, K_c (MPa)				
		0.1 (mm/diş)	0.2 (mm/diş)	0.3 (mm/diş)	0.4 (mm/diş)	0.6 (mm/diş)
Krom-manganlı çelik (Manganez karbür (MnC), vb.)	630	2750	2300	2060	1800	1780

Bu denkleme, Nokta 5, 7 ve 8 için hesaplanmış olduğumuz sayısal değerleri yazalım.

$$\text{Nokta 5 için } P_c = \frac{0,4 x 200 x 0,1 x 1800}{60 x 10^3} = 0,240 kW$$

$$\text{Nokta 7 için } P_c = \frac{1 \times 150 \times 0,3 \times 1350}{60 \times 10^3} = 1,013 \text{ kW}$$

$$\text{Nokta 8 için } P_c = \frac{0,2 \times 259 \times 0,15 \times 2300}{60 \times 10^3} = 0,298 \text{ kW}$$

Tornalama işleminin maliyeti ve kesme gücü, nokta 5'den nokta 7'ye hesaplandığında C_c 5,709 \$'dan 4,160 \$'a düştü ve P_c 0,240 kW'tan 1,013 kW'a çıktı. Global optimum için ise (nokta 8) $C_c = 4,77$ \$, $P_c = 0,298$ kW şeklindedir. Nokta 5' deki yerel optimum değeri ile global optimum (nokta 8), kıyaslandığında P_c 1,24 kat artarken işleme maliyeti %20 azalmıştır. Nokta 7' deki yerel optimum değeri ile global optimum (nokta 8), kıyaslandığında P_c 3,39 kat azalırken işleme maliyeti %15 artmıştır. Yapılan hesaplamalar tablo halinde Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Optimum noktadaki değerlerin kıyaslaması

	Global optima (Nokta 8)	İşleme süresi min yerel optima (Nokta 7)	Yüzey pürüzlülük değeri min yerel optima (Nokta 5)
Ra (μm)	0,617	0,616	0,490
Tm (dk/cm^3)	0,009	0,004	0,03
Cc (\$)	4,77	4,16	5,709
Pc (kW)	0,298	1,013	0,240

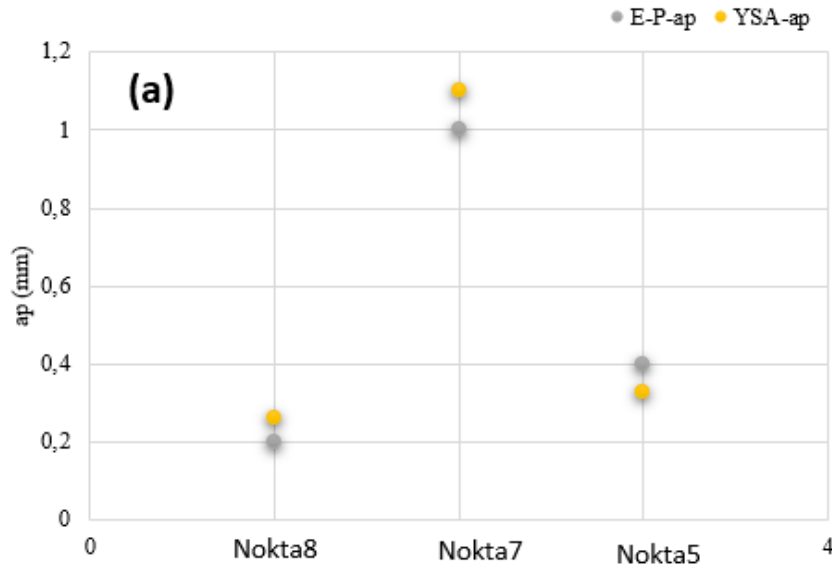
BÖLÜM V

5.1. Tartışma

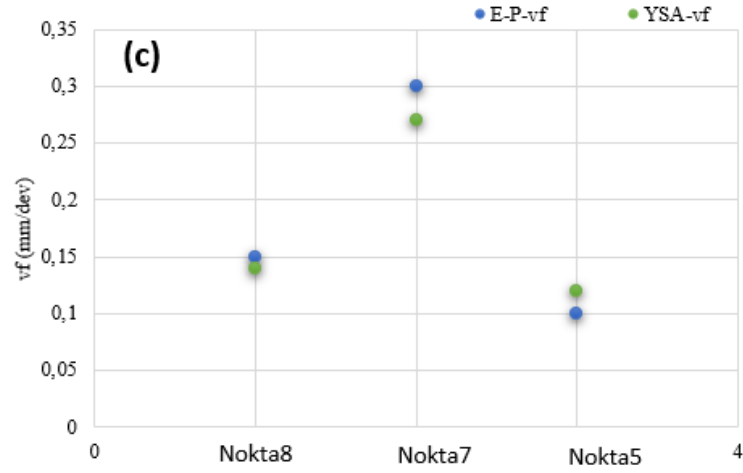
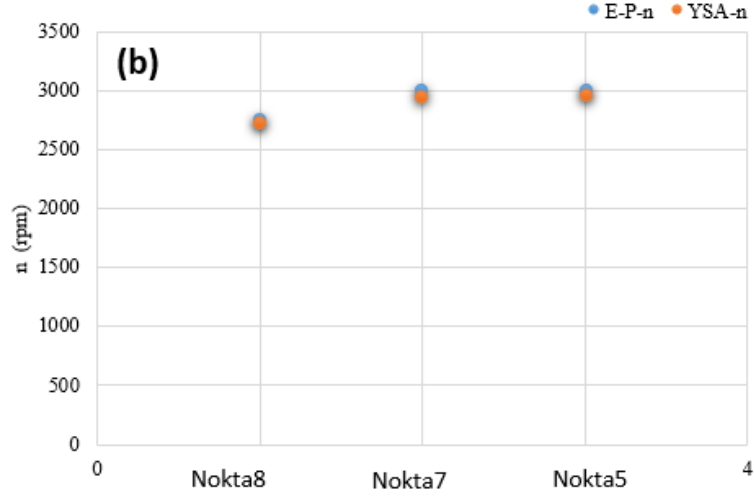
Pareto eğrisinin ve vektör koordinatlarının kesin değerleri, özelleştirilmiş bir YSA algoritması kullanılarak Matlab©'da otomatik olarak elde edilmiştir. Tahmin vektörü f , optimizasyon kriteri olarak işleme süresinin minimizasyonunda $Ra^* / Tm^* = 22.7$ ve yüzey pürüzlülüğünün minimizasyonunda 2,45 oranı ile seçilmiştir. Böylece minimum işleme süresi ve minimum yüzey pürüzlülük değerlerini verecek işleme parametreleri (n iş mili hızı, v_f besleme hızı, a_p talaş kalınlığı) tespit edilmiş oldu.

Deneyler, TiN kaplamalı kesici uç (DNMG 110408) ve kater kullanılarak gerçekleştirildi. Bu nedenle sonuçlar, farklı takımlar ve takım tezgâhı ayarları için analizler tekrar edilmelidir.

Farklı kesici takım kullanılması hali için optimum değerlerin tespit edilebilmesi için daha fazla analiz yapılmalıdır. Edgeworth-Pareto ve YSA'dan elde edilen kesme parametreleri Şekil 5.1 a-b-c'de kıyaslanmıştır.



Şekil 5.1. Global kesme parametrelerinin Edgeworth-Pareto ve YSA tahminleri (a) İş mili hızı Edgeworth-Pareto ve YSA tahmin kıyaslaması, (b) Talaş kalınlığı Edgeworth-Pareto ve YSA tahmin kıyaslaması, (c) İlerleme hızı Edgeworth-Pareto ve YSA tahmin kıyaslaması



Şekil 5.1. (Devam)

Şekil 5.1 de yapılan kıyaslamalardan görüleceği üzere Edgeworth-Pareto metodu ve YSA metodunun yaptığı kesme parametresi tahminlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Nokta 7 için tahmin aralıkları diğerlerine göre daha fazladır. Bunun nedeni YSA'nın tahmin metodunda bir sınırlama olmamasından kaynaklanmaktadır. Örneğin nokta 7 için ilerleme hızı deneysel olarak 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 ve 1 mm/dk şeklinde beş grupta ölçülmesine rağmen YSA'da 0,2-1 mm/dk şeklinde bir aralık içerisinde tahmin ettiği için deneysel gruplarda olmayan ara değerler de YSA tarafından tahmin edilebilmektedir. Edgeworth-Pareto metodunda ise bölümlene tablosu kullanıldığı için ve bu bölümlene tablosu da deneysel gruplamalara göre olduğu için Edgeworth-Pareto

metodunun tahmin değerleri deneysel noktalara isabet etmektedir. Bu da her iki metodun arasındaki farkı göstermektedir.

Abbas vd. (2019) ve Abbas vd. (2017) bulduğu farklı yüzey pürüzlülük değerlerine karşılık gelen kesme parametreleri ve yüzey pürüzlülük değeri ile uyumludur.

İşleme süresinin minimum olduğu yerde maliyetin az ve gücün fazla, yüzey pürüzlülük değerinin minimum olduğu yerde ise maliyetin fazla ve gücün az olduğu görülmüştür. Her ikisinin optimum olduğu değer ise beklendiği üzere aradadır. Abbas vd., (2019) ve Abbas vd. (2017) global optima için bulunan değerlerin, yerel optimaların arasında olduğu görülmüştür.

Kesme parametrelerinden besleme hızı ve talaş kalınlığının artmasının yüzey pürüzlülüğünü kötü yönde etkilediği tespit edilmiştir. İş mili hızının artması ise yüzey pürüzlülük değerini iyi yönde etkilemektedir. Bu durum Patel vd. (2014), Davim vd. (2008) ve Neşeli vd., (2009) bulguları ile uyumludur.

YSA ve Edgeworth-Pareto ile yapılan analizler sonucunda tespit edilen kesme parametreleri ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülük değeri ve işleme zamanlarının, amaca göre kullanılması için farklı optima çözümleri çalışmada sunulmuştur. Örneğin yüzey pürüzlülük değerinin önemli olmadığı fakat işleme süresinin çok önemli olduğu projelerde yerel optima (nokta 7) parametreleri kullanılır. Aynı şekilde yüzey pürüzlülük değerinin çok önemli olduğu fakat işleme süresinin kıyasla ihmal edilebileceği projelerde yerel optima (nokta 5) parametreleri kullanılır. Her ikisinin de birbirine kıyasla önemli olduğu projelerde ise global optima (nokta 8) parametreleri kullanılır. Maliyet ve zamanın çok önemli olduğu üretim alanında bu gibi doğrudan kullanılabilen çözümler sürdürülebilir rekabet için çok önemli hale gelmiştir. Çalışmamız da bu yönüyle firmaların rekabetine, gelişimine ve sürdürülebilirliğine hizmet etmektedir.

BÖLÜM VI

6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, ıslah çeliği olan 41Cr4 için CNC tornalama işleminde kesme parametrelerinin optimizasyonu, yapay sinir ağları ve Edgeworth-Pareto yöntemine dayalı olarak sunulmuştur. Sonuçta da yüzey pürüzlülük değerleri ve işleme süresinin optimum değerleri tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda tespit edilmiş olan temel çıkarımlardan öne çıkanları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Yüzey pürüzlülüğü Ra ve işleme süresi Tm MLP 3-10-1 topolojisinde bir ağ kullanılarak tahmin edilmiştir. 41Cr4 çelik iş parçasının tornalanması için global optimum işleme parametrelerinin Edgeworth-Pareto yöntemi ile bulunmuş değerleri, $Tm = 0,090$ (dk/cm³), $Ra = 0,617$ (μm), $n = 2750$ (rpm), $a_p = 0,2$ (mm) ve $v_f = 0,15$ (mm/dev) dir. YSA yöntemi ile bulunmuş değerleri, $Tm = 0,090$ (dk/cm³), $Ra = 0,617$ (μm), $n = 2728$ (rpm), $a_p = 0,26$ (mm) ve $v_f = 0,14$ (mm/dev) dir. Bu parametrelerde $Ra = 0,617$ (μm) ve birim hacim işleme süresi $Tm = 0,090$ (dk/cm³) değerlerine yol açmıştır.
- 41Cr4 çelik iş parçasının tornalanması için işleme süresini minimum yapan yerel optimumun (nokta 7) işleme parametrelerinin Edgeworth-Pareto yöntemi ile bulunmuş değerleri, $Tm = 0,004$ (dk/cm³), $Ra = 0,616$ (μm), $n = 3000$ (rpm), $a_p = 1,0$ (mm), $v_f = 0,3$ (mm/dev) dir. YSA yöntemi ile bulunmuş değerleri, $Tm = 0,004$ (dk/cm³), $Ra = 0,616$ (μm), $n = 2946$ (rpm), $a_p = 1,1$ (mm), $v_f = 0,27$ (mm/dev) dir. Bu durumda yüzey pürüzlülüğü $Ra = 0,616$ (μm) ve birim hacim işleme süresi $Tm = 0,004$ (dk/cm³) olmaktadır. Bu koşullar altında harcanan kesme gücü 1,013 kW ve işleme maliyeti 4,16 \$ olup global optima ile kıyaslandığında güçte 3,39 katlık artma maliyet te ise %15 lik azalma olmuştur. Global optimum ile (nokta 8) karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğü Ra 1.001 kat arttı, fakat işleme süresi Tm 2,25 kat azalarak iyileşmiştir.

- 41Cr4 çelik iş parçasının tornalanması için yüzey pürüzlülük değerini minimum yapan yerel optimumun (nokta 5) işleme parametrelerinin Edgeworth-Pareto yöntemi ile bulunmuş değerleri, Edgeworth-Pareto yöntemi ile bulunmuş değerleri, $Tm = 0,03$ (dk/cm³), $Ra = 0,490$ (µm), $n = 3000$ (rpm), $a_p = 0,4$ (mm), $v_f = 0,1$ (mm/dev) dir. YSA yöntemi ile bulunmuş değerleri, $Tm = 0,03$ (dk/cm³), $Ra = 0,490$ (µm), $n = 2952$ (rpm), $a_p = 0,33$ (mm), $v_f = 0,12$ (mm/dev) dir. Bu durumda yüzey pürüzlülüğü $Ra = 0,490$ (µm) ve birim hacim işleme süresi $Tm = 0,03$ (dk/cm³) olmaktadır. Bu koşullar altında harcanan kesme gücü 0,24 kW ve işleme maliyeti 5,709 \$ olup global optima ile kıyaslandığında güçte 1,24 katlık azalma maliyet te ise %20 lik artma olmuştur. Global optimum ile (nokta 8) karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğü Ra %20 azalarak iyileşmiş, fakat işleme süresi Tm 3,3 kat artmıştır.
- 41Cr4 ıslah çeliğinden iş parçasının tornalanması işleminde, kesme parametrelerinden besleme hızı ve talaş kalınlığının artması yüzey pürüzlülüğünü kötü yönde etkileyerek pürüzlülüğü artırmaktadır. İş mili hızının artması ise yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilemektedir.
- EP ve YSA metotları en iyiyi seçme tekniği olarak farklı yöntemler kullanmakla birlikte tahminlerinde birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. EP metodu tekniği gereği bölümlene tablosundaki deneysel noktaları kullanmakta YSA ise doğası gereği alt, üst sınır içerisindeki bir aralığın kullanmaktadır. Çalışmada bir adet kesme modeli oluşturulmuş olup eğer her farklı kesme parametresi için bir YSA modeli kurulmuş olsaydı bu fark ortadan kalkardı. Ancak bu çalışmanın amacı tek bir yapay sinir ağı eğiterek tüm kesme işlemini modelleyebilmektir.

6.2 Müteakip Çalışmalar ve Öneriler

Mevcut çalışma sayesinde, CNC tornalama işleminde en iyi yüzey kalitesi ve en hızlı kesme zamanının gerçekleşmesi için kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Bir uygulama olarak 41Cr4 (AISI/SAE 5140) ıslah çeliği üzerinde deneyler yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

Buradan yola çıkarak farklı malzemeler, farklı takım-tezgâh ekipmanı için daha geniş çapta çalışmalar yapılarak çalışmanın yaygınlaştırılması mümkündür. Ayrıca elde edilen sonuçlar ile bir veri havuzu oluşturularak istenilen yüzey kalitesine uygun olarak en hızlı işlemin yapılacağı kesme parametrelerini otomatik olarak hesaplayan bir uygulama yapılabilmesi mümkündür. Böylece her firma kendine özgü malzemesi ve ekipmanı ile birlikte kesme parametrelerini standart hale getirerek ciddi kazançlar elde edebilmektedir



KAYNAKLAR

Abbas, A.T., Pimenov, D.Y., Erdakov, I.N., Mikolajczyk, T., Danaf, E. and Taha M., “Minimization of turning time for high-strength steel with a given surface roughness using the Edgeworth–Pareto optimization method”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93, 2375–2392, 2017.

Abbas, A.T., Pimenov, D.Y., Erdakov, I. N., Mikolajczyk, T., Soliman, M.S. and Rayes, M.M., “Optimization of cutting conditions using artificial neural networks and the Edgeworth-Pareto method for CNC face-milling operations on high-strength grade-H steel”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105, 2151–2165, 2019.

Akkaya, D., “Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlar”, *Docplayer*, 1-71, 2017.

Arslan, H., “Tornalama işlemleri”, Hamit Arslan kişisel sayfa, <http://www.hamitarslan.com/tornalama-islemleri.html>, 15 Mayıs 2021.

ASTM, Standard test methods of tension testing wrought and cast aluminum-and magnesium-alloy products, *ASTM International*, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, 2002.

Bircanoğlu, C. ve Arıca, N., “Yapay sinir ağlarında aktivasyon fonksiyonlarının karşılaştırılması”, *26th IEEE Signal Processing and Communications Applications*, İzmir, Turkey, 1-37, May 2-5, 2018.

Çavuşlu, M.A., Becerikli, Y. ve Karakuzu, C., “Levenberg-Marquardt algoritması ile YSA eğitiminin donanımsal gerçekleşmesi”, *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 5(1), 41-47, 2012.

Davim, J.P., Gaitonde, V.N. an Karnik, S. R., “Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models”, *Journal of Materials Processing Technology*, 205(1–3), 16-23, 2008.

Groover, P.M., Modern İmalatın Prensipleri, 4. Basımdan çeviri, **Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık**, Ankara, 474-587, 2016.

Iqbal, A., He, N., Li, L. and Nu, D., “A fuzzy expert system for optimizing parameters and predicting performance measures in hard-milling process”. *Expert Syst Appl*, 32(4), 1020–1027, 2017.

Keskenler, E.F., ve Keskenler M.F., “Geçmişten günümüze yapay sinir ağları ve tarihçesi”, *Takvim-i Vekayi*, 5(2), 2017.

Keyence©, “Cutting formules”, Machining Formule Collection, <https://www.keyence.com/ss/products/measure-sys/machining/formula/cutting.jsp>, 16 Ocak 2020.

Küçükkoç, İ., “Optimizasyon Teknikleri Ders Notları”, *Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*, Balıkesir, 9-277, 2020.

Matlab© v7.10.0 (R2010a). Natick, Massachusetts, The MathWorks Inc, Copyright (C) 1992-2010.

Milli Eğitim Bakanlığı, Temel Tornalama İşlemleri-1, *Makine Teknolojisi*, Ankara, 62-64, 2014.

Noghin, D.V., “The Edgeworth-Pareto Principle in Decision Making” *Saint Petersburg State University* , Russia, 2-31, 2006.

Özbey, A., Makine ve Teçhizat 1, *İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi*, 9-10, 2021.

Patel, R.D., Oza, N.V. and Bhavsar, S.N., “Prediction of surface roughness in CNC milling machine by controlling machining parameters using ANN” *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 3(4), 353-359, 2014.

Pekel, E., and Kara S.S., “A comprehensive review for artificial neural network application to public transportation”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 35 (1), 157-179, 2017.

Sandvik C., “Genel tornalama formülleri ve tanımları”, İşlemeyle ilgili formüller ve tanımlar, <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/general-turning.aspx>, 09 Şubat 2021.

Sangwan, K.S., Saxena, S., and Kant, G., “Optimization of machining parameters to minimize surface roughness using integrated ANN-GA approach”, *The 22nd CIRP conference on Life Cycle Engineering*, 29, 305 – 310, 2015.

Sevindirir, M.K., Mühendislik Sistemlerinin Optimizasyonu, *Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü*, 2018.

Sharma, S., “Activation Functions in Neural Networks”, Towards data science, <https://towardsdatascience.com/activation-functions-neural-networks-1cbd9f8d91d6>, 23. Ekim 2017.

Sonel, E., “Optimizasyon nedir?”, Kişisel web sayfası, <https://www.ceyrekmuhendis.com/optimizasyon-nedir/>, 2019.

Tezmaksan Akademi, “Kesme hızı ve ilerleme”, Eğitimler, <https://tezmaksanakademi.com/kesme-hizi-ve-ilerleme>, 30. Ağustos 2020.

Tofaş Akademi, “Talaşlı üretim”, Üretim Direktörlüğü, Versiyon 2016-1.1, *Tofaş Akademi Üretim Direktörlüğü*, Bursa, 2-135, 2016.

Yaldız, S., “Talaşlı İmalat Usulleri”, *Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi*, 1-1-114, Konya, 2020.

Yazıcı, C. A., Ögüş, E., Ankaralı, S., Canan, S., Ankaralı, H. ve Akkuş, Z., “Yapay sinir ağlarına genel bakış”, *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi*, 65-71, 2007.

Zain, A.M., Haron, H., Qasem, S. N. and Sharif S., “Regression and ANN models for estimating minimum value of machining performance”, *Applied Mathematical Modelling*, 36,1477–1492, 2011.

Zain, A. M., Haron, H. and Sharif S., “Application of regression and ANN techniques for modeling of the surface roughness in end milling machining process”, *Third Asia International Conference on Modelling & Simulation*, Bandung, Bali, Indonesia, 25-29 May 2009.

Zain, A., M., Haron, H. and Sharif S., “Estimation of the minimum machining performance in the abrasive waterjet machining using integrated ANN-SA” *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8316-8326, 2011.

Zain, A. M., Haron, H. and Sharif, S., “Integrated ANN–GA for estimating the minimum value for machining performance”, *International Journal of Production Research*, 50, 17-28, 2011.

Zain, A., M., Haron, H. and Sharif, S., “Prediction of surface roughness in the end milling machining using Artificial Neural Network” *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1755-1768, 2010.

ÖZ GEÇMİŞ

Mert ARSLAN tarihinde’te doğdu. İlk, ortaokulu ve liseyi’da tamamladı. 2017 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği programını tamamlayarak, yine aynı yıl Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansına başladı. Aralık 2017 ve Mart 2020 tarihleri arasında Ditaş Yedek Parça ve İmalat Sanayi A.Ş. de üretim mühendisi olarak çalışmaya başladı. Nisan 2020’den beri Nurol Teknoloji Sanayi ve Madencilik A.Ş’de çalışma hayatına devam etmektedir.

