



**KÜRESELLEŞTİRME ISIL İŐLMELERİ UYGULANAN ORTA KARBONLU
ÇELİKLERİN İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİNİN
BELİRLENEMESİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

ŞEHMUS BADAY

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2015

Şehmus BADAY tarafından hazırlanan “KÜRESELLEŞTİRME ISIL İŞLEMLERİ UYGULANAN ORTA KARBONLU ÇELİKLERİN İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE YAPAY SINIR AĞLARI İLE MODELLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hüdayim BAŞAK

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan: Prof. Dr. Faruk MENDİ

Makine Resmi ve Konstrüksiyonu Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Prof. Dr. Kürşad DÜNDAR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Atılım Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Doç. Dr. Ahmet GÜRAL

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Yrd. Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 26/02/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Şehmus BADAY

26/02/2015

KÜRESELLEŞTİRME ISIL İŞLEMLERİ UYGULANAN ORTA KARBONLU
ÇELİKLERİN İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ

(Doktora Tezi)

Şehmus BADAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2015

ÖZET

Bu çalışmada, orta karbonlu çeliğe farklı küreselleştirme ısıtma işlem çevrimleri uygulanarak elde edilen mikroyapı farklılıklarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır ve Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modellenmiştir. Bu amaçla bir grup AISI 1050 malzemeye A_{c1} sıcaklığının altında 700°C 'de 12 saat klasik yöntemle sementit fazları küreselleştirilmiştir. Diğer grup malzemeye 850°C 'de 15 dakika östenitleme işleminin ardından su verme işlemi uygulanmış ve daha sonra ayrı ayrı 500 , 600 ve 700°C 'de $0,25$, 1 ve 3 saat süre ile ısıtma işlemleri uygulanarak mikroyapıları küreselleştirilmiştir. İşlenebilirlik parametrelerinin belirlenmesi için işlemeli ve işlemez deneyler yapılmıştır. İşlemez deneyler olarak mikroyapı ve sertlik ölçümleri ve işlemeli deneyler olarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük deneyleri yapılmıştır. İşlemeli deneylerde, kesme parametreleri beş farklı kesme hızı (150 , 175 , 200 , 225 , 250 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı ($0,16 - 0,25 - 0,4$ mm/dev) ve iki farklı kesme derinliği ($1,6$ ve $2,5$ mm) şeklinde ISO 3685 göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bütün kesme şartlarında, kesme derinliği ve ilerleme değeri arttığında genel olarak yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte yüzey bütünlüğünün iyileştiği görülmüştür. Deneylerde en iyi yüzey pürüzlülüğünün, kesme hızı 150 m/dak, ilerleme $0,16$ mm/dev ve kesme derinliği $2,5$ mm değerlerinde 600°C 'de $0,25$ saat küreselleştirilen numunede, en kötü yüzey pürüzlülüğü ise kesme hızı 150 m/dak, ilerleme $0,4$ mm/dev ve kesme derinliği $2,5$ mm değerlerinde ısıtma işlem görmemiş iş parçasından elde edilmiştir. YSA ağ yapısı olarak ileri beslemeli geri yayımlı ağ modeli ve transfer fonksiyonları SIGMOID ve PURELINE transfer fonksiyonları seçilmiştir. Giriş ve çıkış parametrelerine bağlı olarak eğitilen ağın sonucu $0,99852$ regresyon değeri bulunmuştur. Gerçekleştirilen YSA modeli kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü tahmini işleminde güvenle kullanılabileceği görülmüştür.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Küreselleştirme Isıl İşlemi, İşlenebilirlik, Mikroyapı,
Orta Karbonlu Çelik, Yapay Sinir Ağları
Sayfa Adedi : 127
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Hüdayim BAŞAK

DETERMINATION OF MACHINABILITY PARAMETERS ON MEDIUM CARBON
STEELS VIA SPHERODIZING HEAT TREATMENT APPLICATION AND
MODELLING BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

(Ph. D. Thesis)

Şehmus BADAY

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2014

ABSTRACT

In this study, the effects of microstructure differences obtained with the application of different spheroidising heat treatment cycles on medium carbon steel on cutting forces and surface roughness values were investigated and also modeling by Artificial Neural Network (ANN). For this purpose a group of AISI 1050 materials were annealed at 700°C below A_{c1} temperature for 720 minutes and cementite phases were spheroidised with the traditional method. Another group of materials were quenched after austenition at 850 °C for 15 minutes and then cementite was spheroidised in ferrite matrix with heat treatment separately at 500, 600 and 700 °C for 0,25, 1 and 3 hour. During experimental investigation, spherodizing heat treatment applied on workpiece microstructure changed, unmachined workpieces are analyzed by microstructure test and hardness test. Machining, cutting parameters were determined by using five levels of cutting speeds (150, 175, 200, 225, 250 m/min), three levels of feed rates (0,16 - 0,25 – 0,4 mm/rev) and two levels of depth of cuts (1,6 - 2,5 mm) by respecting ISO 3685. Generally at all cutting states, due to increasing cut depth and feed rate the surface roughness get worse whereas when cutting speed are increased, surface roughness get well. During the experiments, the best surface roughness was obtained by cutting speed 150 m/min, feed rate 0,16 mm/rev and depth of cut 2,5 mm to 600 °C tempering temperature workpiece for 15 minutes, the worst surface roughness was obtained by cutting speed 150 m/min, feed rate 0,4 mm/rev and depth of cut 2,5 mm to nontempering workpiece. ANN structure which is feed forward and back proportion and transfer function was chosen SIGMOID and PURELIN. Regarding input and output parameter of the training network is found 0,99852 correlation rate. ANN model is reliable for cutting forces and surface roughness estimation.

Science Code : 708.3.028
Key Words : Spherodization Heat Treatment, Machinability
Microstructure, Medium Carbon Steel, Artificial Neural Network
Page Number : 127
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Hüdayim BAŞAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli görüş ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Hüdayim BAŞAK'a saygı ve şükranlarımı sunarım. Isıl işlemler konusundaki deneyimlerini bana aktaran hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet GÜRAL'a teşekkür ederim.

Değerli bilgilerinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. Faruk MENDİ'e, Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, kesme deneylerinin yapılmasında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı Başkanlığına ve Metalografik Çalışmalar için de Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Bölümü Malzeme Bilimi Eğitimi Anabilim Dalı başkanlığına teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarımda emeği geçen arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ'e, Öğr. Gör. Yunus AÇCI'a, Arş. Gör. Abdulkadir AYANOĞLU'na, Öğr. Gör. Fatih MEYDANERİ'e, Arş. Gör. Gültekin UZUN'a, Zihni DEMİRKAYA ve Erkan GÖK'e teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca her türlü yardımını esirgemeyen ve beni sürekli olarak destekleyen sevgili eşim Leyla BADAY'a ve hayatımıza yeni bir renk katan sevgili oğlum Asil BADAY'a teşekkür ederim. Bu günlere gelmemde maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli ve kıymetli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	7
2.1. Literatür Araştırmasına Giriş	7
2.2. Küreselleştirme Isıl İşlemi ve İşlenebilirlik İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	7
2.3. Değer Taminiinde Kullanılan Optimizasyon Programları.....	16
2.4. Literatür Çalışmalarının Değerlendirilmesi	22
3. KURAMSAL BİLGİLER	23
3.1. Kesme Kuvvetleri	23
3.2. Yüzey Pürüzlülüğü	24
3.3. İşlenebilirlik ve İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler.....	25
3.3.1. İşlenebilirlik.....	25
3.3.2. İşlenebilirliğin ölçülmesi	26
3.4. Çelikte İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler	27
3.5. Isıl İşlem ve Mikroyapının Etkisi	34
3.5.1. İşlenebilirlik amaçlı genel ısıt işlemler.....	35
3.5.2. Isıl işlem (mikroyapı) – işlenebilirlik ilişkisi	37

	Sayfa
3.6. Yapay Sinir Ağları	38
3.6.1. Biyolojik nöron yapısı	39
3.6.2. Yapay sinir hücresi (Proses elemanı)	41
3.6.3. YSA'ların sınıflandırılması	44
4. MATERYAL VE METOT	51
4.1. İş Parçası Malzemesi	51
4.2. Uygulanan Küreselleştirme Isıl İşlemler	51
4.3. Mikroyapıların Açığa Çıkartılması.....	53
4.4. Mikroyapı analizi.....	53
4.5. Sertliklerin belirlenmesi.....	53
4.6. Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülük Deneyleri.....	54
4.6.1. Kesici takım seçimi ve takım tutucusu	55
4.6.2. Takım tezgahı	56
4.6.3. Kesme parametrelerinin belirlenmesi ve deneylerin yapılışı	56
4.6.4. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi	57
4.6.5. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi	58
4.7. Kullanılan YSA Programı Ve Oluşturulması	59
4.7.1. YSA modelinin seçimi.....	59
4.7.2. YSA' nın modellenmesinde kullanılan transfer fonksiyonu	61
4.7.3. Ağ modelinin oluşturulması	62
4.7.4. Ağ modelinin eğitilmesi	64
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	65
5.1. Mikroyapı	65
5.2. Sertlik Değerleri.....	74

	Sayfa
5.3. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi	76
5.4. Mikroyapının Yapının Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkisi	90
5.6. Talaş Sıvanması	97
5.7. YSA Modelinin Performansı	98
5.8. YSA Ağ Modelinin Eğitim Durumu	99
5.9. Test İşlemi	100
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR	115
ÖZGEÇMİŞ	127

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3. 1. İşlenebilirliği etkileyen temel malzeme özellikleri	32
Çizelge 3. 2. Malzeme özelliklerinin artan değerinin genel işlenebilirlik üzerine etkileri.....	32
Çizelge 3. 3. Sinir sistemi ile YSA'nın benzerlikleri.....	40
Çizelge 3. 4. YSA toplama fonksiyonları	42
Çizelge 3. 5. YSA aktivasyon fonksiyonları	44
Çizelge 5. 1. Sertlik ölçümleri	75
Çizelge 5. 2. Esas kesme kuvvetleri değerleri	77
Çizelge 5. 3. İlerleme kuvvetlerinin değerleri	78
Çizelge 5. 4. Pasif kuvvetlerin değerleri.....	79
Çizelge 5. 5. Yüzey pürüzlülük değerleri..	92
Çizelge 5. 6. Esas kesme kuvvetleri değerleri ve YSA Tahminleri.....	102
Çizelge 5. 7. İlerleme kuvvetlerinin değerleri ve YSA Tahminleri.....	104
Çizelge 5. 8. Pasif kuvvetlerin değerleri ve YSA Tahminleri	106
Çizelge 5. 9. Yüzey pürüzlülük değerleri ve YSA Tahminleri.....	108

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Kesme kuvvetlerinin torna tezgâhı için yorumlanması	24
Şekil 3.2. Yüzey pürüzlülüğü hesaplanmasının geometrik gösterimi	25
Şekil 3.3. Malzemelerin temel mekanik özelliklerinin karbon muhtevası ile değişimi: A-Çekme dayanımı, B-Sertlik, C-Darbe Dayanımı, D- Yüzde uzaması	28
Şekil 3.4. Çekme dayanımı (TS)'ye karşılık, sertlik (HB) ve süneklikteki (D) değişimi	29
Şekil 3.5. Isıl iletkenlik (TC) ile işlenebilirlik değeri (M) arasındaki ilişkisi; 1- Alüminyum, 2 - Alaşımsız çelik, 3- Alaşımlı çelik, 4- Paslanmaz çelik, 5- HSTR alaşımlar	30
Şekil 3.6. Sade karbonlu çeliklerin genel ısıt işlemleri için kullanılan sıcaklık aralıkları	36
Şekil 3.7. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi	39
Şekil 3.8. Biyolojik hücrenin bilgi alışverişi	40
Şekil 3.9. Yapay sinir hücresi	41
Şekil 3.10. Sigmoid transfer fonksiyonu.....	43
Şekil 3.11. İleri beslemeli YSA yapısı.....	45
Şekil 3.12. Geri beslemeli YSA yapısı	46
Şekil 3.13. Çok katmanlı bir perseptron sinir ağı modeli	47
Şekil 4. 1. İşlenebilirlik test numunesi.....	51
Şekil 4. 2. Kesici takım ve kaplama özelliği.....	55
Şekil 4. 3. Takım tutucu ve boyutları.....	56
Şekil 4. 4. Kesme şartlarının sınırları.....	57
Şekil 4. 5. Kistler 9257B tipi dinamometre ile zaman bağlı ölçülen kesme kuvvetleri	58
Şekil 4. 6. Transfer fonksiyonları	61
Şekil 4. 7. Sigmoid transfer fonksiyonu.....	62

Şekil	Sayfa
Şekil 4. 8. Oluşturulan YSA ağ modeli.....	63
Şekil 4. 9. Ağ modelinin oluşturulması	63
Şekil 4. 10. Ağ modeli	64
Şekil 4. 11. Ağ modeli eğitim araç kutusu.....	64
Şekil 5. 1. Sertlik değişimi	75
Şekil 5. 2. 2,5 mm kesme derinliği, 0,16 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri.....	80
Şekil 5. 3. 2,5 mm kesme derinliği, 0,25 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri.....	81
Şekil 5. 4. 2,5 mm kesme derinliği, 0,16 mm/dev ilerleme ve 175 m/dak kesme hızında 600T1 talaşının SEM görüntüleri.....	82
Şekil 5. 5. 2,5 mm kesme derinliği, 0,16 mm/dev ilerleme ve 200 m/dak kesme hızında 600T1 talaşının SEM görüntüleri.....	83
Şekil 5. 6. 2,5 mm kesme derinliği, 0,25 mm/dev ilerleme ve 175 m/dak kesme hızında 700T1 talaşının SEM görüntüleri.....	83
Şekil 5. 7. 2,5 mm kesme derinliği, 0,25 mm/dev ilerleme ve 200 m/dak kesme hızında 700T1 talaşının SEM görüntüleri.....	84
Şekil 5. 8. 2,5 mm kesme derinliği, 0,40 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri.....	85
Şekil 5. 9. 2,5 mm kesme derinliği, 0,40 mm/dev ilerleme ve 200 m/dak kesme hızında 700S12 talaşının SEM görüntüleri	86
Şekil 5. 10. 2,5 mm kesme derinliği, 0,40 mm/dev ilerleme ve 225 m/dak kesme hızında 700S12 talaşının SEM görüntüleri	87
Şekil 5. 11. 1,6 mm kesme derinliği, 0,16 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri.....	88
Şekil 5. 12. 1,6 mm kesme derinliği, 0,25 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri.....	89
Şekil 5. 13. 1,6 mm kesme derinliği, 0,40 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri.....	89

Şekil	Sayfa
Şekil 5. 14. 1,6 mm talaş derinliği ve 0,16 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri.....	93
Şekil 5. 15. 1,6 mm talaş derinliği ve 0,25 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri.....	93
Şekil 5. 16. 1,6 mm talaş derinliği ve 0,40 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri.....	94
Şekil 5. 17. 2,5 mm talaş derinliği ve 0,16 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri.....	94
Şekil 5. 18. 2,5 mm talaş derinliği ve 0,25 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri.....	95
Şekil 5. 19. 2,5 mm talaş derinliği ve 0,40 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri.....	95
Şekil 5. 19. 2,5 mm talaş derinliği ve 0,40 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri.....	95
Şekil 5. 21. Uçlardaki talaş sıvanması SEM görüntüleri a) 0,16 mm/dev ilerleme b) 0,25 mm/dev ilerleme c) 0,4 mm/dev ilerleme.....	98
Şekil 5. 22. YSA ağ modeli performansı	99
Şekil 5. 23. Ağın eğitim durumu.....	100
Şekil 5. 24. Deney sonuçları ve YSA tahmini değer sonuçlarının karşılaştırılması	101

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4. 1. Mikroyapıların görüntülendiği Taramalı Elektron Mikroskop.....	54
Resim 4. 2. Sertlik cihazı	54
Resim 4. 3. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı	59
Resim 5. 1. AISI 1050 malzemesinin orjinal mikroyapısı.....	65
Resim 5. 2. 500 °C’de küreselleştirme işlemi gerçekleştirilen parçaların SEM cihazından alınan mikroyapılar a) 500T0,25 b) 500T1 c) 500T3	66
Resim 5. 3. 600 °C’de küreselleştirme işlemi gerçekleştirilen parçaların SEM cihazından alınan mikroyapılar a) 600T0,25 b) 600T1 c) 600T3	68
Resim 5. 4. 700 °C’de küreselleştirme işlemi gerçekleştirilen parçaların SEM cihazından alınan mikroyapılar a) 700T0,25 b) 700T1 c) 700T3	70
Resim 5. 5. Klasik küreselleştirme ısıtma işlemine gerçekleştirilen iş parçasının SEM görüntüsü.....	71
Resim 5. 6. 600 °C’de temperlenmiş numunenin küresel sementit çaplarının SEM görüntüleri a) 600T0,25 b) 600T1 c) 600T3	72
Resim 5. 7. 700 °C temperlenmiş numunenin küreselleşen sementit çapları SEM görüntüleri a) 700T0,25 b) 700T1	73
Resim 5. 8. 700 °C ısıtma işlem görmüş numunelerin küreselleşme çapları SEM görüntüleri a) 700T3 b) 700S12	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Ağırlıklar
a	Talaş derinliği (mm)
a'	Çıkan talaş kalınlığı (mm)
f	İlerleme (mm/dev)
F _c	Esas kesme kuvveti (N)
F _f	İlerleme kuvveti (N)
F _p	Pasif kuvveti (N)
G	Girdiler
i, j	Nöron katman sayısı
k	Artma faktörünü
n	Bir hücreye gelen toplam girdi
η	Öğrenme katsayısı
r _ε	Kesici takım burun yarıçapını (mm)
R _a	Yüzey pürüzlülüğünü (μm)
t ₀	Deforme olmamış talaş kalınlığı (mm)
t _c	Deforme olmuş talaş kalınlığı (mm)
l _s	Kayma düzlemi uzunluğu (mm)
V	Kesme hızı (m/dak)
w	İş parçası genişliği (mm)
α	Talaş açısı (°)
φ	Kayma düzlemi açısı (°)
φ	Azaltma faktörünü

Kısaltmalar	Açıklama
AISI	American Iron Steel Institute (Amerika Demir Çelik Enstitüsü)
ANN	Artificial Neural Network (Yapay sinir ağları)
BUE	Built-up Edge (Talaş Yapışması veya Sıvanması)
CNC	Computer Numeric Control (Bilgisayar Sayısal Denetim)
CVD	Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)
ÇKP	Çok Katmanlı Perseptron
D	Ductility (Süneklik)
HV	Hardness Vickers (Vickers Sertlik)
HB	Hardness Brinel (Brinel Sertlik)
LVQ	Learning Vector Quantization (Nicemleme Öğrenme Vektörü)
M	Machinability (İşlenebilirlik)
NET	Proses Elemanına Gelen Net Girdiler
SAE	Otomotiv Mühendisler Topluluğu
SEM	Scanning Electron Microscopy (Tarama Elektron Mikroskobu)
TC	Thermal Conductivity (Isıl İletkenlik)
TS	Tensile Strength (Çekme Dayanımı)
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Günümüz endüstriyel malzemeleri arasında geniş bir kullanım alanına sahip olan çelikler yüksek mekanik özellikler, üretim kolaylığı ve şekillendirilebilirlik gibi özellikler göz önüne alındığında imalat açısından oldukça uygun bir malzeme olarak kullanımları dikkat çekmektedir [1]. Çeliklerin mekanik özellikleri önemli ölçüde çeliğin mikroyapısındaki farklılıklardan etkilenmektedir. Bu mikroyapılar ise çeşitli yöntemler ile olduğu gibi ısıl işlemlerle de değiştirilebilir [2]. Çeliklere uygulanan küreselleştirme ısıl işlemleri çeliği işleyen kesici takımın ömrünü artırılabilir ve işleme maliyetlerini azaltabilir [3].

Orta ve yüksek karbonlu çeliklerin işlenebilirliği ve şekillendirilebilirlikleri içerdikleri lamelli sementit fazlarından dolayı oldukça zor ve maliyeti artırmaktadır. Bu nedenle Ac_1 (ötektoid dönüşüm) sıcaklıkları civarında uzun süreli tavlama yapılarak gerçekleşen küreselleştirme ısıl işlemiyle süneklikleri, darbe toklukları, yorulma özellikleri önemli oranda geliştirilebilir [2]. Diğer taraftan sementit fazlarının küreselleştirilmesi için martenzit fazının yüksek sıcaklıkta aşırı temperlenmesiyle sağlanabilir [15,16]. Bunun sebebi temperleme sıcaklığı arttıkça, dengesiz martenzit çıta sınırlarında çok sayıda potansiyel çekirdeklenme sağlanacaktır [13]. 400 °C ile 650 °C arasında yapılan temperleme ısıl işleminde sementit (Fe_3C) parçacıkları daha düşük serbest enerjiye sahip olduğundan küresel biçimli olarak oluşur ve dengeye gelinceye kadar büyür. Bu işlem sonucunda çeliğin çekme dayanımı biraz düşer, sünekliği artar ve en önemlisi, çeliğin tokluğu ve işlenebilirliği hızlı bir şekilde artırılabilir. Sıcaklık değeri 650 ile 700 °C arasında uygulanan temperleme işlemi sonucunda ise sade karbonlu çeliklerde kısmen iri ve küresel sementit parçalar oluşur [17]. Birçok araştırmacı tarafından küreselleştirme ısıl işlemi uygulanan çeliğin mikroyapısı, yüksek sıcaklıklarda temperlenmiş martenzitin mikroyapısı ile benzerlik gösterdiği sonucuna varılmıştır [4-14].

Küreselleştirme işlemi gören numunenin mikroyapısındaki sementitler tam olarak küre şekline benzememektedir. Bu şekillerin bazıları kısa çubuklar ve bazıları da çokgene benzemekte ve bazıları ise hala bir birinden kopmamış uzun çubuklar şeklindedir. Sıcaklık değerleri 400 °C ve 605 °C’de temperlenen martenzitin mikroyapısında sementitler ise küre şekline daha yakındır [14]. Ayrıca kararsız mikroyapıya sahip beynit ve martenzit

Çelikler, kaba ve ince perlitik mikroyapıdaki çeliklere göre daha kısa sürede mikroyapıları kreselleşmektedir [18].

Temperleme ısııl işlemleri martenzit fazdaki çeliğe uygulandıktan sonra en uygun mukavemet, sertlik ve tokluk gibi özellikleri bir arada bulundurur [1, 19-21]. Temperleme sıcaklığı artıka, malzemenin sertliği ile çekme ve akma dayanım değerleri düşer, süneklik ve çentik darbe tokluğu gibi değerleri de artar. Su verilmiş ve temperlenmiş martenzitik çeliklerin mekanik özelliklerinin geniş aralıka değişimi, tasarımcılara büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Tasarımcı, pek çok orta karbonlu ve düşük alaşımlı çelikten seçim yapabilir [2]. Temperlenmiş elikler imalat sektöründe, çeşitli otomobil parçaları olan dişliler, akslar ve direksiyon kolları üretimden yaygın olarak kullanılmaktadırlar [22-24].

İşlenebilirliğin, standardize edilmiş bazı özelliklere göre tanımlanması oldukça güçtür. “İşlenebilirlik, genellikle iş parçası malzemesinin kesici bir takım ile istenilen biçime getirilmesindeki işlenebilme yeteneği olarak tanımlanır” [25]. Bir baēka tanıma göre ise “talaşlı işlenebilirlik, bir malzemenin bitmiş bir ürün haline getirilmesi esnasında malzemeden talaş kaldırma kolaylığı ya da zorluğu olarak tanımlanmaktadır” [26]. Bununla beraber işlenebilirlik genel bir terimdir ve takım ömrünün uzunluğu, kesme işlemini yapmak için gerekli olan g, belirli bir miktardaki bir malzemeyi işleme maliyeti ya da elde edilen yüzey şartları gibi faktörlerle de belirtilmektedir [27]. İşlenebilirlik testleri, talaş kaldırılan malzemenin direncini göstermekte ve sonuçlar malzemenin kimyasal bileşimi, sertliği, çekme mukavemeti, tane büyüklüğü, mikroyapısı, ısııl işlemleri, işleme sertleşmesi karakteristikleri ve malzemenin boyutlarından etkilenmektedir [26-28]. Kullanılan kesici takımın kesici kenar özellikleri, takım bağlama biçimi, kullanılan takım tezgahı, işleme yöntemi ve işleme şartları da önemli etkilere sahiptir [26].

Malzemenin işlenebilirliği, talaş oluşumu, takım aşınması, bitirme yüzey kalitesi ve kesme kuvvetleri gibi işleme özellikleri ile tespit edilir [29]. Açıkçası iyi veya kötü işlenebilirlik şeklinde değerlendirme sübjektiftir ve göz önünde bulundurulana en önemli kıstasa bağlıdır. Bu yüzden bir malzemenin işlenebilirliği, onun üretim işlemlerine ve uygulanan ısııl işlemlere göre tanımlanır [28].

İşlenebilirliği belirlemede en önemli parametrelerinden biri olan kesme kuvvetleri, ferrit ve perlit fazların tane boyutu büyüklüğüne ve ayrıca farklı çeliklerdeki faz oranlarının

değişimine de bağlıdır [38]. Ötektoid üstü çeliklerde perlit ve sementit ağı biçimli mikroyapı sebebi ile işlenebilirlik azalır. Sementitin sertliği ve kırılganlığından dolayı kesici takım sementit plakalarını kesemez ve plakaları kırmak zorunda kalır. Bu durumda, takım sürekli şok yüklemelere maruz kalır ve düzensiz bitirme yüzeyleri oluşur [39]. Yumuşak bir matriste sert ikincil fazlı (ferritik+perlitik çelikler) mikroyapı içeren çeliklerin bazı türleri, yumuşak tek fazlı çeliklerden daha iyi işlenebilirliğe sahiptir. Dahası ferritik+beynitik veya ferritik+martenzitik mikroyapı, düşük kesme hızında yapışık talaş oluşumu bakımından, yüksek kesme hızında ise talaş kırılabilirliği bakımından işlenebilirlikte daha iyi sonuçlar verir [40].

Çeliğin mikroyapısında bulunan fazlar malzemenin işlenebilirlik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Küreselleşmiş perlitik yapı, lamelli perlitik yapıya göre daha iyi işlenebilirlik sonuçları vermektedir [41]. Orta karbonlu çeliklerde, karışık bir mikroyapıya sahip yani küreselleştirilmiş perlitik ve kaba perlitik mikroyapı sahip mikroyapının, ince lamelli perlitik mikroyapıdan daha iyi işlenebilirlik sonuçları elde edilebilir. Tamamen küreselleşmiş ve tam tavlanmış mikroyapıdaki çelik, hiçbir ısıl işlem görmemiş mikroyapıya sahip numunelerden daha iyi işlenebilirlik değerlerine sahiptir [42].

Çelikte sertliği artıran temel element karbondur. Karbon miktarındaki değişme iş parçasının işlenebilirliğinin de değişmesine sebep olur. Ötektoid altı çeliklerde sementit (Fe_3C) çeliğin sünekliğini azaltır. Arttırılan sertlikle, süneklikteki azalmaya rağmen işlenebilirlikte iyileşme sağlanır. Yumuşak çelikteki düşük işlenebilirlik, talaş kaldırma sırasında önemli bir deformasyona izin veren metalin sünekliğinden kaynaklanır. Bu deformasyon için aşırı güç tüketimi gereklidir ve yüksek derecede sıcaklık artışı olur [30]. İyi bir işlenebilirlik için % 0,45 C içeren çelikte, sertlik aralığı 180-200 BHN en uygun sertlik değerleridir [30-32, 43]. Genelde sade karbonlu çeliklerin işlenmesi için 180 Brinell Sertlik Değerindeki (BSD) sertlik yeterlidir. Bu sertliğin altında çeliğin sünekliğinden kaynaklanan kaleme yapışan talaş oluşma eğilimi artar. Kararlı olmayan bir yapışan talaş, talaşın esas yapısından çok daha serttir. Bundan dolayı takımın talaş yüzeyi ile yan yüzeyinde sürtünerek aşınma ve iş parçasının işlenen yüzeyinde bozulmalar oluşturur [30]. Bitirme yüzeyinin pürüzlülüğü ve işlenen parça boyutundaki artış, yapışık talaşın parçaya yapışmasına etkiler. Kesme hızındaki artış ve ilerleme miktarında azalış ile yapışık talaş oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünü de azalmaktadır [44].

Deneysel çalışmaların sayısının ve elde edilen verilerin analitiksel modeller ve istatistiksel analizler gibi yöntemler kullanılarak modelleme işlemi için iş parçasının işlenmesi sırasında en uygun işleme parametrelerini belirlemek gerekir. En uygun işleme parametrelerinin matematiksel modellerinin oluşturulması için birçok program piyasada kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları (YSA), matematiksel modellerin kurulmasında yaygın bir şekilde tercih edilmektedir [45].

YSA imalat sürecinde deneysel sonuçlardan elde edilen kaynak verileri kullanarak ara değer tahminlerinde ve az sayıda deney gerçekleştirerek ileriye doğru tahminlerde bulunmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri giriş verileri olarak alınarak ve bunlara bağlı ortaya çıkan sonuç değerleri de çıktı verileri olarak kabul edilmektedir. YSA, giriş ve sonuç değerlerini farklı ağ yapıları, öğrenme algoritmaları ile eğiterek sonuç değerleri tahmin etmede sıklıkla kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Literatürde birçok araştırmacı YSA yardımı ile takım aşınması [79, 84, 86, 92, 94, 95, 97], yüzey pürüzlülüğü [80, 90, 91], kesme kuvvetleri [79, 95, 97, 98, 107], takım ömrü [99], malzemelerin mekanik özellikleri [103], 2. deformasyon bölgesinde oluşan talaş ve takım arasındaki sıcaklığın tahmini [106], işleme maliyetleri, kalıntı gerilmeleri [108], takımlarda oluşan basma ve çekme gerilmelerini [107], östenitleştirme sıcaklığı [102, 104] vb gibi birçok değer tahmininde kullanmışlardır.

Bu çalışmada, küreselleştirme ısısal işlemi uygulanan orta karbonlu çeliğin işlenebilirlik parametrelerinin belirlenmesi ve yapay sinir ağları ile modellenmesi amaçlanmıştır. Orta karbonlu çeliklerin küreselleştirme tavlamaına tabi tutulması sünekliğin en iyi olmasına sağlar. Çelik içindeki sementitlerin küreselleştirilmesi çeliğin sünekliği, yorulma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin de iyileşmesine neden olur. Küreselleştirme ısısal işlemine tabi tutulan çeliği işleyen takımın ömrü de yaklaşık on kat artırmaktadır [2]. Talaşlı imalat sürecinde işlenecek malzeme için uygun seçilemeyen işleme parametreleri kesicilerin kırılmasına, hızlı aşınması ve deformasyonuna neden olmaktadır. Dolayısı ile kesiciler kısa sürede kullanılmaz hale gelmektedir. Bu durum, iş parçasının ölçü hassasiyetinin ve yüzey kalitesinin bozulmasına ve tezgah boş zamanının artmasına sebep olmaktadır. Bu gibi kayıplardan kaçınmak için malzemenin işlenebilirlik özellikleri önceden iyi tespit edilmelidir [29].

İşlenebilirliğin ölçülmesi için kesin olarak kabul gören genel bir metot veya standart mevcut değildir [29]. Fakat takım ömrü deneyleri ile ilgili standartlar ele alındığında standart işlenebilirlik deneyleri yapılabilir [46]. İşlenebilirlik deneyleri, işlemeli deneyler ve işlemez deneyler olmak üzere iki temel kategoriye ayrılabilir. İşlemeli deneyler; takım ömrü, kesme hızı, kesme kuvvetleri veya güç tüketimi, yüzey kalitesi ve talaş biçimi gibi belirlenen bu kıstaslardan birine veya daha fazlasına göre ölçülebilir. İşlemez deneyler ise kimyasal bileşim deneyi, mikroyapı deneyi ve fiziksel özellik deneyi olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir [47].

Küreselleştirme ısı işlemleri ile ilgili yapılan araştırmaların incelenmesi sonucunda orta karbonlu çeliklere klasik küreselleştirme ısı işlemleri, normalizasyon tavlama gibi farklı ısı işlemleri uygulanarak mikroyapının küreselleştiği görülmüştür. Yapılan araştırmalarda klasik küreselleştirme süresinin düşürülmesi için ideal sıcaklık ve sürenin tam olarak belirtilmediği görülmüştür. Bu çalışma yapılarak küreselleştirme ısı işlemleri için ideal sıcaklık ve sürenin tespit edilerek mikroyapının en kısa sürede küreselleştirilmesi amaçlanmıştır. Küreselleştirme ısı işlemleri sonucu işlenebilirliğin belirlemek için işlemeli ve işlemez deneyler yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri işlemeli deneyler olarak sertlik ve mikroyapıların görüntülenmesi ise işlemez deneyler olarak değerlendirilmiştir. Farklı sıcaklık ve sürelerde mikroyapısı küreselleşen iş parçaları ve klasik küreselleştirme ısı işlemleri sonucu mikroyapısı küreselleşen iş parçalarının kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğünün etkileri ve birbirleriyle olan ilişkileri belirlenmiştir. Ayrıca klasik küreselleştirme ısı işlemleri ve farklı süre ve sıcaklıklarda uygulanan küreselleştirme işlemleri arasındaki mikroyapı farklılıkları da ortaya konulmuştur. Son olarakta kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için işlemeli deneyler sonucunda elde edilen değerler referans alınarak, giriş parametreleri ise kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, ısı işlem sıcaklığı ve süresi olacak şekilde belirlenerek en uygun YSA modeli oluşturulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Literatür Araştırmasına Giriş

Çeliğin mikroyapısında bulunan fazlar malzemenin işlenebilirlik özellikleri üzerinde etkiye sahiptir [41]. Talaş oluşumu, takım aşınması, bitirme yüzey kalitesi ve kesme kuvvetleri gibi işleme özellikleri ile malzemenin işlenebilirliği belirlenebilir [29]. Açıkçası iyi veya kötü işlenebilirlik şeklinde değerlendirme sübjektiftir ve göz önünde bulundurulmuş en önemli parametreye bağlı olarak değişir. Bu yüzden bir malzemenin işlenebilirliği, onun üretim işlemlerine ve uygulanan ısı işlemlere göre tanımlanabilir [28].

İşlenebilirlik deneyleri, işlemeli deneyler ve işlemez deneyler olmak üzere iki temel kategoriye ayrılabilir. İşlemeli deneyler; takım ömrü, kesme hızı, kesme kuvvetleri veya güç tüketimi, yüzey kalitesi ve talaş biçimi belirlenen bu kıstaslardan birine veya daha fazlasına göre ölçülebilir. İşlemez deneyler; kimyasal bileşim deneyi, mikroyapı deneyi ve fiziksel özellik deneyi olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir [47]. Bu bölümde literatürde yapılan işlemeli ve işlemez deneyler incelenmiştir.

2.2. Küreselleştirme Isıl İşlemi ve İşlenebilirlik İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Okushima ve ark., çeliklerin işlenebilirliği adlı çalışmalarında, üç farklı karbon oranı içeren çeliklerin mikroyapısındaki farklı oranlarda bulunan lamelli perlitik yapının takım ömrü ve yüzey pürüzlülük değerlerini nasıl etkilediğini değerlendirmişlerdir. Bu çelikleri küreselleştirme ısı işlemine tabi tutarak, lamelli perlitik mikroyapıyı küresel mikroyapıya dönüştürmüşlerdir. Elde etmiş oldukları küreselleşen perlitik ve lamelli perlitik mikroyapıya sahip çeliklerin işlenebilirliklerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak küreselleşen perlitik mikroyapının lamelli perlitik yapıya göre daha iyi işlenebilirlik sonuçlarını verdiği tespit edilmiştir [41]. Benzer bir çalışma Yanardağ tarafından da yapılmıştır. Yapılan çalışmada orta karbonlu çeliklerin mikroyapısı ve işlenebilirlik karakteristikleri üzerine küreselleştirmenin etkisi ele alınmıştır. Sonuç olarak küreselleştirilmiş perlitik ve kaba perlitik mikroyapının, ince lamelli perlitik mikroyapıdan daha iyi işlenebilirlik sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca tamamen küreselleşmiş ve

tam tavllanmış mikroyapıdaki çelik, hiçbir ısıt işlem görmemiş çelik numunelerden daha iyi işlenebilirlik sonuçları vermiştir [42].

Naylor ve Bellot göre, orta karbonlu alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde tavlama ısıt işlemleri ile oluşturulan lamelli perlitik yapıda en iyi işlenebilirlik sağlamaktadır. Orta karbonlu çelikler, düşük mukavemet sağlayan küresel karburlu veya kaba perlit yapıya göre daha iyi işleme özelliği vermektedir. % 0,6C miktarını geçen çelikler ise tamamen küresel yapıda iyi işlenebilirliğe sahiptirler [31,32].

Araki ve Yamamoto sertlik değerleri farklı, normalize edilmiş, tavllanmış, küreselleştirilmiş ve haddelenmiş durumdaki AISI 4120 çeliğinin farklı kesme şartları altındaki işlenebilirlik davranışları arasındaki ilişkiler araştırmışlardır. Ferritik+beynitik mikroyapıya sahip haddelenmiş numune talaşın atılabilirliği bakımından en iyi işlenebilirliği sergilemiştir. Düşük kesme hızında ferritik+perlitik mikroyapıdaki numuneler ısıt işlem görmemiş ferritik+beynitik numunelerle karşılaştırıldığında genellikle düşük işlenebilirlik göstermiş, ancak yüksek kesme hızı aralıklarında bu fark daha az olmuştur. Ayrıca araştırmacılar, bu çeliklerde ısıt işlem görmemiş perlitik+beynitik yapıdan daha iyi bir işlenebilirliğin elde edilebileceğini rapor etmişlerdir [48].

Stratford ve ark., yapmış oldukları çalışmada; kesme kuvvetleri ferrit ve perlit fazların tane boyutu büyüklüğüne ve ayrıca farklı çeliklerdeki faz oranlarının değişimine de bağlı olduğu sonucuna varmışlardır [38].

Kılıçlı ve ark., deneysel çalışmalarında; tam tavlama, su verme sonrası temperleme ve küreselleştirme ısıt işlemi uygulanmış AISI 4140 çeliğinin yüzey pürüzlülükleri ve talaş atılabilirlik davranışlarını incelenmiştir. Numuneler, talaş derinliği sabit tutularak kuru kesme şartları altında farklı kesme hızı ve ilerleme miktarlarında işlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre, en düşük yüzey pürüzlülüğü daha düşük kesme hızı ve ilerleme miktarlarında su verilmiş ve temperlenmiş numunelerde elde edilmiştir. Küreselleştirilmiş numunelerde küreselleştirme süresinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Numunelerin tamamında, ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Isıt işlemlerin talaş atılabilirlik üzerine belirgin bir etkisi gözlenmez iken tüm kesme hızlarında ve en yüksek ilerleme miktarında daha iyi talaş atılabilirlik gözlenmiştir [49].

Katayama ve Toda, orta karbonlu çeliğin işlenebilirliğini incelemişlerdir. Sonuç olarak yumuşak ferrit fazının sünek kopma ile ayrılması sonucu yüzey pürüzlülüğünün arttığını tespit etmişlerdir [50].

Kılıçlı ve ark., endüstride oldukça yaygın olarak kullanılan 4140 çeliğinde küreselleştirme sıcaklık ve süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelenmiştir. Bu amaçla 4140 çeliğine A_1 sıcaklığının altında ($713\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve üstünde ($745\text{ }^{\circ}\text{C}$) olmak üzere iki farklı küreselleştirme sıcaklığını seçerek 2, 4 ve 8 saat süre ile küreselleştirme ısı işlemi uygulanmıştır. Üç farklı kesme hızı ve ilerleme miktarında kaplamalı karbür uç kullanılarak tornalama testleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, bütün kesme şartlarında artan küreselleştirme sıcaklığı ve süresi ile yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır. Numunelerin tamamında ilerleme hızının artışı ile yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmıştır [51].

Özçatalbaş ve Ercan çalışmalarında SAE 1050 malzemesini tavlama ısı işlemine tabii tutarak perlitik yapıda ve % 10 küresel sementit yapıyı ferrit+perlit artırarak elde etmişlerdir. Bu işlemde kırılgenlik artmış ama takım ömrünün kısılmasını azaltmıştır ve işlenebilirliği daha da kötüleştirmiştir. Normalleştirme ısı işlemi uygulayarak kırılgenlik artarken takım ömrü daha da kısalmıştır [35].

Motorcu, ısı işlemisiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde takım ömrü ve aşınmasının incelenmesini araştırmıştır. Isıl işlemisiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde ana kesme parametreleri ile iş parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Aşınmış uçların tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri incelenerek takım aşınma tipleri belirlenmiştir. Küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin işlenmesinde ise kaplamalı karbür takımlar daha iyi takım ömrü performansı sergilemiştir. Küreselleştirilmiş rulman çeliğinin işlenmesinde genel olarak tüm takımlarda düzenli yanak aşınması oluşmakta iken, ısı işlemisiz rulman çeliğinin işlenmesinde yanak ve krater aşınması anlamlı bir şekilde artmıştır [52].

Tonshoff'un yapmış olduğu çalışmada % 0,45C'lu dövme çelikte normalleştirme işlemi ile ince perlit ve ferrit yapısı oluşturulmuştur. Ferrit miktarı % 60 civarındadır ve sertlik 183 BSD'dir. Aynı çeliğe sürekli soğutma ısı işlemi uygulanarak kaba perlitik yapı, % 35 – 40

ferrit ve 199 BSD elde edilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri sonunda 199 BSD'deki mikroyapı daha uzun takım ömrü elde edilmiştir [33].

Özçatalbaş ve ark., sıcak haddelenmiş Ç 1050 çeliğine uygulanan tam tavlama ve normalleştirme ısıtma işlemleriyle değiştirilen mikroyapı ve mekanik özelliklerin talaş kökü morfolojisi, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Yapılan çalışmada minimum sertliğe sahip tavlama numunenin yığıntı talaş yüksekliği ve çıkıntı uzunluğunda artış belirlenmiş bu ise yüzey pürüzlülüğünün artışına sebep olmuştur. En düşük yüzey pürüzlülüğü normalleştirilmiş numunede elde edilmişlerdir. En düşük kesme hızında maksimum yüzey pürüzlülüğü tam tavlama numunede, minimum yüzey pürüzlülüğü ise normalleştirilmiş numunede elde edilmişlerdir. Artan kesme hızıyla birlikte tüm numunelerde yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir. En yüksek kesme hızında minimum yüzey pürüzlülüğü haddelenmiş numunede elde edilmiştir [53]. Benzer diğer bir çalışmada yine Özçatalbaş, SAE 8620 çeliğinin tornalanmasında talaş oluşum mekanizmasını ve talaş morfolojisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkisini araştırmıştır. Sıcak haddelenmiş çeliğin normalleştirme ve tam tavlama ısıtma işlemleri ile mekanik özellikleri değiştirilmiştir. Kesme hızının artmasıyla yığıntı talaş boyutu azalmış ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir [54].

Güneş ve ark., su verilmiş çeliklerdeki temperleme kademelerinin aşınma davranışına etkisinin araştırılması adlı çalışmalarında; üç farklı karbon oranı içeren AISI 1020, 1040 ve 1050 çeliklerine sırasıyla 890, 850 ve 840 °C'de su verme işleminden sonra 200, 400 ve 600 °C'de her bir numuneye birer saat temperleme işlemine tabii tutup, fırında soğutulmaya bırakmışlardır. Temperleme sıcaklığının artmasıyla içyapıdaki martenzitin temperlenmiş martenzite, troostite ve sorbite dönüşmesi sonucunda çeliklerin sertlik değerlerinde düşme meydana gelirken aşınma hızlarında artış meydana gelmiştir. Temperleme sıcaklığı arttıkça martenzit fazı parçalanmış, karbürler dağılmış, içyapı çok ince taneli hale gelmiştir [55].

Lee ve ark., AISI 4340 yüksek dayanımlı alaşımlı çeliğin su verme ve temperleme işlemi sonucu oluşan mekanik özellik ve mikroyapı özelliklerini araştırmışlardır. Mikroyapı ve mekanik özelliklerin temperleme süresi ve sıcaklık değişimi ile etkilendiği sonucuna varmışlardır. Temperlenmiş martenzitin sertliği ve dayanımı temperleme sıcaklığı ve süresi arttıkça düşmektedir [56]. Benzer bir çalışma Zhang ve ark., tarafından gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak temperleme süresi artıkça iş parçasının sertliğinin azaldığı sonucunu elde etmişlerdir [57]. Daha sonra Karagöz ve ark., yapmış oldukları çalışmada düşük sıcaklıktaki temperlenen çeliklerin yüksek sıcaklıktaki temperlenen çeliğe göre daha yüksek sertlik değerleri verdiği gözlemlenmiştir [1, 58].

Asadabad ve ark., 4.5Cr-2W-0.25V çeliğinin temperleme davranışı adlı çalışmalarında; 600 ve 700 °C’de farklı sürelerde temperlenen iş parçası temperleme süresi, sıcaklığı ve soğutma süresi artması ile malzeme mikroyapısındaki çökelti miktarının da arttığı sonucuna varmışlardır. X ray sonuçlarında mikroyapıda dört farklı karbür; M_3C , M_2C , M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ oluşmuştur. M_3C ve M_2C karbürleri 2 saatlik temperleme sürelerinde gözlemlenmiş, daha uzun sürelerde ise gözlemlenememiştir. M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ daha kararlı yapıda olduğu için diğer karbürler bundan dolayı süre artıkça bu kararlı karbürlere dönüşürler. Soğutma hızı artıkça karbür dönüşme oranı da artmaktadır [59].

Hoseiny ve ark., ön sertleştirilmiş kalıp çeliklere su verme-temperleme ve sürekli soğutma işlemleri sonu oluşan mikroyapıların karşılaştırılması adlı çalışmalarında; su verme-temperleme ısıtma işlemi görmüş malzemenin mikroyapısında çok miktarda M_3C karbür formu gözlemlenmiştir [15]. Benzer bir araştırma Podder ve ark., tarafından yapılmıştır. Martenzitin temperlenmesi sonucunda mikroyapıda karbür oluşumunun meydana geldiğini gözlemlenmiştir. Buna ek olarak artık östenitin ferit yapıya dönüştüğü sonucuna varmışlardır [16]. Benzer bir diğer çalışma ise Kiani-Rashid ve ark., CK45 çeliğinin grafitleşmesi üzerine tavlama sıcaklığının etkisini ele almışlardır. Sonuç olarak CK45 çeliğinde makul zamanda grafitleşmeyi, uygun sıcaklık ve ısıtma işlem süresi seçerek mümkün olduğunu göstermişlerdir [60].

Adalı çalışmasında; 870 °C’ye kadar ısıtılıp, daha sonra tavlama ve su verme işlemlerine tabi tutulan AISI/SAE 5140 kalite ıslah çeliği numunelerine 720 °C’de 2, 4, 8, 16, 24 saat süreyle küreselleştirme ısıtma işlemi uygulanmıştır. Yapılan metalografik incelemeler sonunda su verilmiş ve küreselleştirilmiş numunelerde küreselleşme 2. saatte başlamıştır. 4. saatte mikroyapı tamamen küresel haldedir. Bu saatten sonra yapının bozulmaya başladığı görülmüştür. Tavlama ve küreselleştirilmiş numunelerde ise küreselleşme 8. saatte başlamıştır [61].

Zhang ve Kelly yapmış oldukları çalışmada; temperlenmiş martenzit ve küreselleştirme sonucu oluşmuş mikroyapıdaki sementit morfolojisini incelemişlerdir. Küreselleştirme ve temperlenmiş martenzitin mikroyapılarında feritik matris içinde sementit parçalarından meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Küreselleştirme işlemi gören numunenin mikroyapısındaki sementitler küre şeklinde değildir. Bu şekillerin bazıları kısa çubuklar ve bazıları da çokgen şeklindedir. Bazıları ise hala bir birinden kopmamış şekildedir. 400-605 °C’de temperlenmiş martenzit mikroyapısındaki sementitler küre şekline daha yakındır. Ayrıca küreselleşme ve temperlenmiş mikroyapının birbirinden farklı olduğunu sonucuna varmışlardır [14].

Daniels ve ark., 2-4 saat tavlama tabii tutukları % 0,38 C çeliğin yapısını incelemişlerdir. İş parçalarına 680 °C’de 2-4 saat ısıtma işlemi uygulamışlardır. İki tip grafik yumrular gözlemlemişlerdir. Bunlardan biri düzensiz morfolojide ve çekirdek parçaları oluşmuştur. Bir diğeri ise daha düzenli küresel parçacıklardır. Çekirdeklenme ve büyümeyi daha iyi anlamak için bu çalışmayı yapmışlardır. Martenzit mikroyapısı içerisinde sementitin çözündüğü sonucuna varmışlardır [62].

Andres ve ark., 0.45C–13Cr martenzitik paslanmaz çeliğe üç farklı ısıtma işlem parametresine göre $M_{23}C_6$ karbürün kontrol edilmesi adlı çalışmalarında; ısıtma işlem uyguladıkları malzemenin mikroyapıdaki karbür miktarının ısıtma işlem süresi ve fırında bekletilme süresi artıkça arttığını gözlemlemişlerdir [17].

Karnyabi-Gol ve ark., küreselleştirme kinematiki ve ısıtma işlemin optimizasyonu Taguchi Robust tasarımı ile yapılması adlı çalışmalarında; deneylerinde iş parçası malzemesi olarak CK60 kullanmışlardır. Isıtma işlem süresi ve ilk durumdaki mikroyapılar değişken olarak seçerek çeliğin mikroyapısında oluşan küresel sementit miktarını incelemişlerdir. CK60 malzemesinin dört farklı mikroyapı; beynit, iri perlit, ince perlit ve martenzit olmak üzere dört farklı mikroyapı elde etmişlerdir. Bu çeliğe 700 °C’de dört farklı sürede (4, 8, 12 ve 16 saat) küreselleştirme ısıtma işlemi uygulamışlardır. Bu yapıların küreselleştirme zamanının % 58,5 oranında etki ettiğini ve ilk mikroyapının ise % 31.1 oranında etkilediği Taguchi Robust tasarımı ile elde etmişlerdir. Kararsız mikroyapıya sahip beynit ve martenzit numuneler, kaba ve ince perlit mikroyapıdaki numunelere göre daha kısa sürede mikroyapıları küreselleştiği sonucuna varmışlardır. Son olarak, karbürlerin aniden büyüdüğü sonucuna varmışlardır [18].

Lee ve ark., su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerin yüksek frekanslı indüksiyon ısıtma işlemi esnasındaki karbür şeklinin kinematığı adlı çalışmalarında; su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerde çökelen karbürlerin miktarını, büyüklüğünü ve küreselleşmeleri ısıtma işlem sıcaklığı ve uygulanan alaşım elementleri ile yüksek frekansta indüksiyon ısıtma işlemine göre analiz etmişlerdir. Temperleme süresi arttıkça küreselleşen karbürlerin artışı sonucunu gözlemlemişlerdir [63].

Akasawa ve ark., orta karbonlu krom-mobilden çeliğin mikroyapı ve sertliğin işlenebilirliği üzerine etkisi adlı çalışmalarında; deneylerde kullanmış oldukları numunelere normalleştirme, su verme, temperleme ve tavlama ardından da soğuk çekme işlemleri uygulamışlardır. Bu işlemler sonucunda farklı mikroyapılar ve neredeyse aynı sertlik değerlerinde numuneler oluşturmuştur. Numunelerin işlenebilirlik deneyleri torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada işlenebilirlik deneyleri için yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve sertlik değerleri ölçülmüştür. İş parçalarında yapışkan talaş oluşumu (BUE) ve yüzey pürüzlülük değerleri analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından aynı sertlik değerlerine sahip farklı ısıtma işlem uygulanan iş parçalarının yapışkan talaş oluşumuna da göz önünde bulundurulduğunda en iyi sonuçların soğuk çekilmiş iş parçasında elde edildiği görülmüştür [64].

Köksal ve ark., farklı karbon içerikli çeliklerin mekanik özelliklerinin ısıtma işlemlerle değişimi adlı çalışmalarında; farklı karbon oranlarındaki çeliklere, su verme işleminin ardından farklı sıcaklıklarda temperleme işlemi uygulamış ve malzemelerin mekanik özelliklerinin değişimi araştırılmışlardır. Çekme diyagramları aracılığıyla elde edilen akma dayanımı değerleri temperleme sıcaklığının artmasıyla azalmıştır. Çekme dayanımı değerlerinde akma dayanım değerlerine benzer durum görülmektedir. Ancak temperleme sıcaklığına bağlı olarak akma dayanımındaki değişim çekme dayanımına göre daha belirgindir. Karbon içeriğindeki artışa bağlı olarak akma ve çekme dayanım değerleri, beklenildiği gibi artış göstermiştir. Temperleme sıcaklığının artışı bütün çelik numunelerde sertlik değerlerinin başlangıç değerlerine göre daha az olmasına neden olmuştur [65].

Karadeniz, soğuk şekillendirmede küreselleştirmenin süreci üzerine farklı başlangıç mikroyapıların etkisini araştırmıştır. İki farklı küreselleştirme işlemine tabii tutulmuş orta karbonlu (AISI 4140) çeliğin mikroyapıları karşılaştırmıştır. İlk küreselleştirme ısıtma işlemini A₁ sıcaklık bölgesinde uzun süre tavlarken elde etmiştir. İkincisini ise

sertleştirilmiş olan çeliği A_{c1} sıcaklığı altında 700 °C’de 4, 8, 12, 24 ve 48 saat tavlamıştır. Uygulanan ısı işlemler ardından numuneler soğuk şekillendirilmiştir. Her bir durum için sertlik, % kesit daralması ve çentikli çekme kesit daralması değerleri araştırılmıştır. Çentikli çekme kesit daralması değerleri ile soğuk dövülebilirlik - küreselleştirme süreleri değişimi incelenmiştir. Sertleştirmenin ardından 12 saat küreselleştirme ısı işlemine tabii tutulmuş parçada en iyi sonuçlar elde edilmiştir [66].

Davut ve ark., manyetik Barkhausen gürültüsü yöntemi ile çeliklerde tahribatsız içyapı karakterizasyonu adlı çalışmalarında; farklı ısı işlemler sonucunda oluşacak farklı çelik içyapılarının Manyetik Barkhausen Gürültüsü yöntemiyle tahribatsız olarak karakterize edilebilirliğini incelemişlerdir. 500 C ve 600 °C’de temperlemenin AISI 1040 çeliği, çökelti morfolojisi iğneden küre biçimine dönüşmekte ve ferrit yeniden kristalleşmektedir. Aynı zamanda dislokasyon yoğunluğu oldukça azaldığını ve kalıntı gerilmelerin tamamına yakını giderildiğini gözlemlemişlerdir [67].

Mondal ve ark., çalışmalarında farklı mikroyapılara sahip tam tavlama, küreselleştirme ve sertleştirme ardından temperleme ısı işlemleri sonucunda elde edilen malzemeyi çekerek kalıpta şekillendirmeye en uygun mikroyapının küreselleştirilme olduğunu gözlemlemişlerdir [68].

Demir ve ark., orta karbonlu alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde ısı işlem şartlarının ve sertliğin işlenebilirliğe etkisini araştırmışlardır. Genel olarak kesme hızının artmasıyla her iki malzeme içinde kesme kuvvetleri azalmış ve 38MnVS6 malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri Ç1040 malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerinden daha yüksek olmuştur. 38MnVS6 malzemelerin işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Ç1040 malzemelerin işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden hem daha düşük hem de daha düzenli bir mikroyapı dağılımı sergilemiştir. Bu durumu 38MnVS6 malzemenin daha düzenli olan mikroyapısı ve daha yüksek sertliğine atfetmişlerdir [69].

Özlü ve ark., farklı hızlarda (havada, kumda ve fırında) soğutulan yüksek dayanımlı düşük alaşımlı 30MnVS6 mikro alaşımlı çelikler için işlenebilirlik deneyleri yapmışlardır. Deneyler tornalama metoduyla dört farklı kesme hızı (90, 120, 150 ve 180 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev) ve 1 mm sabit talaş derinliğinde

soğutma sıvısı kullanılmadan kuru şartlarda yapılmıştır. Uygulanan farklı soğutma hızları ile iş parçalarının mikroyapıları ve sertlikleri değiştirilmiş ve bu değişikliklerin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. En düşük kesme kuvvetleri, ham ve kumda soğutulan malzemede 150 m/dak kesme hızında ve fırında ve havada soğutulan malzemelerde ise 180 m/dak kesme hızında oluşmuştur. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri de kumda soğutulan malzemede elde edilmiştir [70]. Demir ve Özlü yapmış oldukları benzer bir çalışmada; sertleştirilmiş 30MnVS6 mikro alaşımlı çeliğin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından işlenebilirliğini araştırmışlardır. Sonuç olarak, malzemelerin mikroyapılarında yapılan değişikliklerle, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerlerinin değiştiği sonucuna ulaşmışlardır [71].

Çakır ve ark., östmeperlenmiş sünek demiri 250, 300, 350 ve 400 °C de 1 ve 2 saat tutarak kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır. En iyi işlenebilirlik 300 °C de 1 saat ve 2 saat için elde edilmiştir [72].

Özçatalbaş ısıt işlemlerin Cr-Mo esaslı bir çeliğin işlenebilirliğine etkisi üzerine yapılan diğer bir çalışmada; ısıt işlemler ile değiştirilen mikroyapı ve mekanik özelliklerin işlenebilirlik üzerine etkisini araştırılmıştır. Tam tavlama sonrası oluşturulan mikroyapı yığıntı talaş boyutlarını arttırmış, bu durum ise yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmuştur. Minimum yüzey pürüzlülüğü haddelenmiş numunede elde edilmiştir [3].

Yan ve ark., tarafından yapılan çalışmada; karbür, PCD, seramik ve CBN kesici takımların düşük karbonlu çeliklerin işlenmesindeki performansları araştırılmıştır. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir. Daha düşük ilerleme oranlarında daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Buna ek olarak daha düşük talaş derinliklerinde daha iyi yüzey kalitesinin elde edildiği rapor edilmiştir [73].

Maity ve ark., % 0,6 oranında karbon içeren çeliğin salınımlı olarak ısıt işlem tabii tutulmasının mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerinde etkisi adlı çalışmalarında; iş parçasına 850 °C'de 6 dakikalık kısa aralıklar ile ısıt işlem uygulanıp havada soğutmaya bırakılmıştır. Bu işlem 8 defa tekrar edilmiştir ve ince perlitik mikroyapı ve küreselleşmiş sementit elde etmişlerdir. Bu yöntem ile çok iyi uzama ve süneklik elde etmişlerdir [74]. Saha ve ark., benzer bir yöntem kullanarak % 0,6 C içeren çeliğin dönüşümlü ısıtma yöntemi ile kısa süreli (6 Dakika) 810 °C (A_{C3} sıcaklığı altında) tutarak havada soğumaya

bırakmışlardır. 8 dönüşümlü işleminden sonra (yaklaşık olarak 1 saat 20 dakika) malzemenin mikroyapısında çok oranda ferrit ve küresel sementit içermektedir. Bu mikroyapı ile mükemmel uzama ve süneklik elde edildiğini tespit edilmiştir [75].

2.3. Değer Tamininde Kullanılan Optimizasyon Programları

Chin ve ark., 304 paslanmaz çeliklerin işleme sırasında meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri tahmini için YSA modeli ile gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızını, ilerleme ve talaş derinliğini giriş parametreleri olarak belirleyerek, geri yayımlı ağ ile eğiterek yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmişlerdir [76].

Dixit ve arkadaşı yapmış oldukları çalışmada; uzman sistemler yardımıyla yüzey pürüzlülük değerleri sonuçlarını tahmin etmişlerdir. Yüzey pürüzlülük değerleri tahminini için giriş parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği belirleyerek, YSA ve bulanık mantık yardımı ile yüzey pürüzlülük sonuçlarını tahmin etmişlerdir. Bulanık mantık tahmin sonuçlarının YSA göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir [77].

Cus ve ark., yapmış oldukları çalışmada; kesme şartlarına bağlı olarak işleme süresi, işleme maliyeti ve yüzey pürüzlülük değerleri tahmini için YSA modelini kullanmışlardır [78].

Erzurumlu ve Oktem yanıt yüzey yöntemi ve YSA, kalıp yüzeyi üzerinde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için bu iki program geliştirmişlerdir. Geliştirilen modeller kesme hızı, ilerleme, aksel ve radyal kuvvetler giriş parametreleri olarak belirlenmişlerdir. Yanıt yüzey yöntemi ve YSA tahminlerinde kesme kuvvetleri, takım aşınması, ölçü tamlığı ve maliyet hesaplama sonuçları karşılaştırılmıştır. YSA ve yanıt yüzey yöntemi karşılaştırma sonucunda YSA tahmin değerlerinin daha iyi sonuçlar verdiği elde etmişlerdir [79].

Gaitonde ve ark., yapmış oldukları çalışmada; kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülük değerine etkisini YSA ile incelemişlerdir. Kesme hızının ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde ciddi bir etkisi olduğunu ve kesme derinliğinin ise çok az etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır [80].

Tsao ve ark., yapmış oldukları çalışmada; delme işleminde yüzey pürüzlülük değerleri sonuçlarını tahmin etmek için YSA ve Taguchi analiz yöntemi kullanmışlardır. Her iki yöntemin sonuçlarını karşılaştırarak, YSA modeliyle elde ettikleri tahminlerin deney sonuçlarına daha yaklaşıp olduğunu tespit etmişlerdir [81].

Çunkaş ve ark., yapay sinir ağları ve çoklu regrasyon modelini kullanarak yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin adlı çalışmalarında; YSA ile yüzey pürüzlük değerli tahmini için giriş parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği olarak belirlemişlerdir. Ayrıca iki modelin karşılaştırılması sonucunda YSA sonuçlarının daha iyi tahminler elde edildiği vurgulanmıştır [82].

Lin ve arkadaşları esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri tahmini için yapay sinir ağları ve regrasyon modeli kullanmışlardır. Giriş parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği olarak belirlemişlerdir. Giriş parametrelerine bağlı olarak esas kesme kuvveti sonuçları YSA ve Regrasyon sonuçları tahmini de karşılaştırmışlardır. YSA değerlerinin daha doğru sonuçlar elde etmişlerdir [83].

Choudhury ve ark., çalışmalarında; tornalamada giriş parametresi olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği belirleyerek takım aşınması ve yüzey pürüzlülük değerleri sonuçlarını regrasyon analizi ve YSA ağları ile tahmin etmişlerdir. Ayrıca bu iki modelin tahmin sonuçlarını karşılaştırmışlardır ve YSA modelinin daha iyi sonuçlar verdiğini sonucuna varmışlardır [84].

Özel ve ark., çalışmalarında; tornalamada giriş parametrelerine bağlı olarak takım aşınması ve yüzey pürüzlülük değerlerini YSA ve çoklu regrasyon analizi ile tahmin etmişlerdir. Giriş parametreleri takım kenar geometrisi, iş parçası malzemesi sertliği, kesme hızı, ilerleme ve kesme boyu olarak belirlemişlerdir. Kullanmış oldukları her iki modelin tahmin sonuçlarını karşılaştırmışlardır ve YSA tahmin sonuçlarını gerçek değerlere daha yakın olduğu sonucuna varmışlardır [86].

Özel ve ark., yüzey pürüzlülük ve takım aşınması değerlerini ileri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağları ile tahmin etmişlerdir. Kesme hızı, ilerleme oranı, kesme süresi, kesme gücü, esas makine kuvveti ve spesifik kuvvet giriş parametreleri olarak belirlemişlerdir. Farklı sayılarda gizli nöron belirleyerek en uygun ağ seçimini yapmışlardır [86].

Karayel, çalışmasında giriş parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için YSA modelini kullanmıştır [87].

Oktem ve ark., ileri beslemeli YSA kullanarak yüzey pürüzlülük değerlerini MATLAB programlama dili kullanarak tahmin etmişlerdir [88].

Dixit ve ark., çalışmalarında; yüzey pürüzlülük değerlerini ve boyutsal sapma değerlerini YSA ile tahmin etmişlerdir. Giriş parametreleri olarak ilerleme, kesme hızı, talaş derinliği ve takım tutucu titreşimini belirlemişlerdir. Kesme şartlarını kuru ve soğutma sıvısı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Giriş parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerini farklı YSA modelleri kullanarak tahmin etmişlerdir [89].

Zain ve ark., çalışmalarında; frezeleme işlemi görmüş parçanın yüzey pürüzlülüğünü YSA ile tahmin etmişlerdir. Giriş parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerlerini kullanarak farklı yapay sinir ağları kullanarak en uygun tahmin değerlerini belirlemişlerdir [90].

Al-Ahmari çalışmasında, tornalama sonucu oluşan takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve esas kesme kuvveti sonuçlarını giriş parametrelerine bağlı olarak YSA, yanıt yüzey yöntemi ve matematiksel model oluşturarak tahmin etmiştir. Giriş parametreleri kesme hızı, talaş derinliği ve takım burun yarıçapı olarak belirlemiştir. Ayrıca üç modelin tahmin sonuçlarını karşılaştırmıştır. En iyi tahmin sonuçlarını YSA ile elde etmişlerdir [91].

Kuo çalışmasında takım aşınması tahmin etmek için yapay sinir ağları ve bulanık mantık modelleri sonucu elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak bulanık mantık sonuçlarının YSA ve regresyon analizine göre daha yaklaşık sonuçlar elde ettiği sonucuna varmıştır [92].

Gökkaya ve ark., çalışmalarında; yüzey pürüzlülük değerlerini istatistiksel analiz ve YSA ile tahmin etmişlerdir. YSA modelinde geri yayımlı ağ modeli ve transfer fonksiyonu olarak sigmoid kullanmışlardır. Elde etmiş oldukları tahmin sonuçları karşılaştırmışlardır ve sonuç olarak YSA modelinin daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir [93].

Raj ve arkadaşları takım aşınmasını tahmininde YSA'yı kullanmışlardır. Geri yayımlı YSA modelinde kullanarak, giriş değişkeni olarak kesme sırasında oluşan kuvvetleri kullanmışlardır [94].

Ezugwu ve ark., çalışmalarında; kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, kesme süresi ve soğutma sıvısı basıncı giriş parametreleri olmak üzere, YSA ile ileri beslemeli geri yayımlı ağ modelini kullanarak kesme kuvvetleri, takım aşınması ve maksimum takım aşınma miktarlarını tahmin etmişlerdir [95].

Gündüz çalışmasında; kesici uca etki eden kuvvetlerin tahmininde bulanık mantık (BM) ve YSA kullanan çalışmalar olmasına karşın, çalışmada her iki teknik birlikte kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, bu teknikler yardımıyla elde edilen gerçek değerlerin karşılaştırmalı yorumları yapılarak, hangi tekniğin daha uygun olduğu performans kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Çalışmanın geneline bakıldığında kesici uca etki eden kuvvetlerin tahmininde BM yönteminin YSA yöntemine göre daha uygun olduğu görülmüştür [96].

Szecs, yapmış olduğu çalışmada kesme kuvvetlerinin tahmin için YSA modelini kullanmıştır. Giriş parametresi olarak kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, birincil ve ikincil kesme kenar açısı, talaş açısı, burun yarıçapı, yanaşma açısı, kesme kenarı, eğim açısı, kesme, takım aşınması, işlenen malzeme tipi olarak belirlemiştir. Bu giriş parametrelerine bağlı olarak kesme kuvvetleri sonuçlarını çok katmanlı ağ modeli ve ağ eğitimi için geriye yayımlı ağ modeli ile tahmin etmiştir [97].

Aykut ve ark., çalışmalarında frezede 6 ağızlı asimetric freze tarama başlığı ile iş parçasından talaş kaldırarak bir dizi kesme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kesme deneyleri sonucunda elde etmiş oldukları deney sonuçları YSA ile modellemişlerdir. Kuru kesme şartlarında kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği giriş parametreleri olarak belirlenerek kesme kuvvetleri sonuçlarını tahmin etmişlerdir. Sonuç olarak asimetric freze tarama başlık ile kaldırılan talaş miktarının ve kesme kuvvetleri tahmininde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [98].

Tosun ve ark., regrasyon analizi ve ysa ağlarını kullanarak takım ömrünün hesaplaması sonuçlarının tahmini için her iki optimizasyon yöntemi sonuçları karşılaştırmışlardır.

Takım ömrünü etkileyen parametreleri, keseme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve yüzey sıcaklıkları olarak belirlemişlerdir. Bu parametrelerin sonuçlarına göre elde edilen matematiksel modelleme sonuçlarına göre YSA tahmin sonuçlarının regresyon'a göre daha iyi sonuçlar aldıkları sonucuna varmışlardır [99].

Monajati ve ark., düşük alaşımlı tabaka saçın şekillendirilmesinde ve mekanik etkileri üzerine etkisinin giriş parametrelerinin etkisini araştırmışlardır. YSA modeli olarak ileri beslemeli ve geri yayınlımlı ağı tercih etmişlerdir. Giriş parametrelerine bağlı olarak elde etmiş oldukları sonuçlar ticari olarak kullanılan düşük karbonlu çeliklerin şekillendirilmesinin kontrolü için rehber olarak kullanılabilir [100].

Hosseini ve ark., çalışmalarında; Malzeme içindeki bileşenlerin ve kritik sıcaklık ısıtılmasının Si-Mn çeliklerinin modellenerek gerilme ve uzama üzerine etkisini YSA ile ileri beslemeli ve geri yayınlımlı algoritma kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Eğitilen ağ yapısı düşük alaşımlı düşük silikon içeren çeliğin yaklaşık ısıtılma şartlarının tahmin etmek için uygulanmıştır. Mekanik özelliklere etki eden değişkenleri açıklamak için, malzeme tavlama ısıtılma işlemi ve beynitlik yapıya getirme ısıtılma işlemlerine tabii tutulmuştur. Uygulanan modelin sonuçlarına göre, kısa sürede temperlenen malzeme daha yüksek dayanım ve daha yüksek uzama oranları sonuçları elde edilmiştir [101].

Xu ve ark., çalışmalarında; yüksek Vanadyum değerli yüksek hız çeliği 900–1100 C'de su verildikten sonra 250–600 C de temperlenerek artık östenit miktarı ve darbe tokluğu değerleri ölçülmüştür. Geriye yayınlımlı ağ modeli seçilerek, artık östenit miktarının doğrusal olmayan ilişkisi ve darbe tokluğu malzemeye su verme sıcaklığı ve temperleme sıcaklığına göre deney seti oluşturulmuştur, sırayla, yapılan deneylerden veriler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar iyi eğitilen geri yayınlımlı yapay sinir ağı modeli tam olarak artık östenit miktarını ve darbe tokluk değerlerini östenitleştirme sıcaklığı ve temperleme sıcaklığına göre tahmin edilebilir olduğunu göstermiştir. Tahmin edilen sonuçlar göstermiştir. Artık östenit miktarının su verme sıcaklığının veya temperleme sıcaklığının artması ile azalmıştır ve ayrıca darbe tokluğunu da azaltmıştır [102].

Çetinel ve ark., yapmış oldukları çalışmalarda; martenzitleme ardından yuvarlanan malzemenin mikroyapısı ve mekanik özelliklerinin araştırmışlardır. Deneylerde farklı çaplarda SAE 1020 çeliği kullanılmıştır. Farklı ısıtılma işlemler ile martenzit, beynit, perlit

miktarı ve uzama değeri, akma ve çekme dayanımları hızlı yeni bir yöntem ile elde edilmiş ve YSA ile modellemişlerdir. Farklı çelik çapları ve su verme süresi değişken olarak seçilmiştir. Deneysel sonuçlar ve yapay sinir ağları ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve bir biri ile örtüşen değerler elde etmişlerdir [103].

Kanca ve ark., çalışmalarında; şekil hafızalı alaşımlı çeliklerin martenzit ve östenit başlangıç sıcaklıklarını geri yayımlı YSA gradient descent algoritması kullanarak tahmin etmişlerdir. YSA modeli kurulduktan sonra, model eğitimi ve testleri gerçekleştirmişlerdir. Giriş parametreleri olarak malzeme bileşiğindeki elementlerin yüzdeleri (Fe, Mn, Si, Ni, Cr, Cu and Al) ve farklı şartlarda sıcak haddeleme, homojenleştirme sıcaklığı ve su verme belirlenmişlerdir. Giriş parametrelerine bağlı olarak martenzit ve östenitleştirme sıcaklıkları değerlerini tahmin etmişlerdir [104].

Lin ve ark., çalışmalarında; iki kez sıcak çekilmiş 42CrMo çeliğin akma dayanımı YSA ile tahmin etmişlerdir. Giriş parametreleri olarak sıcaklık, gerilme, gerilme uzaması, gecikme süresi ve deformasyon derecesine bağlı olarak ileri beslemeli geri yayımlı ağ yöntemini kullanarak akma dayanımı sonuçlarını tahmin etmişlerdir [105].

Korkut ve ark., yapmış oldukları çalışmada; kesme şartlarına bağlı olarak 2. deformasyon bölgesinde oluşan talaş ve takım arasındaki sıcaklığın tahmini için regrasyon analizi (RA) ve YSA modelleme tekniklerini kullanmışlardır. Regrasyon analizi ve yapay sinir ağları sonuçlarından elde etmiş oldukları tahminleri karşılaştırmışlardır ve sonuç olarak YSA sonuçlarının RA göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir [106].

Kurt yapmış olduğu çalışmada kesme kuvveti, ilerleme, kesme derinliği ve kesme kuvvetleri ve takım talaş temas olmak üzere giriş parametreleri ile takımda oluşan basma, çekme gerilmeleri sonuçlarını YSA ile tahmin etmiştir [107].

Sözen ve ark., yapmış oldukları çalışmada; toz metalürjisi ile farklı yoğunlukta sinterleyerek elde etmiş oldukları çeliklere katman kaldırma yöntemi uygulayarak oluşan kalıntı gerilmelerin sonuçlarını malzeme yoğunluğu ve yüzey altı derinlik parametrelerine bağlı olarak YSA ile tahmin etmişlerdir [108].

2.4. Literatür Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Küreselleştirme ısıtma işlemi ile ilgili yapılan araştırmaların incelenmesi sonucunda orta karbonlu çeliklere klasik küreselleştirme ısıtma işlemi, normalizasyon tavlama gibi farklı ısıtma işlemleri uygulanarak mikroyapının küreselleştiği görülmüştür. Yapılan araştırmalarda klasik küreselleştirme süresinin düşürülmesi için en iyi sıcaklık ve sürenin tam olarak belirtilmediği görülmüştür. Bu çalışma yapılarak küreselleştirme ısıtma işlemi için en iyi sıcaklık ve sürenin tespit edilerek mikroyapının en kısa sürede küreselleştirilmesi amaçlanmıştır. Küreselleştirme ısıtma işlemi sonucu işlenebilirliğin belirlemek için işlemeli ve işlemesiz deneyler yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri işlemeli deneyler olarak, sertlik ve mikroyapıların görüntülenmesi ise işlemesiz deneyler olarak değerlendirilmiştir. Farklı sıcaklık ve sürelerde mikroyapısı küreselleşen numuneler ve klasik küreselleştirme ısıtma işlemi sonucu mikroyapısı küreselleşen numunelerin kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğünün etkileri ve birbirleriyle olan ilişkileri belirlenmiştir. Ayrıca klasik küreselleştirme ısıtma işlemi ve farklı süre ve sıcaklıkta uygulanan küreselleştirme işlemleri arasındaki mikroyapı farklılıkları da ortaya konulmuştur. Son olarakta kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için işlemeli deneyler sonucunda elde edilen değerler referans alınıp, giriş parametreleri ise kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, ısıtma işlem sıcaklığı ve süresi olacak şekilde en uygun YSA modeli oluşturulmuştur.

3. KURAMSAL BİLGİLER

3.1. Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır [109, 112, 116-119]. Tornalama işlemi sırasında oluşan kuvvetler Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Şekil 3.3’te tornalama işleminde kesme kuvvetlerin yorumlanmasında ifade edilmiş olup; esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvvetini (F_f), pasif (radyal) kuvveti (F_p) ve bileşke kuvveti (R) göstermektedir.

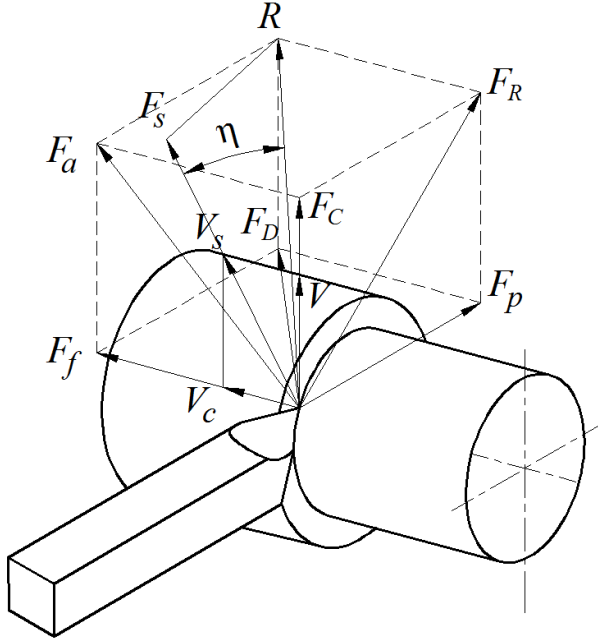
Esas kesme kuvveti (F_c): Kesme hızı yönünde etki eder. En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde % 99’una karşılık gelir.

İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takıma ilerleme yönünde etki eden kuvvettir. Kesme kuvvetinin genellikle yaklaşık % 50’si kadardır fakat ilerleme hızının kesme kuvvetiyle karşılaştırıldığında çok küçük olduğu için metal kesme işlemindeki gerekli gücün çok az bir kısmına karşılık gelir.

Pasif (Radyal) kuvvet (F_p): İşlenen yüzeye dik etki eden kuvvettir. Pasif kuvvet de ilerleme kuvvetinin yaklaşık % 50’si kadardır [119].

Bileşke kuvvet, bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile elde edilir ve Eş. 3.1 ile hesaplanır:

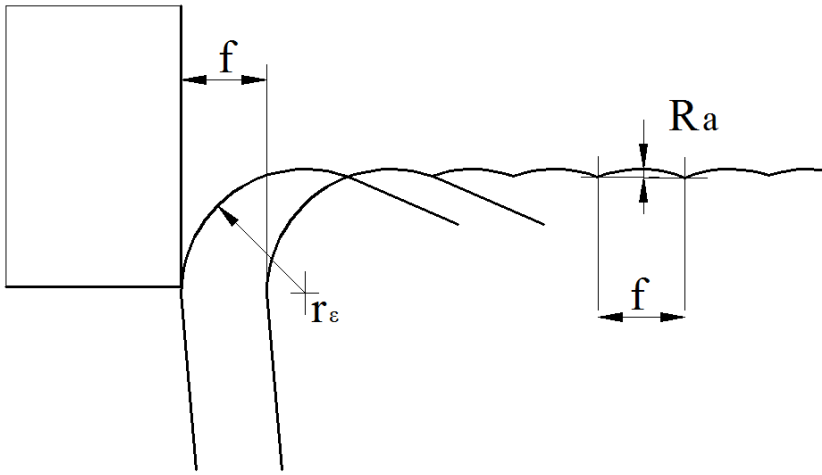
$$R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad (3.1)$$



Şekil 3.1. Kesme kuvvetlerinin torna tezgâhı için yorumlanması [120]

3.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, özellikle bitirme tornalama operasyonlarında önemli bir işleme parametresidir [121]. Yüzey pürüzlülüğü büyük ölçüde kesici takım burun yarıçapı ve ilerleme tarafından belirlenmektedir [122]. Büyük bir ilerleme, kısa kesme süresi kötü yüzey oluştururken, büyük bir kesici takım burun yarıçapı ise daha iyi bir yüzey oluşturabilir. Aynı zamanda aşırı derecede büyük bir kesici takım burun yarıçapı titreşimlere, yetersiz talaş kırmaya ve kısa kesici takım ömürlerine sebep olabilir [122]. Uygulamada, bu yüzden kesici takım burun yarıçapı ve ilerleme miktarı bir işlemede sınırlandırılabilir. Yüzey pürüzlülüğün teorik hesaplanmasında, kesici takım burun yarıçapının ve ilerlemenin geometrik katkıları Şekil 3.4’de gösterilmiştir [122]. İyi bilinen ideal yüzey pürüzlülüğü eşitliği, kesici takım burun yarıçapı, ilerleme ve yüzey kalitesi arasındaki ilişki matematiksel olarak Eş. 3.2’de verilmiştir [121].



Şekil 3.2. Yüzey pürüzlülüğü hesaplanmasının geometrik gösterimi [122]

Yüzey pürüzlülüğü eşitliğinde;

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{r_{\epsilon}} \quad (3.2)$$

(bu Eş. 3.2’de Ra: yüzey pürüzlülüğünü, f: ilerleme miktarını (mm/dev) ve r_{ϵ} : kesici takım burun yarıçapını (mm)) ifade etmektedir [121].

3.3. İşlenebilirlik ve İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

3.3.1. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, talaşlı imalatla şekillendirilmek istenen hammaddenin özelliklerini (alaşım elementleri ve mikroyapı özellikleri ile sertlik, akma ve çekme dayanımı, ısı iletkenlik, taneler arası bağ özellikleri, elastik modülü gibi parametreler), seçilen talaşlı imalat yöntemindeki parametrelere (işleme şekli, tezgah gücü ve özellikleri, takım tutucu ve formu, kesici uç malzemesi ve formu, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, soğutma tipi ve yöntemi, vb.) bağlı olarak, hammaddenin ve talaşlı imalat yönteminin değişkenlerinin ayrı ayrı ve bütün olarak sergiledikleri davranışlardır. İşlenebilirlik, genellikle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da,

sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerini de kapsamaktadır [111,123].

3.3.2. İşlenebilirliğin ölçülmesi

Bir malzemenin mikroyapı ve mekanik özellikleri en uygun değerlerde olduğu var sayılarak, belirlenen işleme yöntemi ve parametrelerin, hammaddenin işlenmesindeki sergilediği davranışlar ve etkilerin, işlenebilirlik açısından değerlendirilmesinde çeşitli kıstaslar kullanılır. Bunlardan en yaygın olanları:

- a) Takım ömrü,
- b) Kesme kuvvetleri ve harcanan enerji veya güç,
- c) İşlenen yüzey kalitesidir [123, 124]

İşlenebilirliğin ölçülmesinde kesin kabul edilen genel bir metodu veya standart yoktur [29]. Ancak takım ömrü deneyleriyle ilgili standartlara göre Standard işlenebilirlik deneyleri yapılabilir [46]. İşlenebilirlik deneyleri; işlemeli deneyler ve işlemesiz deneyler olmak üzere iki temel kategoriye ayrılabilir.

İşlemeli deneyler

Bir malzemenin işlenebilirliği, aşağıda belirtilen kıstaslardan birine veya daha fazlasına göre ölçülebilir.

Takım Ömrü: Takımdaki standard bir aşınma miktarına veya takım kullanılmaz duruma gelmeden önce standard kesme şartlarında kaldırılan talaş miktarı veya talaş kaldırma süresidir.

Kesme Hızı: Standard kesme şartları ve takım, belirlenen bir zaman aralığında talaş kaldırma işleminin başarı ile sürdürüldüğü kesme şartlarında kaldırılan talaş miktarı veya talaş kaldırma süresidir.

Kesme Kuvvetleri veya Güç Tüketimi: Takım üzerine etkiyen kesme kuvvetleri (belirli şartlarda dinamometre ile ölçülür) veya kesme işlemi için gerekli güçtür.

Yüzey Kalitesi: Belirli işleme şartları altında işlenen parçanın yüzeyindeki pürüzlülük derecesidir.

Talaş Biçimi: Standard kesme şartları altında, takımın kesme etkisine göre oluşan talaş biçimidir [29, 117, 125].

İşlemesiz deneyler

İşlemesiz deneyler, işlemeli deneylere göre daha az zaman alır ve genellikle daha kısa deneylerdir. Bu sebeple birçok araştırmacı işlemesiz deneyler ile çeliklerin işlenebilirliği arasında bağıntılar kurmaya çalışmıştır ve birçok ilişki ortaya atılmışlardır. Bu ilişkileri esas olarak üç alt başlık altında incelemek mümkündür.

Kimyasal Bileşim Deneyi: Aynı ısıtma işlemine tabii tutulan ve aynı temel özelliklere sahip malzemeler için geçerli olarak bulunan bu tür çalışmaları yapanların çoğu tarafından kabul edilmiştir.

Mikroyapı deneyi: Whittman, Woldman, Robbins ve Lavwless yaptıkları çalışmalarda, tornalama ve frezeleme işlemleri için düzenli dağıtılmış lamelli kaba perlitin, işlenebilirlik açısından optimum mikroyapı olduğunu belirtmişlerdir.

Fiziksel özellik deneyi: Henkin ve Datsko, boyutsal analiz tekniklerini kullanarak genel bir işlenebilirlik değeri geliştirmek için, malzemenin fiziksel özelliklerine dayalı basit bir kıstas oluşturmuşlardır [47].

3.4. Çelikte İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

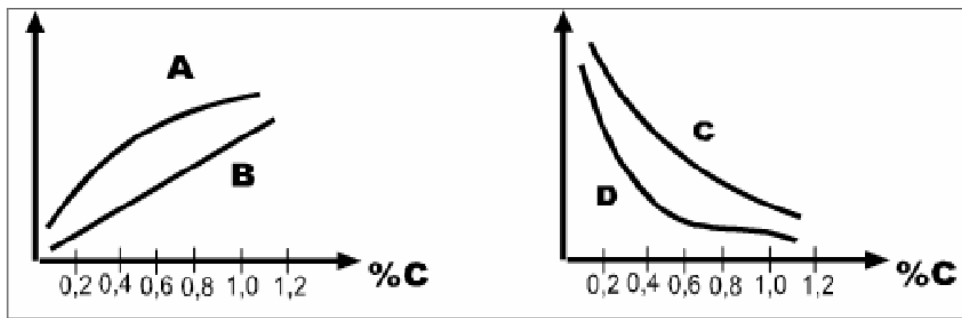
Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısı iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki kalıntıları (inklüzyonlar) ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımda abrasif aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalmır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (Built-Up-Edge - BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalmır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir [126]. Örnek olarak,

nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş uzaklaştırılması ile ilgili problemlerle karşılaşılır. Bu nedenle, düşük karbonlu çeliklerde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için ekseriyetle soğuk çekme işleme uygulanır. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracak için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısıl iletkenlik kesme bölgesinden oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısıl iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [118].

Şekil 3.5’deki diyagramlar, “karbon muhtevası” ile değişen dört temel mekanik malzeme özelliğindeki genel eğitimleri göstermektedir. Bu temel özellikler, çekme dayanımı, sertlik, darbe dayanımı, yüzde uzamasıdır [127-129].

Sertlik ve dayanımı

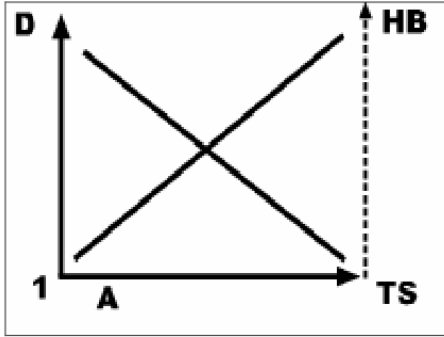
İşlenebilirlik için genellikle düşük sertlik ve dayanımı değerleri daha uygundur. Düşük yüzey kalitesine, çapak oluşmasına ve kısa takım ömrüne sebep olan BUE oluşmasından dolayı problemlere yol açan çok sünek malzemeler bu durumun dışındadır. Soğuk çekme işlemi sonucu artırılmış sertlik ise pozitif yönde etkilemektedir.



Şekil 3.3. Malzemelerin temel mekanik özelliklerinin karbon muhtevası ile değişimi: A- Çekme dayanımı, B-Sertlik, C-Darbe Dayanımı, D- Yüzde uzaması [124, 127-128]

Süneklik

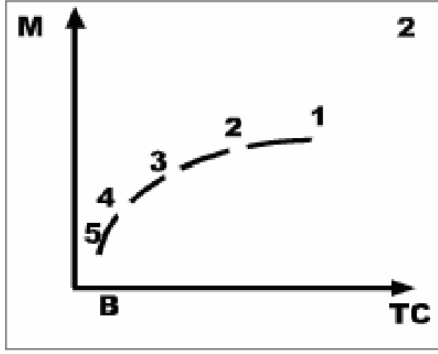
İşlenebilirliğin değerlendirilmesinde, düşük süneklik değeri genellikle olumlu karşılanmaktadır. Talaş oluşumu için bir avantajdır ve enerji verimli bir talaş kaldırma yöntemi söz konusudur. Sünekliğin düşük olması demek malzemenin sertliğinin yüksek oluşu ile ve bunun tersi ise yüksek süneklik, düşük sertlik demektir. İyi işlenebilirlik, genellikle sertlik ve süneklik arasındaki bir uzlaşma noktasıdır. Şekil 3.6’da çekme dayanım (TS)’na karşılık sertlik (H) ve süneklik (D)’deki değişim görülmektedir [124, 127-128].



Şekil 3.4. Çekme dayanımı (TS)'ye karşılık, sertlik (HB) ve süneklikteki (D) değişimi [124,127-128]

Isı iletkenlik

Yüksek ısı iletkenliğinin anlamı, talaş kaldırma işleminde oluşan ısı, süratle kesme bölgesinden uzaklaştırılması demektir. İşleme açısından bakıldığında, yukarıdaki sebeple yüksek değerlerde ısı iletkenlik genellikle faydalıdır. Isı iletkenlik işlenebilirlik açısından önemli bir rol oynamakla beraber, bazı alaşım grupları için daha fazla iyileştirmesi açısından önemli bir rol oynamakla beraber, bazı alaşım grupları için daha fazla iyileştirmesi mümkün değildir. Şekil 3.7’de, bazı malzemelerin ısı iletkenliklerinin (TC), işlenebilirlik değerleri (M) ile ilişkisini göstermektedir [124, 127-128].



Şekil 3.5. Isıl iletkenlik (TC) ile işlenebilirlik değeri (M) arasındaki ilişkisi; 1- Alüminyum, 2 - Alaşimsız çelik, 3- Alaşımlı çelik, 4- Paslanmaz çelik, 5- HSTR alaşımlar [124, 127-128].

Pekleşme

Plastik deformasyon sırasında, metallerin dayanımı, değişen değerlerde artar. Dayanımdaki artış deformasyon yüzdesine ve malzemenin pekleşme kabiliyetine bağlı olmaktadır. Yüksek pekleşme oranının anlamı, deformasyon oranındaki artışa bağlı olarak hızlı dayanım artışıdır. Çelikler işlenirken, deformasyon miktarı oldukça bölgesel kalmakta ve özellikle kesici kenara yakın gerçekleşmektedir. Yüksek pekleşme (deformasyon pekleşmesi) oranına sahip malzemelere örnek olarak östenetik paslanmaz çelikler ve çeşitli yüksek sıcaklık alaşımları verilebilir.

Karbonlu çelikler, oldukça düşük pekleşme oranına sahip malzemelere örnek olarak gösterilebilir. Yüksek pekleşme oranı, talaş oluşumu için çok daha fazla enerji ihtiyacı demektir. Sertlikteki ciddi bir artış, daha sonra, işlenmiş yüzeyde ince bir katman oluşmasına sebep olur. Pekleşme ile sertleşen tabakanın kalınlığı, ilerleme değeri ile aynı olursa, kesici kenar, şiddetli gerilimlere maruz kalacaktır. Pekleşme ile oluşan tabakanın kalınlığı ve sertlik düzeyi kesici kenardaki deformasyon miktarıyla orantılıdır. Büyük bir talaş açısına sahip keskin bir kenar, deformasyon miktarını azaltır. Bu sebeple, pozitif bir geometri, katmanın azaltılmasına yardımcı olacak ve bunun sonucu olarak da kesici kenardaki gerilmeler azalacaktır. Bununla beraber, pekleşme, BUE oluşumunu engellemek için bir avantaj olabilir [123, 127].

Kalıntılar

Malzemenin yapısı içersinde makro düzeyde iki tip kalıntılar söz etmek mümkündür. Makro kalıntılar, boyutu 150 μm 'dan büyük olan kalıntılardır. Bunlar genellikle, çok sert ve aşındırıcı olup, kalıntılardan bağımsız bir malzemeyi kuşatma eğilimlerinden dolayı önemlidir. Düşük kaliteli bağımsız bir malzemeyi kuşatma eğilimlerinden dolayı önemlidir. Düşük kaliteli çeliklerde bulunan kalıntılar, üst cürüf veya uygun olmayan cürüf alma vb. gibi fırınlama sırasındaki üretimden kaynaklanır. Mikro kalıntılar, çelik içinde değişik miktarda daima mevcuttur. Bunların işlenebilirlik üzerindeki etkisi üçe ayrılabilir;

i. İstenmeyen kalıntılar: Alüminatlar ve spineller gib kalıntılar istenmeyen kalıntılardır. Bunlar sert ve aşındırıcı özelliktedir.

ii. Nispetten istenmeyen kalıntılar: Demir ve mangan oksitlerdir. Bunlar deforme edilebilme kabiliyeti bir önceki gruptan daha yüksektir ve talaş akışına katılabilir.

iii. İstenen kalıntılar: Yüksek kesme hızlarında, silikatlardır. Bunu sebebi, silikatlar, yeterince yüksek kesme sıcaklıklarında yumuşarlar ve bu sayede kesme bölgesinde olumlu etki yapan bir katman oluştururlar. Bu katman, takım aşınmasını geciktirir [123-124, 127-128].

Kolay işleme katkıları

Çeliğin işlenebilirliğini geliştirmek için en yaygın metot, kükürt ilavesidir. Kolay işlenebilen çeliklerdeki kükürt miktarı işlenebilirliği iyileştirilmiş çeliklerdekinin on katıdır. Yeterli miktarda mangan ihtiva eden çelik sağlandığında, kükürt ve mangan, sülfata dönüşecektir. Talaş oluşumu sırasında bu sülfat kalıntıları, düşük dayanımlı düzlemler oluşturacak şekilde plastik deformasyona uğrar ve böylece çatlak oluşumu ve yayılımı için gerekli enerji azalır. Bu, birinci kayma, kesme bölgesindeki deformasyon kolaylaştırılır. Kayma açısının/talaş temas boyunda ve işleme sıcaklığında azalmaya sebep olur. İlaveten, sülfat, talaş kalınlığının takım/talaş ara üzerinde bir yağlayıcı gibi görev yapar. Bununla beraber, tamamen aynı sülfür muhtevası sahip, aynı tip iki çelik için işlenebilirlik önemli ölçüde farklı olabilir. İşlenebilirlik, çelikte alaşım elemanı olarak bulunan kükürttten ayrı kükürt ve kurşun kalıntı ile iyileştirilebilir. Aynı zamanda,

sülfatların boyutu, biçimi ve dağıtımı da işlenebilirliği tayin eden faktörler arasındadır. Diğer yaygın kullanılan katık elemanlarında kurşunda, mangan sülfata benzer davranış sergiler. Kurşun ve kükürdün beraber ilave edilmesi de yaygındır. Oldukça yeni bir katkı elemanı olan “selenyum” da genellikle kükürtle beraber kullanılır. Sülfür ve selenyum katkısı kolay işlenebilir çelikler, karbon çelikler ile ve ferritik – martenzitik ve östenitik paslanmaz çeliklerde yaygındır. Kurşun veya yeniden sülfürize edilmiş kurşunlu çelikler sadece karbonlu çeliklerde mevcuttur. İşlenebilirliği etkileyen temel malzeme, iş parçasına ait özellikleri ve bunları artan değerlerinin işlenebilirlik üzerindeki etkileri Çizelge 3.1 ve 3.2’de özetlenmiştir [123, 124].

Çizelge 3.1. İşlenebilirliği etkileyen temel malzeme özellikleri [123, 124]

İşlenebilirliği etkileyen temel malzeme özellikleri	
1	Sertlik ve Dayanım
2	Süneklik
3	Isıl iletkenlik
4	Pekleşme
5	Kalıntılar
6	Kolay işleme katkıları

Çizelge 3.2. Malzeme özelliklerinin artan değerinin genel işlenebilirlik üzerine etkileri [123, 124]

Artan değerleri	Genel işlenebilirlik üzerindeki etkileri
Sertlik ve Dayanım	-
Süneklik	+/-
Isıl iletkenlik	-/+
Pekleşme	-
Kalıntılar	-/+
Kolay işleme katkıları	+/+

Malzeme yapısı

Malzeme yapısı işlenebilirliği etkilemekte ve bazı yapılar, aşındırıcı özellikte olduğundan ve malzemenin dayanımı yapı tipiyle değişir. Çeliklerdeki aşındırıcı bileşen “karbürle” dir.

Bunların miktarı ve biçimi, malzeme özelliklerini doğrudan etkiler. Karbon, karbonlu çeliklerdeki en önemli alaşım elementi olup, muhtevasına bağlı olarak çok farklı yapılar elde edilebilir. Oda sıcaklığında ve sertleştirme işlemi uygulanmış şartlarda, çelikte östenite ilave olarak üç tip yapıdan (faz) söz etmek mümkündür ve bunlar işlenebilirliği doğrudan etkiler. Bu fazlar: ferrit, perlit, sementit'tir.

Ferrit, yumuşak ve sünek özelliklere sahipken, bir demir karbon bileşiği olan sementit, elde edilebilecek en sert yapıdır. Su verme ile elde edilebilecek martenzitten bile serttir. Perlit ise, ferrit ve sementitin lameller (plakalar şeklinde) bir karışımıdır. Lameller, ferrit ve sementiti şeklinde sıralanmış olup, sertlik açısından orta değerlerde yer alır. Lameler perlitin sertliği aynı zamanda, lamellerin boyutuna (kalınlığına) bağlıdır. İnce lamelli perlit, kaba olandan daha serttir. Çünkü bünyesinde daha fazla sementit barındırır. Çeliğin yapısındaki ferrit, perlit ve sementit miktarı, temelde doğrudan, çeliğin muhtevasına bağlıdır. Sementitin yüksek aşındırıcı özelliğinden dolayı, küçük bir miktar sementit bile, takım ömrü ve işlenebilirliği dikkate değer ölçüde etkiler. Bunlara ilave olarak, ferritik çelikler genellikle martenzik çeliklere göre daha iyi işlenebilirlik özellikleri sergiler.

İş parçasının özellikleri

Malzemedeki alaşım elementleri, malzeme özellikleri üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Karbon, çelikteki mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini belirleyen önemli elementtir. Diğer alaşım elementleri, Nikel (Ni), Cobalt (Co), Mangan (Mn), Vandalum (V), Mobilden (Mo), Niobyum (Nb), Tungesten (W), Bakır (Cu), vb.'dir. Bazı alaşım elemanları ise, işlenebilirlik üzerinde önemli pozitif etkiye sahiptir. Kükürt (S), forfor (P), kurşun (Pb) bunlara örnek olup, kolay işlenebilir için çeliklere ilave edilirler. Orta karbonlu çelik, ısıl direnci yüksek (HSTR) bir alaşımla karşılaştırıldığında daha kolay işlenir [128]. Genellikle sünekliği azaltan alaşım elemanları ile talaş oluşumu iyileştirilebilir. İş parçası malzemesinin kimyasal analizi, işlenebilirliği konusunda araştırmacılara çok şey söyler. Aşağıda, negatif ve pozitif etkiye sahip elementler gösterilmiştir [123-124]

Negatif Etkileyenler: Mn, Ni, Co, Cr, V, C <% 0,3 , C> % 0,6 Mo, Nb, W

Pozitif Etkileyenler: Pb, S, P, C

Alaşım elementleri dayanımı artırır, aynı zamanda her kesme hızı için akma bölgesi sıcaklığını da artırır. Buna bağlı olarak yüksek erime noktasına sahip alaşımlar kesilirken maksimum talaş kaldırma oranı azalmaktadır. Alaşımlara eklenen kükürt ve kurşun akış bölgesinde harcanan enerjinin azalması vasıtasıyla ara yüzey sıcaklığını düşürebilir, ancak bu elementlerin davranışları karmaşıktır ve henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Kritik metal hacmine ulaşamamasının ve küçük boyut nedeniyle araştırılması çok zor bir bölgedir. Öte yandan akış bölgesindeki malzeme davranışının çok iyi anlaşılması, işlenebilirliğin anlaşılabilmesi için önceden bilinmesi açısından önemlidir. Bu araştırmalar şiddetli gerilme ve gerinim oranına maruz kalan malzemelerin davranışı için teorik bir ilişkiye sahiptir. Takım-talaş ara yüzeyinde ikinci deformasyon bölgesinde oluşan çok farklı değişimler ve malzemedeki birinci kayma düzlemi boyunca meydana gelen geçişler işlenebilirlik kavramının ayrıntılı olarak anlaşılmasını sağlar. Daha önce bahsedilenlere ilave olarak, standart mekanik testleri yoluyla ölçülen özellikler ile doğrudan ilişkilidir. Bununla birlikte, ikinci kayma bölgesindeki davranış ancak işleme sürecinin gözlemlenmesiyle araştırılabilir. Yüksek erime noktasına sahip olan metaller ve alaşımları için ikinci deformasyon bölgesindeki (akma bölgesi) ısı ve ısı dağılımı işlenebilirliğin her yönünden önemli bir rol oynar. Ara yüzeyde meydana gelen yapışma, difüzyon ve etkileşim anlaşıldığında takım aşınma oranları güvenilir bir şekilde tahmin edilip kontrol edilebilir. Bu özellikle yeni ve pahalı takım malzemelerinin kullanımında önemlidir. Ayrıca, kolay işlenebilir iş parçası malzemelerinin elverişli bir biçimde gelişimi için gereklidir [123].

Ticari saflıktaki Al, Cu, Ni ve Fe gibi birçoğu metalin talaş kaldırması sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri çok yüksektir. Bu metaller işlenirken, takım talaş ara yüzeyindeki temas alanı çok büyük, kesme düzlemi açısı küçüktür. Geniş temas alanı metallerin sünekliği ile ilgilidir.

3.5. Isıl İşlem ve Mikroyapının Etkisi

Esas olarak çeliğin işlenebilirliği, ilave elementlerin yanı sıra ısıtma işlemiyle kontrol edilen mikroyapıya bağlı olarak da değiştirilebilir. Çoğu alaşım ve yüksek karbonlu çeliklerde talaşlı imalat için en uygun mikroyapı sağlamak amacıyla ısıtma işlemleri uygulanır.

3.5.1. İşlenebilirlik amaçlı genel ısıl işlemler

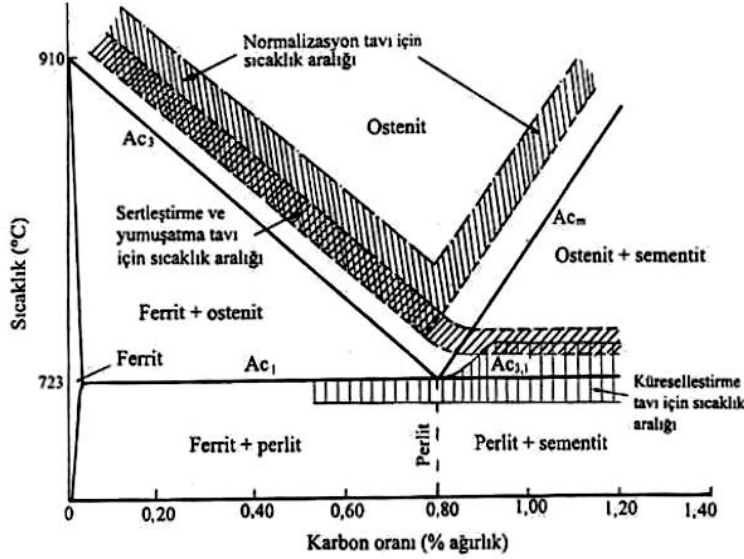
Isıl işlemlerin en önemli bölümü tavlama işlemidir. Tam tavlama, normalizasyon, küreselleştirme tavlama işlemleri ile çeliğin mikro yapısında tek düzelik sağlanır, iç gerilmeler azalır veya işlenebilirlik gelişir. Çeliklerin ısıl işlemi için kullanılan genel sıcaklık aralığı Şekil 3.8’de gösterilmiştir [130].

Tam Tavlama: Ötektoid altı ve ötektoid çelikleri, ferit+ östenit bölgesinde (Ac_3) 40 °C kadar üzerinde gerekli süre bekletilir ve yavaşça oda sıcaklığında soğutulur (genellik ile fırında). Ötektoid üstü çelikler ise alışageldiği üzere ötektoid sıcaklığı (Ac_1) 40 °C kadar üzerinde östenit+sementit çift faz bölgesinde östenitlenir ve fırında yavaşça soğumaya terk edilir. Bu ısıl işlemde amaç, tane yenileyebilmek, daha yumuşak ve sünek bir yapı sağlamak ve bazı durumlarda işlenebilirliği geliştirmektir [131].

Normalleştirme Tavlaması: Sıcak haddelenmiş şartlardaki iş parçası genellik ile homojen olmayan, kaba bir yapıya sahiptir. Bunun sebebi, sıcak haddeleme sonrasında malzeme, uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kalır ve bu da nispeten kaba bir yapının oluşmasına sebep olur. İşlenebilir açısından bakıldığında, homojen olmayan bu yapı, malzemenin düzgün olmayan dağılım miktarına bağlı olarak, sapmalara/boşluklara sebep olur. Bu da işlenebilirlik açısından olumlu bir özellik değildir. Normalizasyon işlemi sırasında; malzeme östenit bölgesindeki sıcaklığa çıkarılır. Malzeme Ac_3 veya Ac_m kritik sıcaklığında 70 °C yukarıda östenit bölgesi içinde yapısı tamamen östenite dönüştükten sonra malzeme hızla oda sıcaklığına geri soğutulur. Bu işlem, sıcak haddeleme şartlarından daha ince ve homojen bir yapı elde etmek için uygulanır. Normalizasyonun en temel amacı, malzemenin tokluk davranışını iyileştirmektir. Daha düzgün yapıdan dolayı, işlenebilirlik düzeyinde de bir iyileşme sağlanır.

Yumuşatma tavlaması, gerçekte malzemeyi yumuşatmak için uygulanan bir işlemdir. İşlem sırasında, perlitteki seimentit lamellerin küresel (yuvarlatılmış) seimentite dönüştürülür. Sonuç olarak ferrit matris içinde düzgün dağılmış küresel seimentitler oluşur ve sertlik önemli ölçüde düşer. Küresel yapıdaki seimentit, işleme sırasında kesici takımın, seimentit aşındırıcı taneciklere çok daha kısa mesafede teması anlamı taşır. Normalde, yumuşatma tavlaması karbon miktarı % 0,5’ten fazla olan çeliklerde uygulanır. Yüksek karbon muhtevası söz konusu olduğunda, en uygun işlenebilirlik elde etmek için yapılması

gereken işlem küreselleştirmedir. Düşük karbon muhtevası daha yüksek perlit miktarı, en uygun işlenebilirlik şartları sergiler.



Şekil 3.6. Sade karbonlu çeliklerin genel ısıtma ve soğutma sıcaklık aralıkları

Yumuşatma tavlama “gerilim giderme” tavlama ile karıştırılmaktadır. Gerilim giderme tavlama amacını, isminden de anlaşılacağı gibi, malzemede su verme veya soğuk şekillendirme şartlarında oluşan gerilmelerin giderilmesidir. Eğer bu gerilmeler giderilmeden bırakılacak olursa, talaş kaldırma sırasında serbest kalacak ve iş parçasının doğruluk ve toleranslarını etkileyecektir. Gerilim giderme tavlama düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir işlem olup, yapıyı etkilemez ve dolayısı ile işlenebilirlik üzerinde etkisi yoktur. Soğuk şekillendirmiş bir malzeme genellikle, normalizasyon veya yumuşatma tavlama maruz bırakılır. Nispeten küçük boyutlu kütükler veya iş parçalarına uygulanır. Küçük iş parçalarında uniform bir yapı elde etmek daha kolaydır. Soğuk şekillendirme, deformasyon miktarına bağlı olarak dayanımı artırır. Soğuk şekillendirme aşağıdaki hususlar açısından, işleme şartları için uygun durumlar sergiler.

- i. Daha iyi yüzey yapısı,
- ii. BUE oluşumunu azaltma eğilimi,
- iii. Çapak oluşumunu azaltma eğilimi.

İş parçasının sertliği, takım aşınmasının değerini etkiler yaklaşık 200 HBN’ye sahip malzemelerin sementiti karbür takımlar ile işlenmesinde orta düzeyde bir aşınma meydana

gelirken, sertlikteki artma bunun üzerinde önemli rol oynar. Bununla beraber, nispeten yumuşak malzemeler, olduğu gibi, işlenebilirliği olumsuz etkilemektedir. Yüzey düzgünlüğü veya düzensizliği, işleme sırasında makro kalıntılara sergilediği durumu sergiler ve düşük yüzey kalitesine, ani takım kırılmalarına veya hızlı takım aşınmasına sebep olur. Ön işlemeye tabi tutulmuş bir malzeme tercih edilmesi, çoğu zaman daha iyi sonuçlar verir. Ham malzeme üzerindeki büyük toleranslar fazladan işleme operasyonları, istenen boyutun ve yüzey kalitesinin elde edilmesi için daha fazla güç sarf etmek anlamına gelebilir.

Küreselleştirme Tavlama: Çelik, ötektoid sıcaklığın (Ac_1) hemen altındaki bir sıcaklıkta uzun süre tutulur veya bu sıcaklığın altında ve üstünde sıcaklık değişimli bir tavlama ile bekletilir. Bekletme süresi sonunda fırında çok yavaş soğumaya terk edilir. Bu işlemle özellikle ötektoid üstü çeliklerde kötü işlenebilirlik gösteren perlit+sementit ağı şeklindeki yapı, ferrit matrisli küresel sementit, haline dönüştürülür. Amaç çelikte maksimum yumuşaklığı ve sünekliği sağlamaktır [132, 133].

3.5.2. Isıl işlem (mikroyapı) – işlenebilirlik ilişkisi

Çelik bulunan karbon miktarına bağlı olarak işlenebilirlik şartları için en uygun mikro yapıyı veren ısıtma işlemleri, aşağıdaki gibi özetlenebilir [30, 134].

Düşük karbonlu ($\leq 0,15\% C$) çelikler normalleştirilmiş veya soğuk çekilmiş durumda en iyi işlenebilirliğe sahiptir. Küçük ferritik tane boyu ve soğuk çekme yoluyla arttırılan sertlik işlenebilirliği iyileştirme eğilimindedir.

Yumuşak çelikler ($0,15\% C - 0,45\% C$) tam tavlama veya normalleştirme sonunda maksimum işlenebilirlik gösterir. Bu işlemler lamelli perlitik yapıyı meydana getirir. Küreselleştirilmiş bir yapı zayıf kesme özellikleri verir.

Orta karbonlu ($0,45\% C - 0,80\% C$) çelikler en iyi işlenebilirlik için düşük sertlik sağlayan kaba perlitik ve küreselleştirilmiş karbür yapıya sahip olmalıdır.

Yüksek karbonlu ($> 0,85\% C$) çelikler, tamamen küreselleştirilmiş mikro yapıda en iyi işlenebilirliği verir.

Bantlı ve kaba görünümdeki yapılar kötü bitirme yüzeyleri ve kısa takım ömrü gösterir.

Küçük östenit tane boyutlu bir çelik işleme sırasında daha fazla güç absorbe eder. Ancak ince taneli çelikler bitirme tornalamalarında iyi yüzey kalitesi gösterir.

Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracak için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısıl iletkenlik kesme bölgesinde oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısıl iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [116, 117].

3.6. Yapay Sinir Ağları

Son yirmi yıldır bilgisayar bilimlerinde yaşanan teknolojik gelişmeler, neredeyse takip edilemeyecek bir hızda ilerlemektedir. Bu ilerleme, insanoğlunun da yaratıcılığını ve sınır tanımazlığını arttırmış, daha önce hiç hayal bile edilemeyen yeni gelişmelerin doğmasına neden olmuştur. Bu gelişmelerden bir tanesi de Yapay Zeka'dır. Bilim adamları, Yapay Zeka diyerek adlandırdıkları, insanın düşünebilme, anlayabilme, öğrenebilme ve yorumlayabilme yeteneklerini, programlamayla taklit ederek problem çözümünde kullanmaktadırlar. Yapay Sinir Ağları (YSA) da, Yapay Zeka biliminin altında araştırmacıların çok yoğun ilgi gösterdikleri bir araştırma alanıdır. YSA'ların örnekler ile öğrenebilme ve genelleme yapabilme özellikleri onlara çok esnek ve güçlü araçlar olma özelliği sağlamaktadır [135].

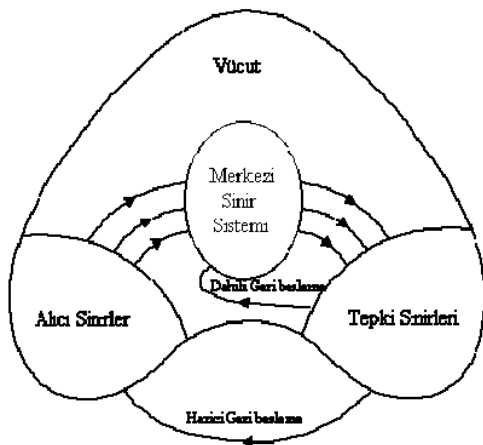
YSA, insan beynin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu özellikler geleneksel programlama yöntemleri ile yapabilmek oldukça zor ya da imkânsızdır. Bu sebeple, YSA programlanması çok zor veya mümkün olmayan durumlar için geliştirilmiş uyum sağlayabilen bilgi işleme ile ilgilenen bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir [45].

YSA, yapay nöron modeli çerçevesinde oluşturulan ağ yapısında, çeşitli öğrenme kurallarının uygulanması esasına dayanır. En önemli özelliği öğrenebilir olmasıdır. Yoğun

bir şekilde paralel işlem yapabilir, hataya karşı toleranslı olarak tasarlanabilir. Bir YSA tasarlanırken üç temel kistas ele alınmalıdır. Bunlar, öğrenme stratejisi, ağ mimarisi ve öğrenme kuralının seçimidir. YSA’da iki temel öğrenme stratejisi vardır. Bunlar eğiticişiz öğrenme ve eğiticişil öğrenme olarak tanımlanır. Bu iki strateji arasındaki en temel fark, çıkış değerişlerinin olup olmamasıdır. Çevre birimlerinden alınan bilgiye göre çıkış değerişlerinin belirlenmesinde hedef değerişler etkili ise eğiticişil, değil ise eğiticişiz öğrenme işleimidir. Yapay sinir ağlarında iki temel ağ mimari vardır. Eğer ağ üzerindeki bilgi akışı sürekli olarak ileriye doğru ise buna ileri beslemeli ağ mimarisi, ağ yapısında geri besleme bağlantıları var ise buna geri beslemeli ağ mimarisi denir. Literatürde pek çok YSA öğrenme algoritması tanımlanmıştır. Öğrenme algoritmalarındaki temel amaç, öğrenme için oluşturulan başarı kistasının zaman içinde azaltılmasını sağlayacak şekilde, ağ parametrelerinin ayarlanmasına dayanır [45].

3.6.1. Biyolojik nöron yapısı

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin (merkezi sinir ağı) bulunduğı 3 katmanlı bir sistem olarak açıklanmaktadır. Alıcı sinirler (receptor), organizma içerisinden ya da dış ortamdan algıladıkları uyarıları, elektriksel sinyallere dönüştürerek beyne iletirler. Tepki sinirleri (effector) ise, beynin ürettiğı elektriksel sinyalleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 3.9’da biyolojik sinir sisteminin blok seması görölmektedir.

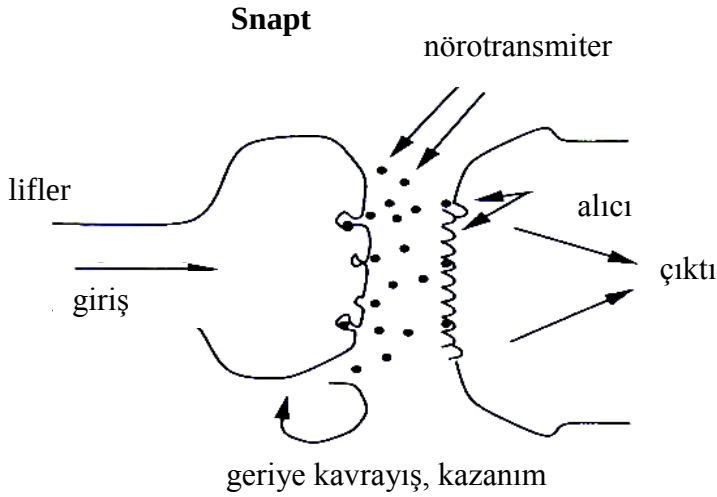


Şekil 3.7. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi

Sinir hücreleri nöron olarak bilinir. Nöron, özellikle beyin olmak üzere sinir sisteminin temel birimidir ve baslıca üç kısımdan oluşur. Bunlar:

- Gövde (cell body)
- Gövdeye gire sinyal alıcı lifler (dendrit),
- Gövdeden çıkan sinyal iletici lifler (axon).

İki hücrenin birbiriyle ile bilgi alış verişi snaptik bağlantılardan nörotransmitter'lar yolu ile sağlanır. Şekil 3.10'daki axon uçlarının her birisi başka bir hücre ile birleşmektedir. İki biyolojik hücrenin neurotransmitter'ler yolu ile bilgi alış verişi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Biyolojik hücrenin bilgi alışverişi [45]

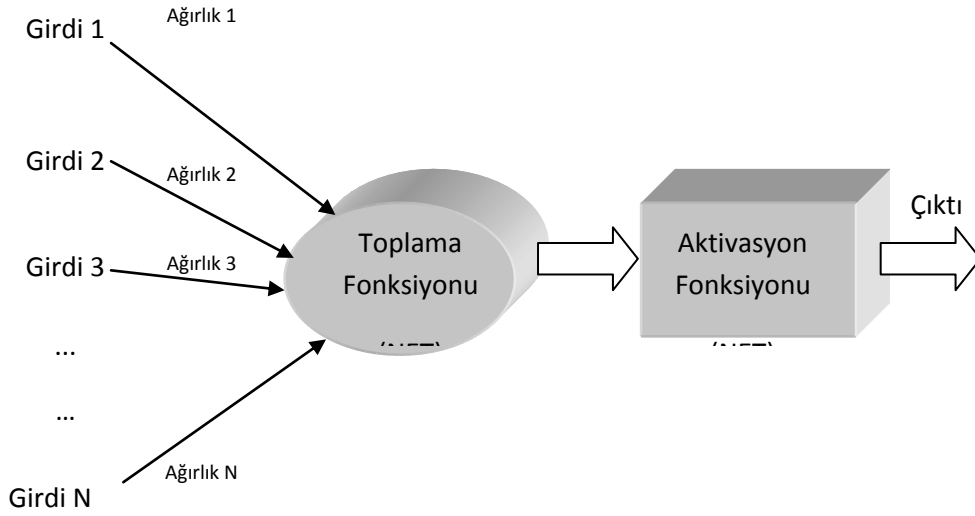
YSA'ları, insan beyninin çalışma prensibi örnek alınarak, geliştirilmeye çalışılmış olup aralarında yapısal bazı benzerlikler göstermektedir. Bu benzerlikler Çizelge 3.3'de verilmiştir [136].

Çizelge 3. 3. Sinir sistemi ile YSA'nın benzerlikleri

Sinir Sistemi	YSA Sistemi
Neuron	İşlem elemanı
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Eleman çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

3.6.2. Yapay sinir hücresi (Proses elemanı)

Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi YSA'nın da yapay sinir hücreleri vardır. Yapay sinir hücreleri mühendislik biliminde proses elemanları olarak da adlandırılmaktadır. Her proses elemanın 5 temel elemanı vardır. Bu elemanlar Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Yapay sinir hücresi

Proses elemanları:

Girdiler: Bir yapay sinir hücresine (proses elemanına) dış dünyadan gelen bilgilerdir. Bunlar ağız öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Yapay sinir hücresine dış dünyadan bilgiler geldiği gibi farklı hücrelerden kendisine bilgiler gelebilir.

Ağırlıklar: Ağırlıklar bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Şekil 3.11'deki ağırlık 1, girdi 1'in hücre üzerinde etkisini göstermektedir. Ağırlık değerinin büyük ya da küçük olması önemli veya önemsiz olduğu anlamına gelmez. Bir ağırlığın değerinin sıfır olması o ağı için en önemli olay olabilir. Eksi değerler önemsiz demek değildir. O nedenle artı veya eksi olması etkisinin pozitif veya negatif olduğunu gösterir. Sıfır olması ise herhangi bir etkisi olmadığını gösterir. Ağırlıklar değişken veya sabit değerler olabilir.

Toplama fonksiyonu: Bu fonksiyon, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada her gelen girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Böylece ağırlıklı net girdi bulunmuş olur. Bu şekilde formülize edilmektedir.

$$NET = \sum_i^n G_i A_i \quad (3.3)$$

Eş. 3.3’de G girdiler, A ise ağırlıkları, n ise bir hücreye gelen toplam girdi (proses elemanı) sayısını göstermektedir. Yalnız YSA’ da daima bu formülün kullanılması şart değildir. Uygulanan YSA modellerinden bazıları kullanılacak toplama fonksiyonunun belirleyebilmektedir. Literatürde yapılan araştırmalar toplama fonksiyonu olarak değişik formüllerin kullanıldığı göstermektedir. Çizelge 3.4’de değişik toplama fonksiyonlarına örnekler verilmektedir.

Çizelge 3. 4. YSA toplama fonksiyonları [45]

Net giriş	Açıklama
Çarpım Net Girdi = $\prod_i G_i A_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve daha sonra bulunan değerler birbirleri ile çarpılarak net girdi hesaplanır.
Maksimum Net Girdi = $\text{Max}(G_i A_i)$, $i = 1, \dots, N$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra en büyüğü yapay sinir hücresinin net girdisi olarak kabul edilir.
Minimum Net Girdi = $\text{Min}(G_i A_i)$, $i = 1, \dots, N$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra en küçüğü yapay sinir hücresinin net girdisi olarak kabul edilir.
Çoğunluk Net Girdi = $\sum_i \text{sgn}(G_i A_i)$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra pozitif ve negatif olanların sayısı bulunur. Büyük olan sayı hücrenin net girdisi olarak kabul edilir.
Kümülatif toplam Net Girdi = Net (Eski) + $\sum_i (G_i A_i)$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır ve daha sonra önce gelen bilgilere eklenerek hücrenin net girdisi bulunur.

Görüldüğü gibi, bazı durumlarda gelen girdilerin değeri dikkate alınırken bazı durumlarda ise gelen girdilerin sayısı önemli olabilmektedir. Bir problem için en uygun toplama fonksiyonu belirlemek için bulunmuş bir formül yoktur. Genellik ile deneme yanılma yolu ile toplama fonksiyonu belirlenmektedir. Bir YSA’ da bulunan proses elemanlarının

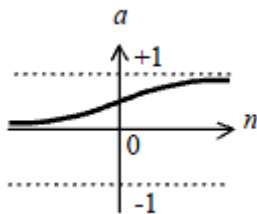
tamamının aynı toplama fonksiyonuna sahip olması gerekmez. Her proses elemanı bağımsız olarak farklı bir toplama fonksiyonuna sahip olabilir. Hatta ağıın bazı proses elemanları grup halinde aynı toplama fonksiyonuna sahip olabilir. Diğerleri ise farklı fonksiyonlar kullanabilir. Bu tamamen tasarımcının kendi öngörüsüne dayanarak verdiği karara bağlıdır.

Aktivasyon fonksiyonu (Transfer fonksiyonu): Bu fonksiyon, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşı üreteceği çıktıyı belirler. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu olarak da çıktıyı hesaplamak içinde değişik formüller kullanılmaktadır. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonunda da ağıın proses elemanlarının hepsinin aynı fonksiyonu kullanması gerekmez. Bazı elemanlar aynı fonksiyonu diğerleri farklı fonksiyonları kullanabilirler. Bir problem için en uygun fonksiyonda yine tasarımcının denemeleri sonucunda belirleyeceği bir durumdur. Uygun fonksiyonu gösteren bir formül bulunmuş değildir [45].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan Çok Katmanlı Perceptron (Algılayıcı) modelinde genel olarak aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon şu formül ile gösterilmektedir.

$$F(NET) = 1/(1+e^{-NET}) \quad (3.4)$$

Eş. 3.4’de NET proses elemanına gelen NET girdi değerini göstermektedir. Bu değer toplama fonksiyonu kullanılarak belirlenmektedir.



Şekil 3.10. Sigmoid transfer fonksiyonu

Sigmoid fonksiyonu grafiksel olarak da Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılacak olan diğer fonksiyonlara örnekler ise Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Hücrenin çıktısı: Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Hücre kendi çıktısını kendisine girdi olarak da gönderebilir. Bir proses elemanını birden fazla çıktısı olmasına rağmen sadece bir çıktısı olmaktadır. Ağ şeklinde gösterildiğinde bir proses elemanının birden fazla çıktısı varmış gibi görülmektedir. Bu sadece gösterim amacıyladır. Aslında bir proses elemanından çıkan tel bir çıktı değeri vardır. Aslında bir proses elemanına girdi olarak gitmektedir [45].

Çizelge 3. 5. YSA aktivasyon fonksiyonları [45]

Aktivasyon Fonksiyonu	Açıklama
Lineer fonksiyon $F(Net) = Net$	Gelen girdiler olduğu gibi hücrenin çıktısı olarak kabul edilir.
Step fonksiyon $F(Net) = \begin{cases} 1 & \text{if } Net > \text{esik_deger} \\ 0 & \text{if } Net \leq \text{esik_deger} \end{cases}$	Gelen NET girdi değerinin belirlenen bir eşik değerinin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin 1 veya 0 değerini alır.
Sinüs fonksiyonu $F(Net) = \sin(Net)$	Öğrenilmesi düşünülen olayların sinüs fonksiyonuna uygun dağılım gösterdiği durumlarda kullanılır.
Step fonksiyon $F(Net) = \begin{cases} 0 & \text{if } Net \leq 0 \\ Net & \text{if } 0 < Net < 1 \\ 1 & \text{if } Net \geq 1 \end{cases}$	Gelen bilgilerini 0 veya 1'den büyük veya küçük olmasına göre bir değer alır. 0 ve 1 arasında değerler alabilir. Bunların dışında değerler alamaz.
Hiperbolik tanjant fonksiyonu $F(Net) = (e^{Net} - e^{-Net}) / (e^{Net} + e^{-Net})$	Gelen NET girdi değerinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanır.

3.6.3. YSA'ların sınıflandırılması

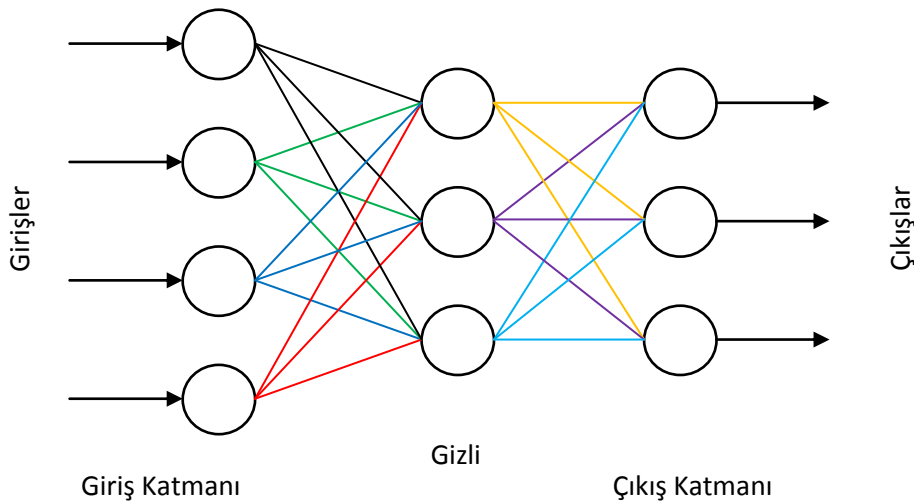
YSA'ları işlemci eleman olarak adlandırılan nöronlardan ve ağ bağlantılarından meydana gelmektedirler. Bu nedenle ağ bağlantı şekillerine, öğrenme kurallarına ve transfer fonksiyonlarına göre belirlenen bu YSA modellerini yapılarına ve öğrenme algoritmalarına bağlı olarak sınıflandırmak mümkündür [137].

YSA'larının ağ yapılarına göre sınıflandırılması

YSA'ları mimari yapılarına göre ileri beslemeli (feed-forward) ve geri beslemeli (feedback) ağlar olarak ikiye ayrılabilir [138]. Bu yapılar aşağıdaki kısımlarda açıklanmıştır.

İleri beslemeli ağ yapısı

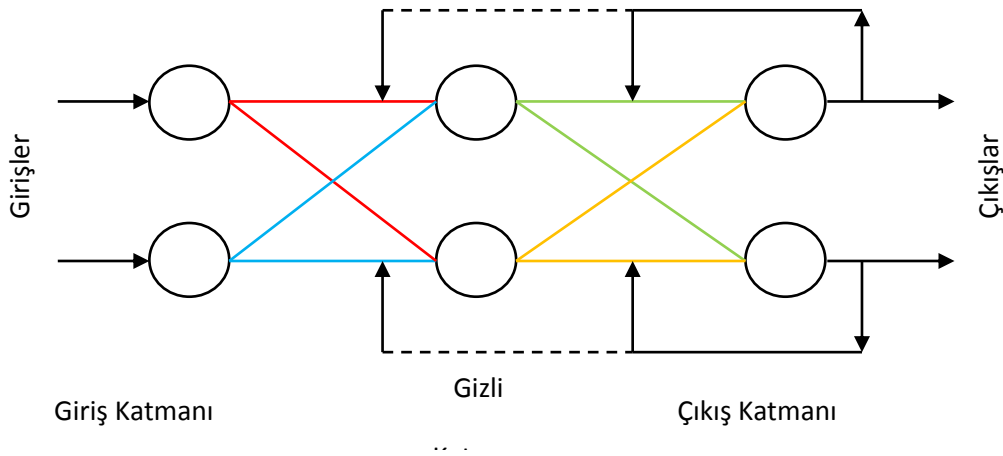
İleri beslemeli bir ağda işlemci elemanlar katmanlar üzerinde bulunur. Giriş katmanı, dış ortamdan aldığı bilgileri hiçbir değişiklik yapmadan ara katmandaki işlemci elemanlarına iletir. Bilgi, ara katman veya katmanlarla çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışına iletilir. Girişler tek yönlü olarak çıkışa doğru iletilirken, her bir katman çıkışı diğer katmana giriş olarak uygulanmaktadır. Herhangi bir andaki çıkış değeri, sadece o andaki girişin fonksiyonu şeklinde ortaya çıkmaktadır. Böylece bu ağ yapısı, statik yapılı bir hafızaya sahip olur. İleri beslemeli ağlar doğrusal olmayan bir yapıya sahip olup çok katmanlı perseptronlar (ÇKP), LVQ (Learning Vector Quantization Nicemleme Öğrenme Vektörü) ağ yapıları bunlara örnek olarak verilebilir. ÇKP yapısının eğitilmesinde en çok kullanılan öğrenme algoritması geri yayılım algoritmasıdır. İleri beslemeli YSA yapısı Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.11. İleri beslemeli YSA yapısı

Geri beslemeli ağ yapısı

Geri beslemeli bir sinir ağı, en az bir işlemci eleman çıkışının kendisine veya diğer işlemci elemanlara bir gecikme elemanı üzerinden giriş olarak uygulanması ile elde edilen ağ yapısıdır. Geri besleme, bir katmandaki işlemciler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki işlemciler arasında da gerçekleştirilebilmektedir. Geri beslemeli YSA yapıları, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterirler ve herhangi andaki çıkış değeri hem o andaki hem de daha önceki giriş değerlerine sahiptirler. Dinamik yapılarından dolayı geri beslemeli YSA'lar tahmin uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadırlar. Şekil 3.14'te geri beslemeli bir YSA yapısı verilmiştir.



Şekil 3.12. Geri beslemeli YSA yapısı

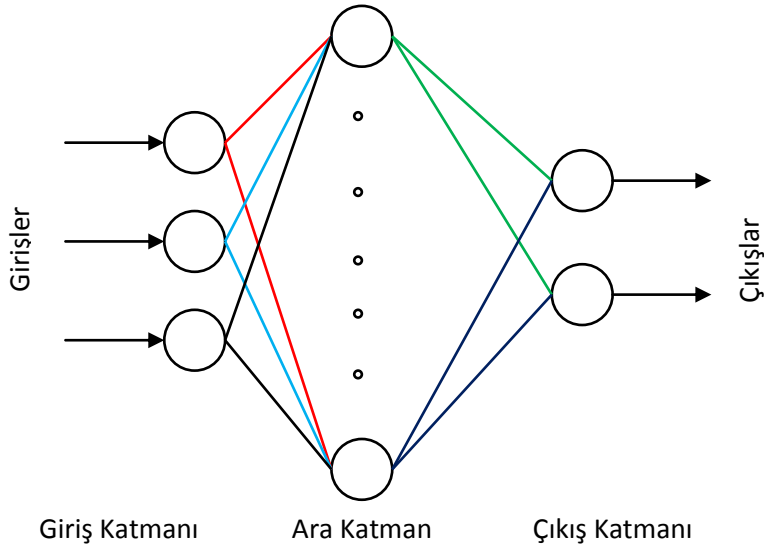
Yapay sinir ağı yapıları

Literatürde çok sayıda YSA ağ yapısı bulunmaktadır. Bunlara, ÇKP'ler, LVQ'lar, Elman ve Jordan Ağları, Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RTYSA) yapıları örnek olarak verilebilir. Bu ağlardan en çok kullanılan ÇKP ağ yapısıdır.

Çok katmanlı perseptron (algılayıcı) ysa yapısı

Çok katmanlı bir perseptron sinir ağı modeli, bir giriş, bir veya daha fazla ara kat ve birde çıkış katından oluşur Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Bir katmandaki bütün işlem elemanları bir üst katmandaki bütün işlem elemanlarına bağlıdır. Bilgi akışı ileri doğru olup geri besleme yoktur. Bu yüzden bu ağ yapısı ileri beslemeli sinir ağı modeli olarak adlandırılır.

Giriş katmanında herhangi bir bilgi işleme yapılmaz. Ara katman sayısı ve ara katmanlardaki işlem elemanı sayısı genellikle deneme yanılma yoluyla bulunur. Çıkış katmanındaki eleman sayısı yine uygulanan probleme bağlı olarak belirlenebilir. ÇKP ağlarında, ağa bir örnek gösterilir ve örnek neticesinde nasıl bir sonuç türeteceği de bildirilir. Örnekler giriş katmanına uygulanır, ara katmanlarda işlenir ve arzu edilen çıkış arasındaki hata tekrar geri doğru ağırlıklar üzerine yayılarak hata minimuma düşünceye kadar ağırlıklar değiştirilir. ÇKP ağı ileri beslemeli ağ olup, en genel sonuç çıkış katmanından elde edilir. Kullanılan eğitime algoritmasına göre ağın çıkışı ile anlamıyla giriş ile çıkış uzayı arasında statik haritalama yaparlar, bir andaki çıkış sadece o andaki girişin bir fonksiyonudur [139].



Şekil 3.13. Çok katmanlı bir perseptron sinir ağı modeli

Geri yayılım (BP- Back Propagation)

Birçok uygulamada yaygın bir şekilde kullanılmakta olan bir öğrenme algoritmasıdır. Anlaşılması ve matematik olarak kolayca ispatlanabilir olmasından dolayı tercih edilmektedir. Bu algoritma, hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılım ismini almıştır. Bu algoritmayla, i ve j katman nöronları arasındaki ağırlık ifadesi olan $\Delta w_{ji}(k)$ değişikliği hesaplanır. Bu ifade,

$$\Delta w_{ji}(k) = \eta \delta_j x_i \quad (3.5)$$

olarak verilir. Eş. 3.5'deki η öğrenme katsayısı, δ_j ara veya çıkış katmanındaki herhangi bir j nöronuna ait bir faktördür. Çıkış katmanı için bu faktör aşağıdaki şekilde verilir.

$$\delta_j = \frac{\partial f}{\partial net_j} (y_j^k - y_j) \quad (3.6)$$

Eş. 3.6'da $net_j \equiv \sum x_i w_{ji}$ ve y_j^k ise j nöronunun hedef çıkışıdır. Ara katmanlardaki nöronlar için bu faktör,

$$\delta_j = \frac{\partial f}{\partial net_j} \sum w_{qj} \delta_q \quad (3.7)$$

olarak verilir. Ara katmanlardaki nöronlar için herhangi bir hedef çıkış olmadığından Eş. 3.6 yerine Eş. 3.7 kullanılır. Bu duruma bağlı olarak, çıkış katmanından başlayarak δ_j faktörü, bütün katmanlardaki nöronlar için hesaplanır. Tüm ağırlıklar Eş. 3.5'e bağlı olarak güncelleştirilir.

Levenberg marquardt (LM)

Oldukça başarılı bir optimizasyon metodu olan LM algoritması, öğrenmede kullanılan geri yayılım algoritmasının farklı öğrenme tekniklerinden birisidir. Bu öğrenme algoritmasının seçilmesinin sebebi, hızlı öğrenme ve iyi yakınsayabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır. Temel olarak LM algoritması, maksimum komşuluk fikri üzerine kurulmuş bir hesaplama metodu olup Gauss-Newton ve Steepest-Descent (adım azaltmalı) algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşmuştur ve bu iki metodun kısıtlamalarını ortadan kaldırmaktadır. Performans fonksiyonu kareler toplamı biçimine sahip olduğunda Hessian matrisine;

$$H = J^T J \quad (3.8)$$

Eş. 3.8 ile yaklaşıklık yapılabilir ve buradan gradyan;

$$g = J^T . e \quad (3.9)$$

Eş. 3.9 ile hesaplanabilir. Eş. 3.8 – Eş. 3.9'daki J ağda yer alan ağırlık ve biaslara (yanlılık) ait hataların ilk türevlerini içeren Jacobiye matrisidir. e ise, ağ hatalarının vektörüdür. T matris transpozisini temsil eder. Bu metot ile performans fonksiyonu algoritmanın her iterasyonunda azalan bir eğim gösterecektir ve J matrisini Hessian matrisi yerine kullanır:

$$w_{k+1} = w_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T \times e \quad (3.10)$$

Eğer μ büyük ise, minimum yaklaşım adımı küçük olur. Bu yüzden, her başarılı adımda μ değeri azaltılmalıdır. Eğer performans fonksiyonu artıyorsa μ arttırılmalıdır.

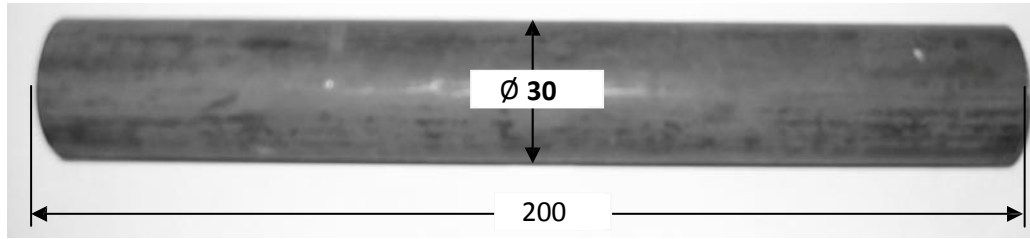
4. MATERİYAL VE METOT

4.1. İş Parçası Malzemesi

Küreselleştirme çalışmalarına uygun olarak seçilen ve kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiş olan AISI 1050 çeliği kullanılmıştır. Bu malzemeden işlenebilirlik deneylerinde kullanılabilecek Ø 30x200 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır (Şekil 4.1).

Çizelge 4. 1. Çalışmalarda kullanılan AISI 1050 malzemesinin kimyasal bileşimi (ağırlıkça %)

C	Si	Mn	P	S	Cr
0,52	0,28	0,81	0,009	0,022	0,08
Mo	Ni	Al	Cu	Sn	Fe
0,02	0,10	0,020	0,17	0,011	Kalan



Şekil 4. 1. İşlenebilirlik test numunesi

Haddelenmiş şartlardaki AISI 1050 malzemesi 30 mm çapta ve yaklaşık 6 m boyda aynı kalitedeki kütüklerden 200 mm boyda 40 adet numune kesilerek hazır hale getirilmiştir. Numunelere uygulanacak farklı ısı işlem sıcaklıkları ve fırında farklı sürelerde bekletilmesine bağlı olarak dörderli gruplar oluşturulmuştur. Bu dörderli gruplara kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve sertlik ölçümü deneyleri yapılabilmesi için hazır hale getirilmiştir.

4.2. Uygulanan Küreselleştirme Isıl İşlemler

4 adet numuneye 700 °C’de 12 saat sürede klasik yöntemle küreselleştirme ısı işlemi uygulanmış ve daha sonra fırın içinde yavaşça oda sıcaklığında soğutulmuştur. Diğer numuneler ise önce 850 °C’de 15 dakika östenitlenmiş ardından martenzitik yapı üretmek için su verilmiş ve daha sonra sırasıyla 600 ve 700 °C’de 0,25, 1 ve 3 saat ısı işlem

uygulayarak küresel sementitler üretilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada uygulanan küreselleştirme ısı işlem yöntemlerine bağlı olarak, işlemlerin özeti Çizelge 4.2’de kodları ile birlikte verilmiştir. Martenzitik yapının 500, 600 ve 700 °C’de gerçekleştirilen ısı işlemlerin farklı sürelerle bağlı olarak kodlama sistemi sırasıyla 500TX, 600TX ve 700TX olarak verilmiş, burada X küreselleştirme süresini göstermekte ve X = 0,25, 1 ve 3 saat zamanı göstermektedir. 700 °C’de 12 saat klasik küreselleştirilen numune 700S12 olarak kodlanmıştır.

Çizelge 4. 2. İş parçasına uygulanan ısı işlemler

No	Isıl İşlem	Sıcaklık	Süre	Kod	Açıklama
1	Isıl işlemsiz	-	-	Ham	Sıcak haddeleme yöntemi ile üretilmiş.
2	850 °C Su verme	500 °C	0,25 Saat	500T0,25	850 °C’de 15 dakika ısı işlem sonrası su verme ardından 500 °C’de 15 dakika küreselleştirme ısı işlemi uygulanarak havada soğutulmaya bırakılarak gerçekleştirilmiştir.
3			1 Saat	500T1	850 °C’de 15 dakika ısı işlem sonrası su verme ardından 500 °C’de 1 saat küreselleştirme ısı işlemi uygulanarak havada soğutulmaya bırakılarak gerçekleştirilmiştir.
4			3 Saat	500T3	850 °C’de 15 dakika ısı işlem sonrası su verme ardından 500 °C’de 3 saat küreselleştirme ısı işlemi uygulanarak havada soğutulmaya bırakılarak gerçekleştirilmiştir.
5		600 °C	0,25 Saat	600T0,25	850 °C’de 15 dakika ısı işlem sonrası su verme ardından 600 °C’de 15 dakika küreselleştirme ısı işlemi uygulanarak havada soğutulmaya bırakılarak gerçekleştirilmiştir.
6			1 Saat	600T1	850 °C’de 15 dakika ısı işlem sonrası su verme ardından 600 °C’de 1 saat t küreselleştirme ısı işlemi uygulanarak havada soğutulmaya bırakılarak gerçekleştirilmiştir.
7			3 Saat	600T3	850 °C’de 15 dakika ısı işlem sonrası su verme ardından 600 °C’de 3 saat küreselleştirme ısı işlemi uygulanarak havada soğutulmaya bırakılarak gerçekleştirilmiştir.
8		700 °C	0,25 Saat	700T0,25	850 °C’de 15 dakika ısı işlem sonrası su verme ardından 700 °C’de 15 dakika küreselleştirme ısı işlemi uygulanarak havada soğutulmaya bırakılarak gerçekleştirilmiştir.
9			1 Saat	700T1	850 °C’de 15 dakika ısı işlem sonrası su verme ardından 700 °C’de 1 saat küreselleştirme ısı işlemi uygulanarak havada soğutulmaya bırakılarak gerçekleştirilmiştir.
10			3 Saat	700T3	850 °C’de 15 dakika ısı işlem sonrası su verme ardından 700 °C’de 3 saat küreselleştirme ısı işlemi uygulanarak havada soğutulmaya bırakılarak gerçekleştirilmiştir.
11		700 °C	12 Saat	700S12	Klasik küreselleştirme ısı işlemi, 700 °C’de fırında 12 saat ısı işlem sonrası fırında soğularak gerçekleştirilmiştir.

4.3. Mikroyapıların Açığa Çıkartılması

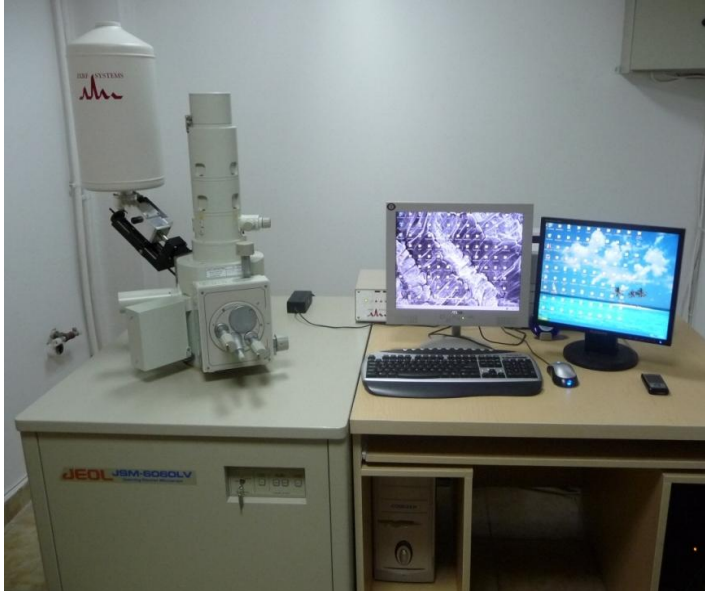
Metalografik incelemeler için küreselleştirme ısıtıl işlemi, su verme sonrası küreselleştirme ısıtıl işlemi ve ısıtıl işlem görmemiş durumdaki iş parçalarından haddeme yönüne dik yönde 10 mm genişliğinde numuneler kesilmiştir. Kesilen bu numuneler mikroyapı ve sertlik deneylerinin yapılması için de kullanılmıştır. İş parçalarının mikroyapılarının açığa çıkartmak için sırayla zımparlama, parlatma ve dağlama işlemleri numunenlerin alın yüzeyine uygulanmıştır. Zımparlama işlemi öncesi iş parçalarından alınan yüzeyleri taşlama tezgahında taşlanarak daha kolay bir zımparlama işlemi sağlanmıştır. Daha sonra numunelerin alın yüzeyinin zımparalanması için sırayla 220, 400, 800 ve 1200 grit sic içerikli zımparalar kullanılarak zımparlama işlemi uygulanmıştır. Zımparalamanın ardından her bir numune, sırasıyla 6 µm ve 3 µm elmas pasta süspansiyonlar kullanılarak parlatma işlemi yapılmıştır. Son olarak numunelerin mikroyapılarını açığa çıkarmak için dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatılan numuneler % 2'lik Nital (2 ml HNO₃ + 98 ml CH₃OH) ile dağlanarak metalografik incelemeye hazır hale getirilmiştir.

4.4. Mikroyapı analizi

Isıl işlemler sonucu oluşan mikroyapı değişimlerinin tespit edilmesi için zımparlama, parlatma ve dağlama işlemleri ardından mikroyapısı açığa çıkartılmasının ardından Jeol JSM 6060LV model Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile mikroyapı görüntüleri alınmıştır (Resim 4).

4.5. Sertliklerin belirlenmesi

Isıl işlemlerden sonra numunelerin sertlik ölçümleri Resim 4.2'de gösterilen "Instron-Wolpert" marka "Diatestor 7551" model sertlik ölçüm cihazı kullanılarak 30 kg yük uygulanarak Vickers (HV30) sertlik değerleri belirlenmiştir. Sertlik ölçme yöntemi sertlik cihazı önce kalibrasyon bloğu ile kalibre edildikten sonra mikroyapıları hazır hale getirilen numunelerin alın yüzeyinin beş farklı bölgesinden sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu beş farklı sertlik değerlerinin ortalaması alınarak her bir numunenin ortalama sertlik değerleri elde edilmiştir.



Resim 4.1. Mikroyapıların görüntülendiği Taramalı Elektron Mikroskop



Resim 4. 2. Sertlik cihazı

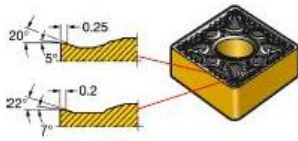
4.6. Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülük Deneyleri

İş parçaları, deneyler öncesinde oluşabilecek aksenal kaçıklık ve ısıtıl işlem sonrasında oluşması muhtemel oksit tabakayı ve dekarbürize olan bölgeyi gidermek için universal torna tezgahında ana $\varnothing$ üzerinden 0,5 mm talaş derinliğinde boyuna tornalanmış ve her iki uca $\varnothing$ 6,3 mm'lik punta deliği açılmıştır.

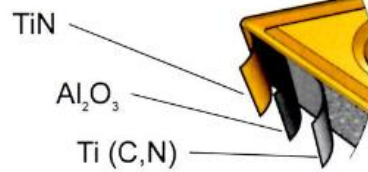
4.6.1. Kesici takım seçimi ve takım tutucusu

İşleme deneylerinde kullanılan kesici takımın seçimi için ISO 3685'te [146] belirtilen deney şartlarına uygun olarak SNMG formunda sementit karbür kesici takım belirlenmiştir. Bu kesici takım formuna uygun 75° yanaşma açısına sahip PSBNR 2525M12 takım tutucu kullanılmıştır [147]. İş parçası malzemesi ve sertlik değerleri göz önünde bulundurularak ISO P15(çelikler), K15(dökme demir) ve H15(sertleştirilmiş malzeme) kalitelerine uygun gelen SANDVIK takım firmasının CVD kaplı GC4215 kaliteli çift taraflı kesici takımı seçilmiştir. Kesici takım için üretici takım firmasının SNMG 120408 PM formulu (GC4215) kalitedeki talaş kırıcı geometrisi belirlenmiştir. Kesici takım ve kaplama özellikleri Şekil 4.2'de, kesici takımın özellikleri ise Çizelge 4.3'de verilmiştir.

PM



CVD

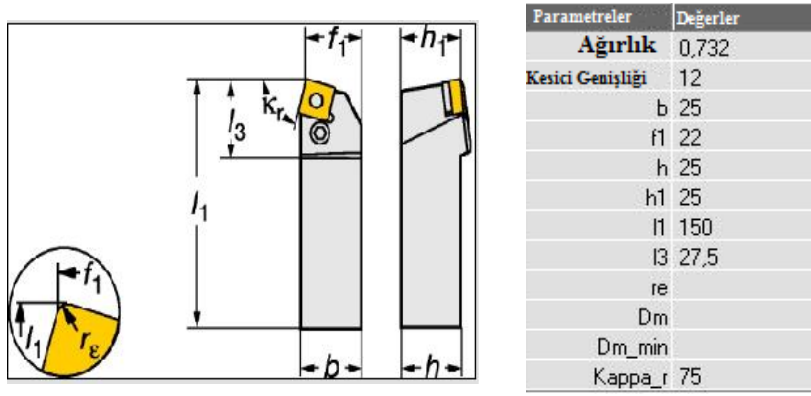


Şekil 4. 2. Kesici takım ve kaplama özelliği [147-148]

Çizelge 4. 3. Kesici takımın özellikleri [147-148]

Kalite		Kaplama tipi	Kaplama katmanı
Sandvik	ISO	CVD	Bileşim
GC4215	P15, K15, H15	(Kimyasal buhar çökmesi)	Üç katlı TiN- Al ₂ O ₃ – Ti (C, N)

Şekil 4.3'da deneylerde kullanılan PSBNR 2525M12 formunda takım tutucu ve takım boyutları verilmiştir.



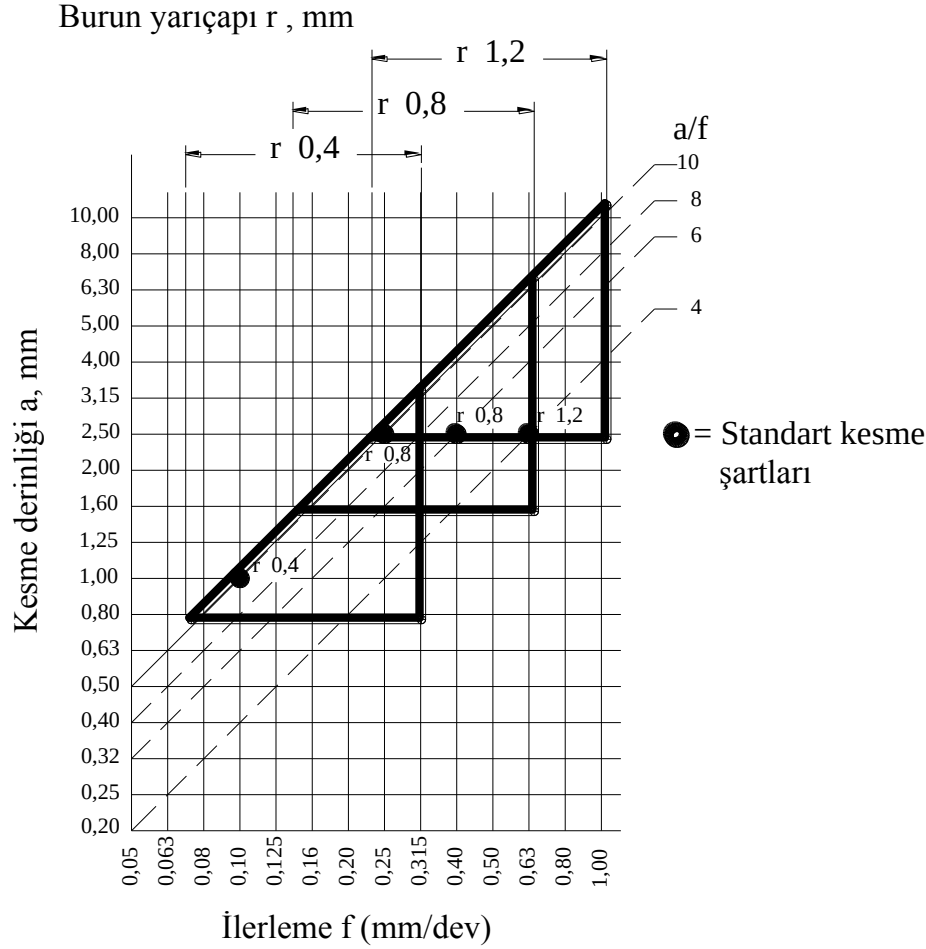
Şekil 4. 3. Takım tutucu ve boyutları [147-148]

4.6.2. Takım tezgahı

Deneyler FANUC kontrol üniteli, 10 kw, ayna çapı 250 mm, devir sayısı azami 4000 dev/dak, tezgah hassasiyeti 0,001 mm, 12 takım tutucu taretli, x eksen 250 mm, z eksen 600mm hareket kabiliyetine sahip TC-35 JOHNFORD marka CNC torna tezgahı kullanılmıştır.

4.6.3. Kesme parametrelerinin belirlenmesi ve deneylerin yapılışı

Kesme parametreleri belirlenirken, takım üretici firması verileri ve ISO 3685'teki (Şekil 4.4) öneriler göz önüne alınarak, 5 farklı kesme hızı (150, 175, 200, 225, 250 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,16- 0,25-0,4 mm/dev) ve iki farklı talaş derinliği (1,6 ve 2,5 mm) şeklinde işlenebilirlik parametreleri belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 4.5'de liste halinde verilmiştir. Deneylerde, numuneler üzerinden 10 mm boyda talaş kaldırılarak ölçüm yapılmıştır. Deneylerde aynı şartları elde etmek için her bir deney için kullanılmamış yeni bir kesici takım kullanılmıştır. Her bir deney sonrası tezgâh durdurularak kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme parametreleri değiştirilmiş ve her bir numune için 30 adet deney yapılmıştır. Farklı sıcaklığa ve zamana bağlı olarak küreselleştirme işlemine tabii tutulan 6 parça, normal küreselleştirme işlemi görmüş 1 parça ve ham parça dahil olmak üzere 8 farklı mikroyapıya sahip iş parçalarının her birine bu kesme şartları uygulanarak 240 adet deney gerçekleştirilmiştir.



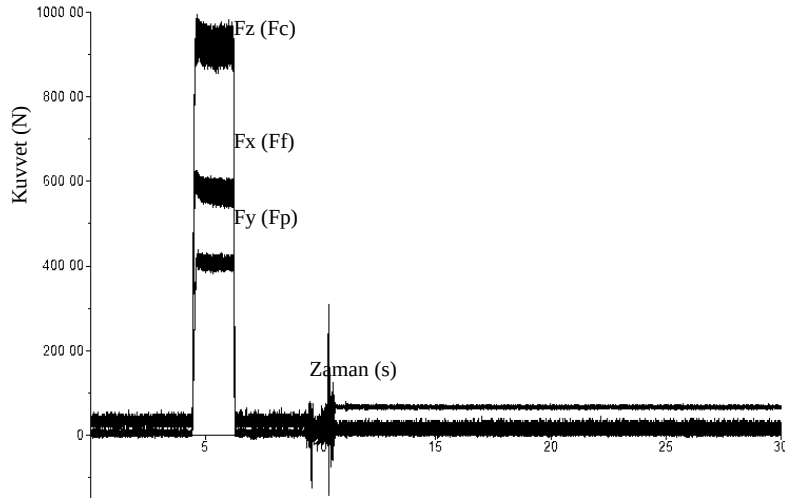
Şekil 4.4. Kesme şartlarının sınırları [146]

4.6.4. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

Kesme kuvvetleri *KİSTLER 9275B* tipi dinamometre ile gerekli bilgisayar bağlantısı yapılarak kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızının değişken olduğu deneylerde kesme kuvvetlerinin grafikleri Şekil 4.5’de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Kesme kuvveti verileri Kistler Type 5019B130 Çokkanallı Şarjlı Yükselteç yardımıyla 2855A3 A/D Board CIO-DAS 1602/12 veri alma kartı ve 2825A1-2 Dynoware isimli bilgisayar yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu program yardımıyla kesme kuvvetlerinin üç bileşeni için kesme süresince elde edilen kuvvet değerlerinin ortalamaları Şekil 4.5’deki grafiklerde görülen kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerleri esas alınarak, ortalama esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f), pasif kuvvetleri (F_p) belirlenmiştir. Şekilde gösterilen F_x F_f ’e, F_y F_p ’ye, F_z ise F_c ’ ye karşılık gelen kesme kuvvetlerini göstermektedir.

Çizelge 4. 4. Deneylerde kullanılan parametreler

Numune Kodu	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)
600T0,25/1/3 700T0,25/1/3 700S12 Ham	150	0,16	1,6 2,5
		0,25	
		0,4	
	175	0,16	1,6 2,5
		0,25	
		0,4	
	200	0,16	1,6 2,5
		0,25	
		0,4	
	225	0,16	1,6 2,5
		0,25	
		0,4	
	250	0,16	1,6 2,5
		0,25	
		0,4	



Şekil 4. 5. Kistler 9257B tipi dinamometre ile zaman bağlı ölçülen kesme kuvvetleri

4.6.5. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde kullanılan ölçüm cihazları Resim 4.3’de görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için *MITUTOYO SURFTEST SJ-201* taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde Ra μ m değeri kullanılmıştır.



Resim 4. 3. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

4.7. Kullanılan YSA Programı Ve Oluşturulması

YSA modelinin oluşturulması için Matlab programlama dili kullanılmıştır. YSA ile oluşturulan modelin ağ yapısı girdi verileri olarak kesme şarları, küreselleştirme sıcaklığı ve süresi dikkate alınarak eğitilmiştir. Eğitilen modelin çıktı verileri, deneysel sonuçlara göre kıyaslanması ve hata oranlarına göre kullanılabilirliği üzerinde durulmuştur.

4.7.1. YSA modelinin seçimi

Yapay sinir ağındaki modeli oluşturmadan önce hangi ağın hangi problem için daha uygun olacağının bilinmesi oldukça önemlidir. Bu aşağıdaki Çizelge 4.7’de özetlenmiştir.

Çizelge 4. 5. Hangi amaç göre YSA modelinin seçimi

Kullanım Amacı	Ağ Türü	Ağın Kullanımı
Tahmin	Çok Katmanlı Persptron (ÇKP)	Ağın girdilerinden bir çıktı değerinin tahmin edilmesi
Sınıflandırma	LVQ ART Counterpropagation Probabilistic ağlar	Girdilerin hangi sınıfa ait olduklarının belirlenmesi
Veri İlişkilendirme	Hopfield ağları Boltzman Bidirectional associative Memory (BAM)	Girdilerin içindeki hatalı bilgilerin bulunması ve eksik bilgilerin tamamlanması

Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi her ağın iyi olduğu kullanım alanları mevcuttur. Bu alanları iyi tespit ederek uygulamalar geliştirmek başarılı sonuçları elde etmeyi sağlar. Bazı durumlarda yanlış ağ seçimi yüzünden haftalarca ağını eğitemeyen ve yapay sinir ağlarının

becerisini bazı olaylar için yetersiz olduğunu iddia edildiği görülmektedir. Bu doğru bir yaklaşım değildir. Doğru ağ, doğru örnek seti ve doğru bir öğrenme algoritmasının çözemeyeceği problem yok denecek kadar azdır [45].

Bu çalışmada da kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin edildiği için en uygun YSA ağ modeli ÇKP ağ türüdür. Bu ağ yapısının seçilmesindeki diğer amaçlar;

i. Bir ileri beslemeli geri yayılım ağı oluşturması

Matlab programlama dilinde genel olarak yeni bir ağ oluşturmak için Newlin, Newp ve Newff ağ modelleri kullanılır. Newlin ağ modeli doğrusal katman oluşturur. Bu ağ modeli basit eğri uydurma yöntemidir. Newp ağ modelinde ise algılayıcı oluşturur. Newff ağ modeli bir ileri beslemeli geri yayılım ağını oluşturur. Böylece Newff ağ modelinin gerçek sonuç değerlerine yakın ve en uygun tahminlerde bulunabilecek değerleri bize sunabileceği görülür.

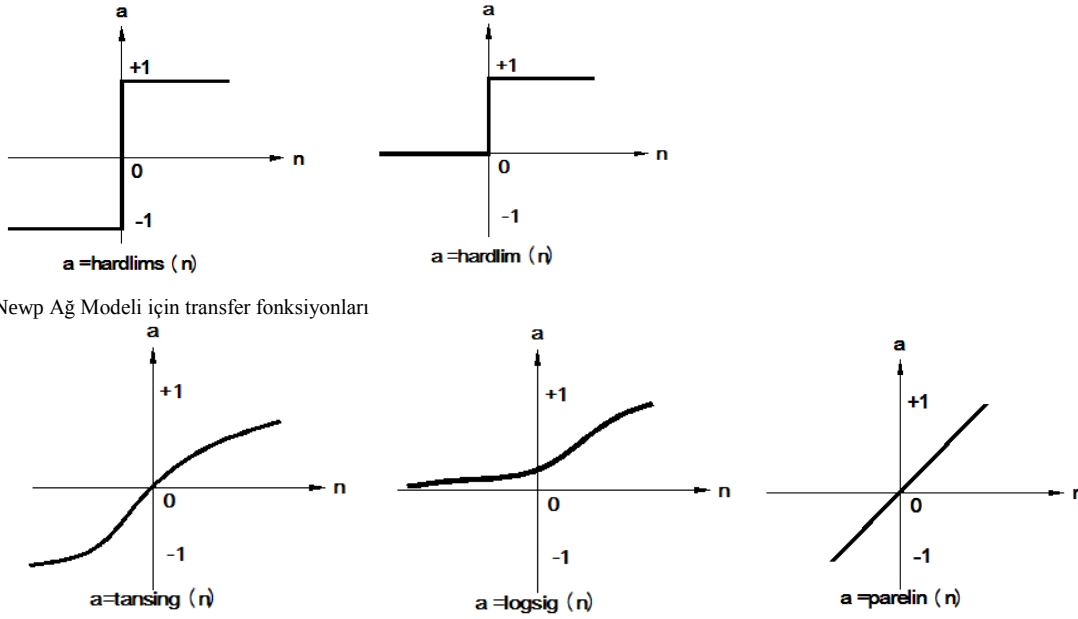
ii. Uygun öğrenme oranının ÇKP ağ modelinin sahip olması

ÇKP, YSA modellerinde katman sayısı ve katmanlardaki nöronların sayısı uygun olarak belirlendiğinde öğrenme oranı daha üst değerlere çıkartılabilir. Bundan dolayı newp ve newff ağ modelleri uygun öğrenme oranlarına sahiptir. Ayrıca eğitim süresini değiştirecek parametrelerden biri olan öğrenme oranının (α) başlangıçta uygun bir şekilde ayarlanması gerekir. Farklı eğitim aşamaları için uygun tek bir öğrenme oranı belirlenmemiştir. Yani öğrenme oranında belirli bir kıstası yoktur. Çoğunlukla bu oran deneysel olarak belirlenir. Büyük öğrenme oranlarının tanımlanması, eğitimde davranış bozukluklarına sebep olur. Böyle bir davranışı önlemek için öğrenme oranını küçük değerlerde tutmak gerekir. Öğrenme oranı $0,001 < \alpha < 1$ aralığında seçilen sabit bir sayıdır [149].

iii. ÇKP ağ modelinde uygun transfer fonksiyonlarına sahip olması

Bütün ağ modellerine has transfer fonksiyonları bulunur. Newlin ağ modelinde lineer transfer fonksiyonu bulunur. Newp ağ modelinde hardlims ve harlim transfer fonksiyonu kullanılır. Newff YSA modelinde parelin, logsig ve tansing transfer fonksiyonları kullanılır. Bu transfer fonksiyonlarını Şekil 4.6'da verilmiştir.

Transfer fonksiyonları:



Newp Ağ Modeli için transfer fonksiyonları

Newff Ağ Modeli için transfer fonksiyonları

Şekil 4. 6. Transfer fonksiyonları

iv. Geri dönüşümlü ağ eğitime sahip olması

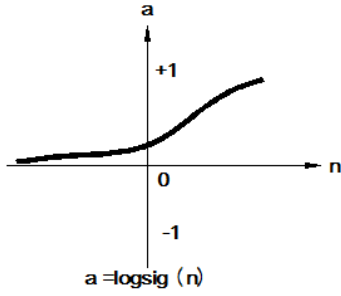
Newlin ve newp ağ modellerinde geri dönüşümlü ağ yapısı mevcut değildir. Newff ağ modelinde geri dönüşümlü ağ yapısı mevcuttur. Böylelikle ağ modelinde tahmini sonuçları öğrenmek için girilen değerlerin verdiği yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri sonuçları bir sonraki veriler için bir girdi verisi olarak kullanılır. Sonuç olarak her defa girilen değer, tahmin edilen gerçek değere ulaşmak için daha yakın bir sonuç elde edilmiş olunur.

4.7.2. YSA' nın modellenmesinde kullanılan transfer fonksiyonu

YSA modelinde newff ağ modelini seçildiği için bu modelde kullanılan transfer fonksiyonları arasında biri seçilir. Sigmoid transfer fonksiyonu newff ağ modelinde kullanılır. Sigmoid transfer fonksiyonu, türevi alınabilen doğrusal olmayan ve sürekli bir fonksiyondur. Bundan dolayı en çok tercih edilen transfer fonksiyonudur. Sigmoid fonksiyonunun eşitliği;

$$f(\text{NET}) = 1/(1 + e^{-\text{NET}})$$

Sigmoid transfer fonksiyonun şekilsel görünümü Şekil 4.7’de verilmiştir.



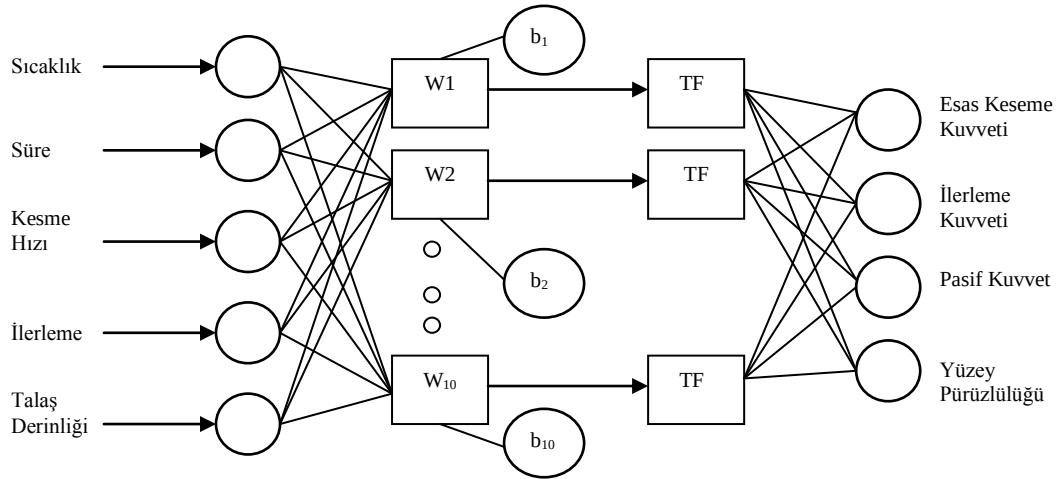
Şekil 4. 7. Sigmoid transfer fonksiyonu

4.7.3. Ağ modelinin oluşturulması

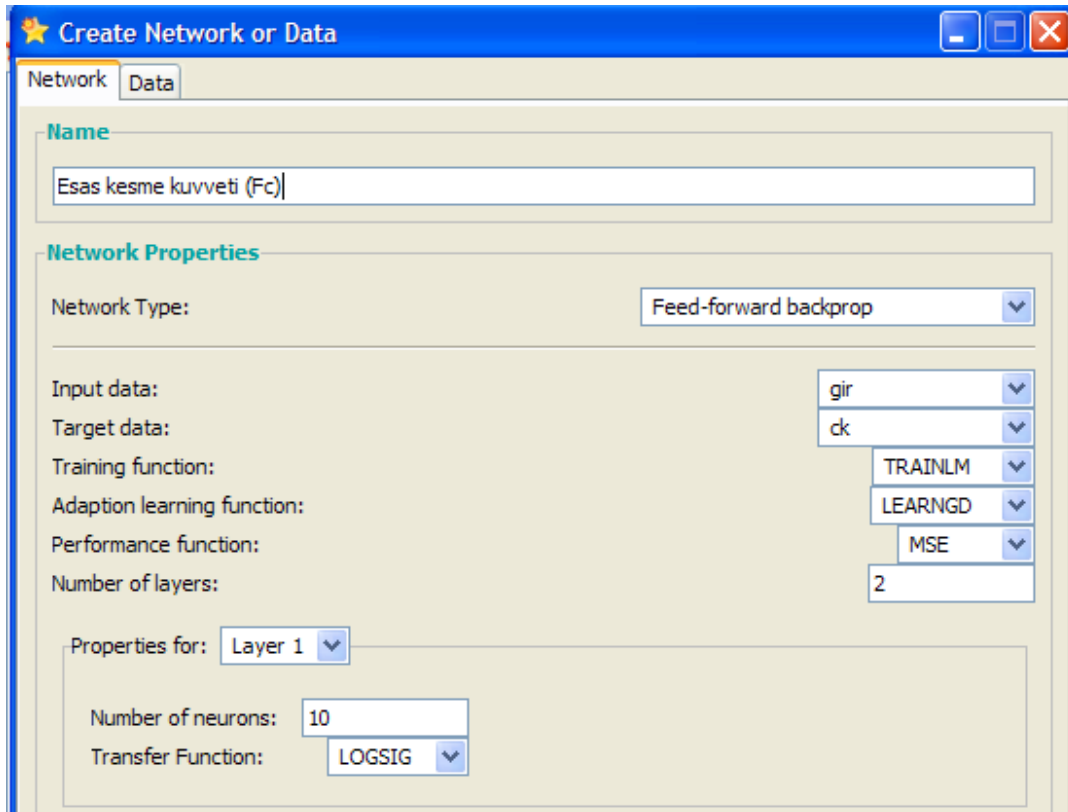
Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için oluşturulan ağın şematik gösterimi Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Giriş parametreleri olarak küreselleştirme sıcaklığı ve süresi, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği olarak belirlenmiştir.

Giriş ve çıkış değerleri verileri YSA modeline MATLAB araç kutusundan (nntool) yüklenilir. Ağ modeli için ağ yapısı ileri beslemeli ve geri yayınlı ağ yapısı, ağın eğitimi Levenberg-Marquardt (TRAINLM) fonksiyonu, adaptasyon eğitim fonksiyonu yani dengeleme fonksiyonu (LEARNGD) ve ağ performansı sonuçlarını değerlendirmek için karesel hatalar ortalaması (MSE - Mean Squart Error) seçilmiştir. 10 nörona sahip bir gizli katman ve gizli katmandaki transfer fonksiyonu LOGSIG (SIGMOID) ve ikinci katman yani çıkış katmanını transfer fonksiyonu PURELIN olarak belirlenmiştir. Bu seçimlerin tamamı Şekil 4.9’de görülmektedir.

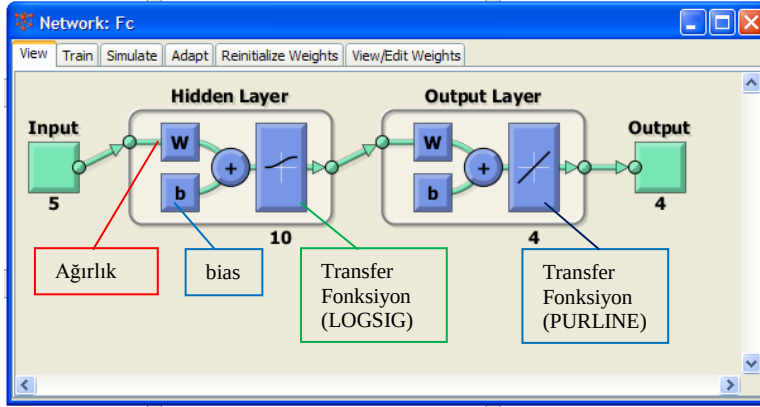
Ağın eğitime hazır hale gelmesi için değişkenlerin tamamı belirlendikten sonra ağ yapısı Şekil 4.10’daki gibi oluşturulmuştur. Şekil 4.10’daki şematik görüntü kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerini tahmini için 5 farklı girişin, 10 nörona sahip 1 gizli katmanın ve 1 çıkış katmanından oluştuğunu göstermektedir. Tercih edilen LOGSIG transfer fonksiyonu gizli katmandan çıkışa ve gizli katmandaki 10 nörondan çıkışı oluşturacak değerlere ulaşmak için ise PURELINE transfer fonksiyonu kullanıldığının şematik özetidir.



Şekil 4. 8. Oluşturulan YSA ağ modeli



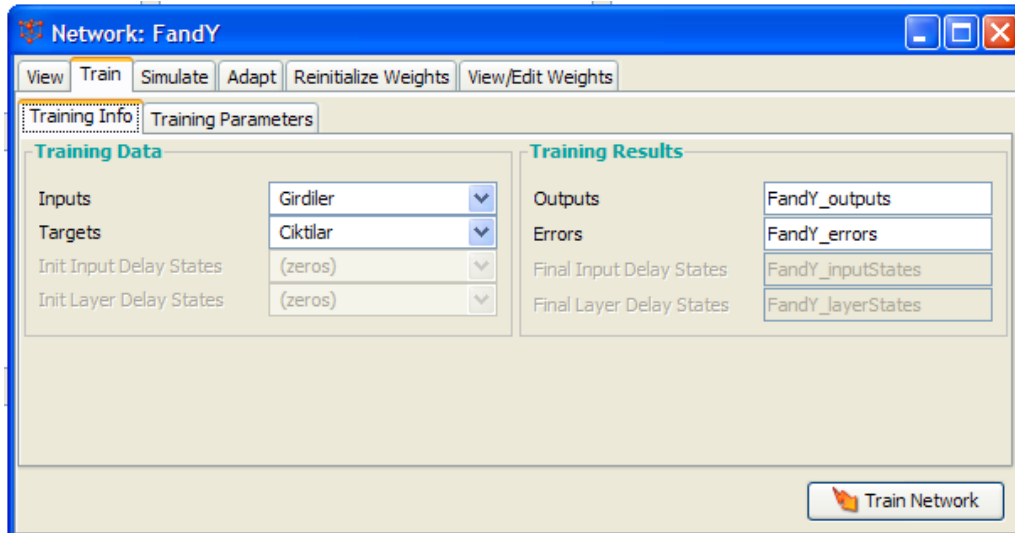
Şekil 4. 9. Ağ modelinin oluşturulması



Şekil 4. 10. Ağ modeli

4.7.4. Ağ modelinin eğitilmesi

YSA tarafından tahmin edilen sonuç değerlerini, hata miktarlarını, ağ performansı ve regresyon katsayısı değerlerini elde etmek için oluşturulan ağın eğitilmesi gerekir. Oluşturulan ağın eğitilmesi için ağ modeli araç kutusu Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Deneylerde elde edilen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlük değerleri çıktı verileri olarak alınırken giriş verileri olarak kesme kuvvetleri, sıcaklık ve süre olarak belirlenmiştir. Şekil 4.11’deki ağın eğitilmesi (Train Network) tuşuna basılarak gerçekleşir.



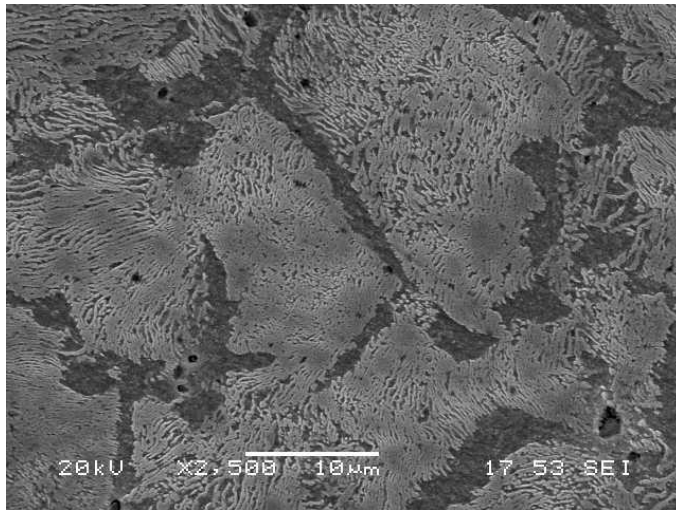
Şekil 4. 11. Ağ modeli eğitim araç kutusu

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

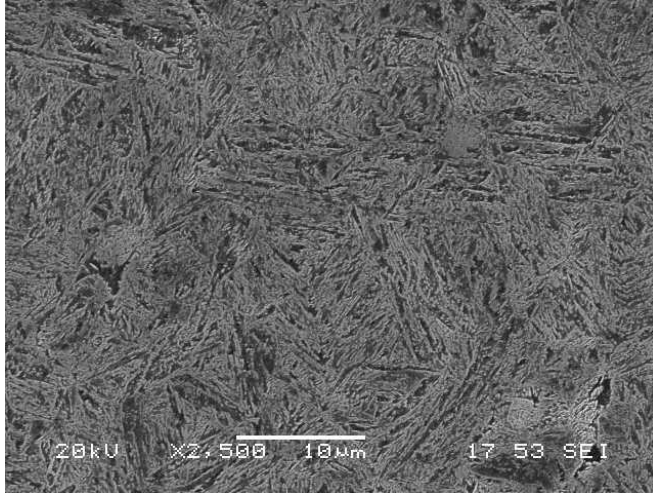
AISI 1050 malzemesinin mikroyapısındaki lamelli sementit fazları, önce 850 °C’de su verme sonrası üç farklı sıcaklık (500, 600 ve 700 °C), üç farklı sürede (0,25, 1 ve 3 saat) küreselleştirme ve 700 °C’de uzun süre tavlanaarak klasik küreselleştirme ısıt işlemleri uygulanmıştır. Küreselleştirme ısıt işlemi uygulanmış ve ısıt işlem uygulanmamış numunelerin mikroyapı değişimleri SEM cihazı ile görüntülenmiş ve numunelerin sertlik değerleri ölçülmüştür. Mikroyapıları değiştirilen ve ısıt işlemsiz numuneler üzerinde CNC torna tezgâhında kesme parametrelerindeki değişime bağılı olarak kesme kuvvetleri deneyleri yapılmıştır. Talaşlı işleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri, işlenmiş parçalar üzerinden ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin mikroyapı sertlik değişimine bağılı olarak birbirleriyle olan ilişkileri değerlendirilmiştir.

5.1. Mikroyapı

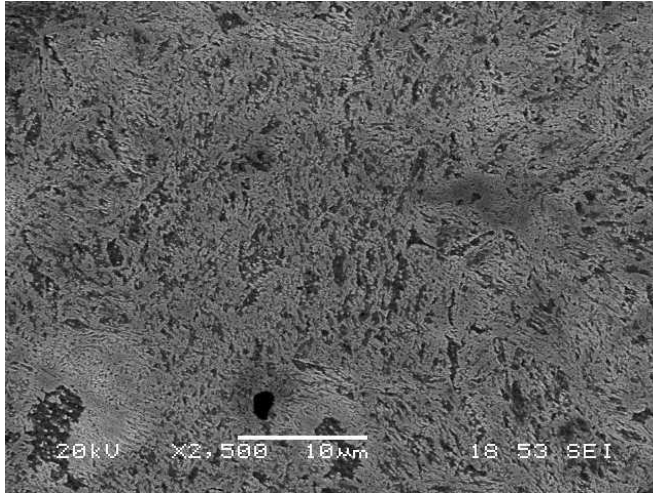
Çalışmalarda kullanılan AISI 1050 malzemenin SEM mikroyapısına Resim 5.1’e göre primer ferritik matriste ortalama 20 µm koloni boyutuna sahip ince lamelli perlitik yapıdan oluşmaktadır.



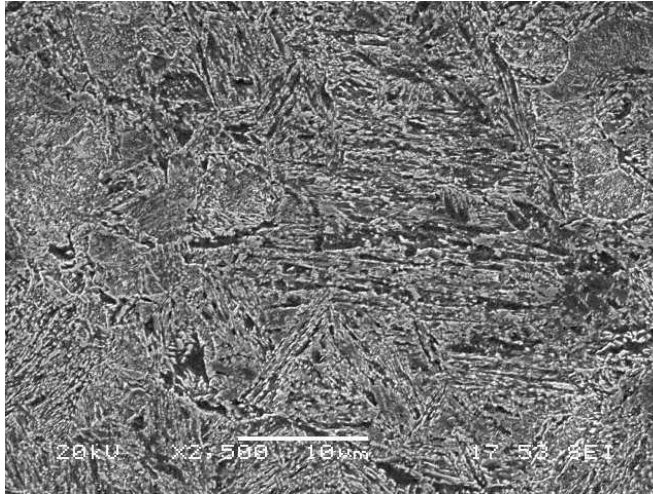
Resim 5. 1. AISI 1050 malzemesinin orjinal mikroyapısı



a)



b)



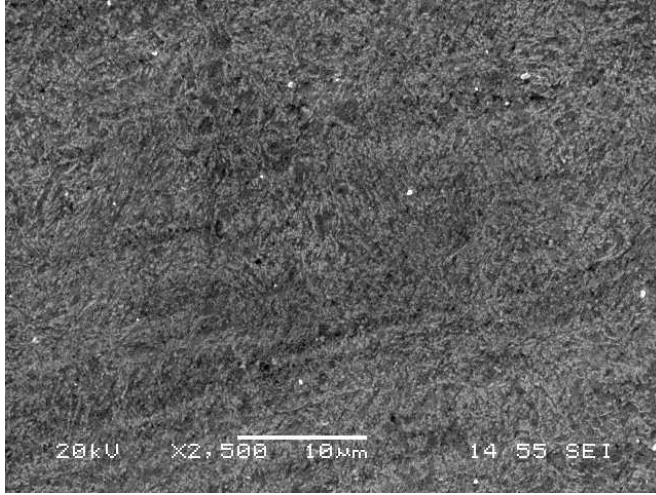
c)

Resim 5.2. 500 °C’de küreselleştirme işlemi gerçekleştirilen parçaların SEM cihazından alınan mikroyapılar a) 500T0,25 b) 500T1 c) 500T3

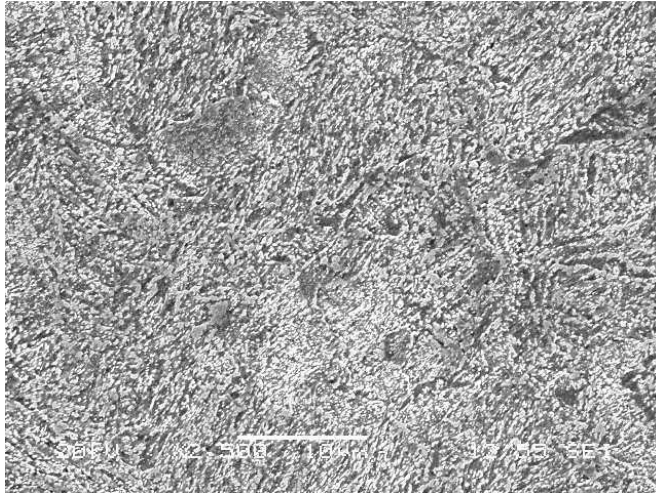
Her bir grup 850 °C’de 15 dakika östenitik faza getirilmenin ardından su verilerek mikroyapıları martenzite dönüştürülmüştür. Martenzit, hacim merkezli tetragonal yapıya sahip aşırı doymuş bir katı çözeltili olan kararsız dengeli (metastabil) bir fazdır. Martenzitik yapıdaki çeliğe enerji verildiğinde; karbon karbür olarak çökelir, demir ise hacim merkezli kübik yapıya dönüşür. Martenzit mikroyapıya dönüştürülen numunelerin 500T0,25, 500T1 ve 500T3 küreselleştirme ısıtma işlemi uygulanması sonucunda oluşan mikroyapı değişimleri Resim 5.2’de verilmiştir.

500T0,25 numunesinin mikroyapısında Resim 5.2a’da her hangi bir küreselleştirme etkisinin meydana gelmediği, mikroyapısında ise halen martensit çıtalarının varlığı açıkça görülmektedir. Bu sıcaklık ve sürede bu numunede küreselleşme etkisinin yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Resim 5.2b’de 500T1 numunesinin mikroyapısındaki martenzit fazın çıtalarının yavaş yavaş azaldığı ancak halen küreselleştirme etkisinin olmadığı açıkça söylenebilir. Benzer durum 500T3 numunesinin mikroyapısında Resim 5.2c’de martenzitik yapıda küreselleşme için potansiyel çekirdekleşmenin başladığı düşünülmektedir. Bu durum küreselleştirmenin enerjiyi ilgilendiren bir ısıtma işlemi olmasından dolayı hem sıcaklık hem de sürenin küreselleştirme işlemi etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Resim 5.2’deki iş parçalarının mikroyapısında küreselleşmenin meydana gelmediği ve bunun sebebinin ısıtma işlemi sürenin yetersiz olması ve mikroyapının küreselleşmesi için yeterli enerjinin elde edilememesinin bir sonucudur. 500T grubu numunelerini mikroyapılarında her hangi bir küreselleşme meydana gelmediği için kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük deneyleri de yapılmamıştır.

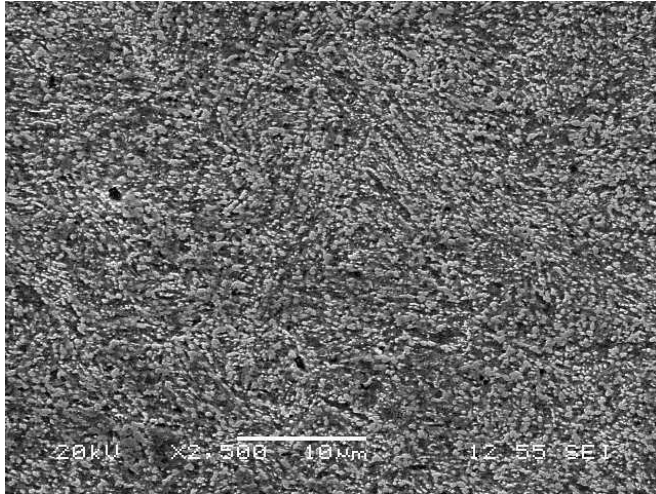
Martenzitik yapıdan 600 °C’de farklı sürelerde ısıtma işlemi uygulanarak elde edilen mikroyapıları küreselleşmiş iş parçasından alınan numunelerin SEM görüntüleri Resim 5.3’de görülmektedir. 600T0,25 mikroyapısında (Resim 5.3a) martenzitten çok küçük boyutlarda çubuksu sementitlerin küreselleşmeye başladığı, 600T1 ve 600T3 numunelerinin mikroyapılarında ise bu küreselleşme etkisinin daha fazla olduğu (Resim 5.3b,c) görülmektedir. Su verme işlemi sonrası 700 °C’de küreselleştirme ısıtma işlemi uygulanan malzemenin mikroyapılarında martenzitler daha büyük ebatlarda küresel yapıya dönüştüğü görülmektedir (Resim 5.4).



a)



b)

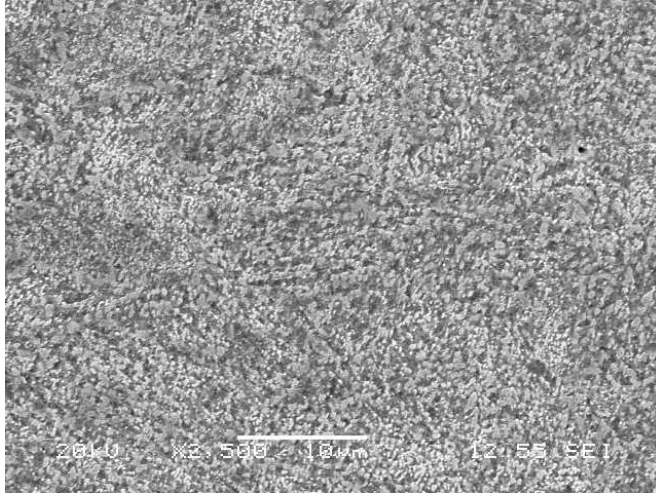


c)

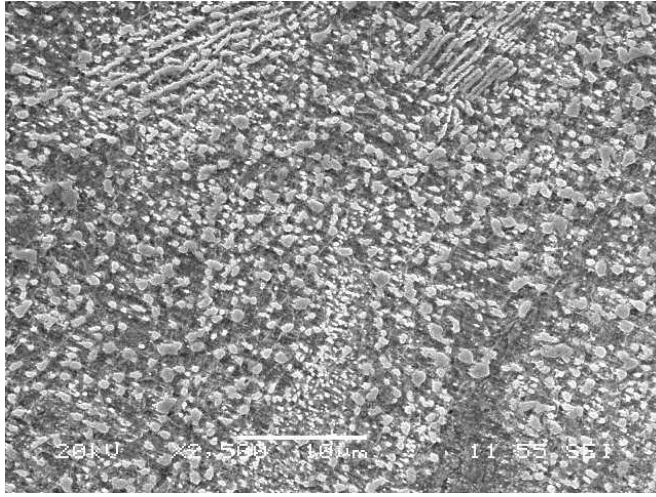
Resim 5.3. 600 °C’de küreselleştirme işlemi gerçekleştirilen parçaların SEM cihazından alınan mikroyapılar a) 600T0,25 b) 600T1 c) 600T3

Su verme işleminden sonra küreselleştirme sıcaklığı artmasıyla malzemenin mikroyapısında daha erken sürede küreselleşme meydana gelmiştir. Su verme işleminden sonra martenzitik yapıdan küresel sementitlerin oluşumu, martenzit fazı ile sementit fazlarının arasındaki serbest enerji farkından dolayıdır. Bilindiği üzere martenzit kararsız ve denge dışı faz olup serbest enerjisi yüksek bir fazdır. Sementit fazı ise daha kararlı ve serbest enerjisi daha düşük fazlardandır. Bu nedenle sementit gibi karbürlerin çökmesi beklenen bir durumdur. Diğer taraftan bu uygulamada olduğu gibi küreselleşme işlemlerinde daha küçük boyutlu ve çok sayıda küresel fazların varlığı görülmektedir. Bunun nedeni martenzit plaka sınırlarında çok sayıda çekirdeklenme noktalarının varlığından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle 600T0,25 numunesinde ilk oluşan küresel çökelti fazlarının morfolojisi önceki martenzitin çıta sınırlarına benzer ve iğnemsî şeklindedir. Bundan sonra artan küreselleştirme zamanı ve sıcaklığına bağlı olarak ilk çekirdeklenen bu iğnemsî fazlar yüzey gerilimini azaltmak için küresel morfoloji biçimini almaya başlamıştır. Bununla birlikte mevcut küresel fazların boyutları da artmaya başlamıştır. Burada mikroyapıda en kısa sürede küreselleştirme işleminin 700T0,25 numunesinde olduğu görülmektedir (Resim 5.4a).

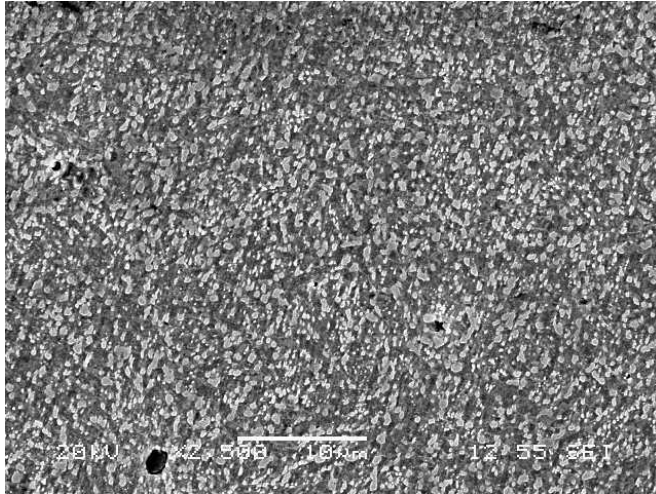
700S12 numunesinin mikroyapısı Resim 5.5’de görülmektedir. 600T ve 700T grubu numunelerin küreselleştirme ısı işlemi uygulanan numunelerin mikroyapıları ve klasik küreselleştirme ısı işlemi uygulanan numunelerin mikroyapıları farklılık göstermektedir (Resim 5.4c – Resim 5.5). Kararsız mikroyapıya sahip martenzit çelik, kaba ve ince perlitik mikroyapıdaki çeliklere göre daha kısa sürede ve sementit fazının daha homojen dağılmış olduğu söylenebilir. Sonuç olarak uygun sıcaklık ve ısı işlem süreleri belirlenerek çeliğin mikroyapısını küreselleştirmek mümkün olmuştur.



a)

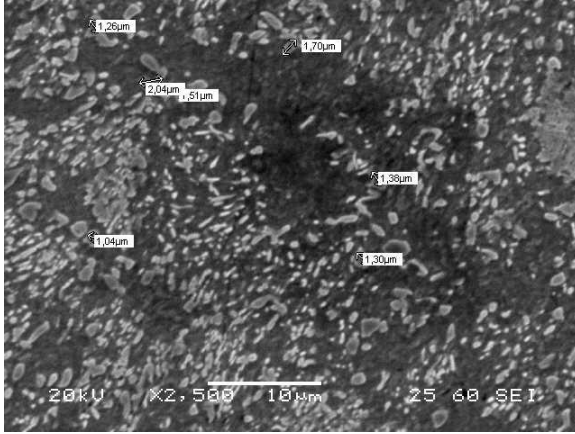


b)



c)

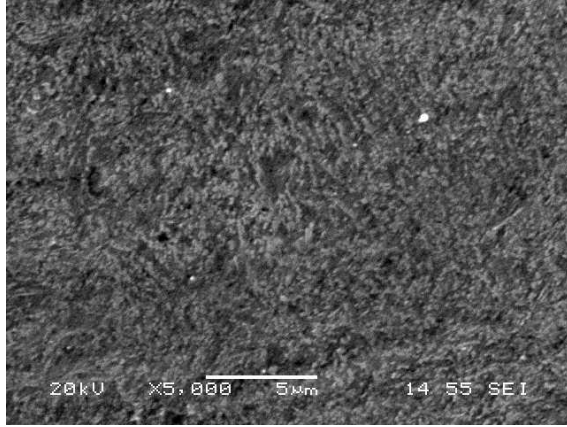
Resim 5.4. 700 °C’de küreselleştirme işlemi gerçekleştirilen parçaların SEM cihazından alınan mikroyapılar a) 700T0,25 b) 700T1 c) 700T3



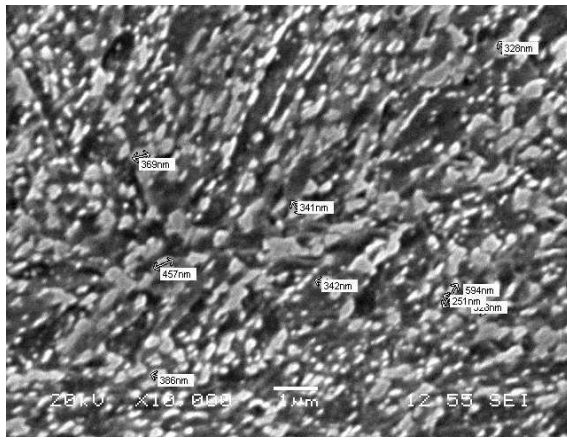
Resim 5.5. Klasik küreselleştirme ısıtıl işlemine gerçekleştirilen iş parçanın SEM görüntüsü

Mikroyapıda Oluşan Küresel Sementitlerin Boyutlarının Karşılaştırılması

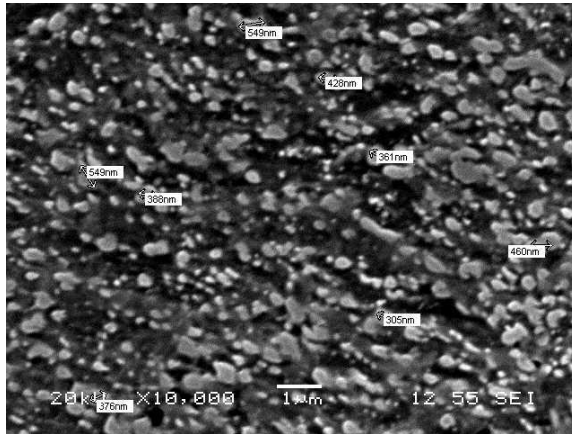
Martenzit yapıya dönüştürülen numuneler 600T ve 700T grubu numunelere uygulanan küreselleştirme ısıtıl işlemi sonucunda mikroyapıda oluşan küresel sementitlerin boyutları X10,000 büyütme oranında karşılaştırılmasıyla Resim 5.6 – Resim 5.7 ve Resim 5.8a’da görülmektedir. Resim 5.6b,c 600 °C ve Resim 5.7a,b – Resim 5.8a’daki 700T grubu numunelerin küreselleştirilen mikroyapılarıdaki küresel sementitlerin ebatları, Resim 5.8b’deki klasik küreselleştirme ısıtıl işlemi gören numuneler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda klasik küreselleştirme ısıtıl işlemi görmüş numunelerin mikroyapısındaki küresel sementitlerin ebatlarının daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni klasik küreselleştirme ısıtıl işlem süresinin, 600T ve 700T grubu küreselleştirilen numunelerin ısıtıl işleme süresinden daha uzun olmasından kaynaklanmaktadır. Isıl işlem süresinin artmasıyla hem karbonun difüzyonu için süre artırmakta hemde perlit içindeki kuvvetli sementitlerin küreselleşmesi için yüzey gerilim artmasıyla daha geniş sementitlerin oluşmasına imkan vermektedir.



a)

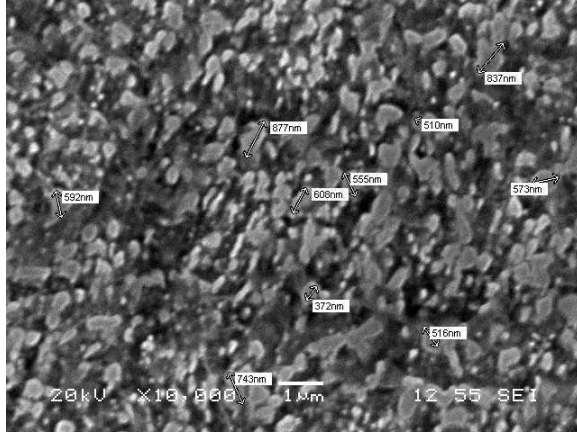


b)

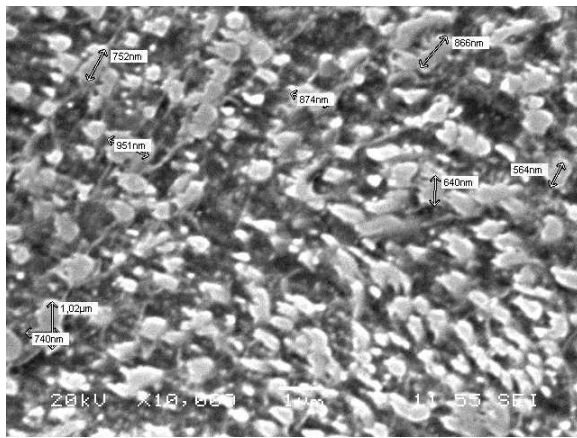


c)

Resim 5.6. 600 °C’de küreselleştirilmiş numunenin küresel sementit çaplarının SEM görüntüleri a) 600T0,25 b) 600T1 c) 600T3



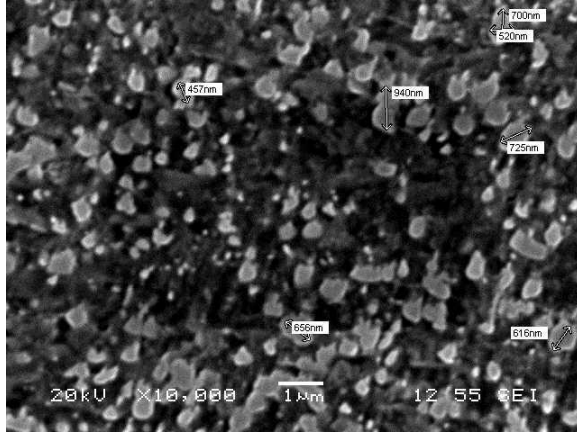
a)



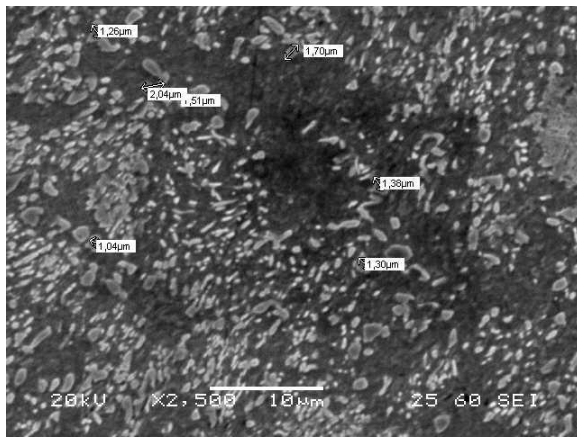
b)

Resim 5.7. 700 °C küreselleştirilmiş numunenin küreselleşen sementit çapları SEM görüntüleri a) 700T0,25 b) 700T1

Klasik küreselleştirme ısııl işlemi ve küreselleştirme ısııl işlemi gören iş parçalarının mikroyapılarında oluşan küresel sementitlerin dağılımına bakıldığında küreselleştirilmiş numunelerin dağılımın Resim 5.8a, klasik küreselleştirme Resim 5.8b'e göre daha iyi bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Isıl işlem sonuçlarına bağlı olarak mikroyapıda oluşan küresel sementitlerin dağılımı aşırı temperlenen iş parçalarının küreselleştirilmiş iş parçalarının mikroyapısından daha homojen bir yapı sergilediği görülmüştür.



a)



b)

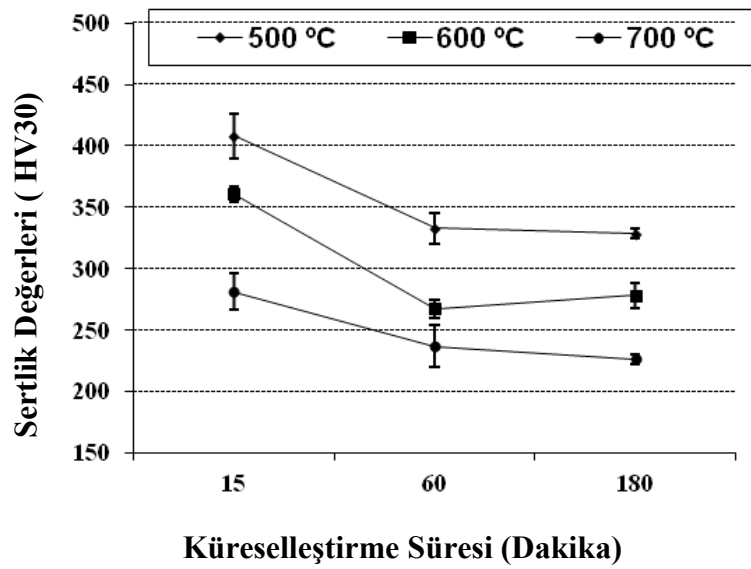
Resim 5.8. 700 °C ısıtıl işlem görmüş numunelerin küreselleşme çapları SEM görüntüleri
a) 700T3 b) 700S12

5.2. Sertlik Değerleri

Çizelge 5.1'deki değerler ve Şekil 5.1'deki grafik incelendiğinde en sert sertlik değerinin 500T0,25 küreselleştirilen numunenin olduğu görülmektedir. Bunun sebebi malzeme mikroyapısının martenzit yapıda olmasıdır. Küreselleştirilen numuneler arasında 700T3 numunesinin sertliğinin en az olduğu görülmektedir. Küreselleştirme sıcaklığı ve süresi arttıkça, malzemenin sertlik değerleri düşmektedir. Bunun sebebi genelde sade karbonlu çeliklerin küreselleştirmesinde su verme sonrasında martenzit içinde bulunan karbon (C) demir (Fe) ile birleşerek (Fe_3C) fazının çökmesine yol açar. Küreselleştirme sürecinde bu düşük termodinamik kararlı evre kabalaşırken martenzitin ferrite dönüşmesiyle de sertliğin düşmesidir.

Çizelge 5. 1. Sertlik ölçümleri

Parça Tanımı	Sertlik Ölçüm Değerleri					Ortalama Sertlik (HV 30)	Standart Sapma (±)
	1.	2.	3.	4.	5.		
500T0,25	392	386	416	421	426	408	18
500T1	312	331	342	334	345	333	13
500T3	327	334	328	324	330	329	4
600T0,25	357	356	357	371	364	361	6
600T1	265	276	257	268	272	268	7
600T3	292	273	267	285	274	278	10
700T0,25	302	278	273	290	264	281	15
700T1	212	238	255	248	232	237	17
700T3	221	226	229	225	231	226	4
Isıl işlemsiz	239	255	222	214	217	229	17
700S12	201	197	220	217	224	212	12



Şekil 5. 1. Sertlik değişimi

5.3. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Küreselleştirme ısı işlemleri uygulanarak mikroyapıları değiştirilen numuneler, klasik küreselleştire ısı işlemleri ve ısı işlemsiz numunelere uygulanan kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametrelerine bağlı olarak ölçülen kesme kuvvetleri değerleri (esas kesme kuvveti F_c , ilerleme kuvveti F_f , pasif kuvvet F_p) Çizelge 5.2–Çizelge 5.4’te verilmiştir. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği göre oluşan kesme kuvvetlerindeki (F_c , F_f , F_p) değerler Çizelge 5.2 – Çizelge 5.4’deki verilmiştir ve bu değerlere göre oluşan esas kesme kuvvetleri Şekil 5.2 – Şekil 5.3, Şekil 5.8 ve Şekil 5.11 – Şekil 5.13’deki grafiklerde gösterilmiştir. Çizelge 5.2 – Çizelge 5.4’deki değerler incelendiğinde; tüm işleme deneyleri için, en yüksek kuvvetin esas kesme kuvveti F_c , daha sonra sırasıyla ilerleme kuvveti F_f ve pasif kuvveti F_p şeklinde sıralandığı görülmektedir.

Kesme hızındaki değişime bağlı olarak Şekil 5.2 – Şekil 5.3’deki esas kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde; kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde bir düşüş görülmektedir. Kesme kuvvetlerindeki bu düşüş kısmen kesici takım talaş yüzeyinde takım-talaş temas uzunluğunun azalması ve kısmen de artan kesme hızı sonucu kesme bölgesindeki sıcaklığın artmasıyla takım talaş yüzeyindeki akma bölgesinde yapışan malzemenin kayma dayanımının azalmasıyla açıklanabilir. Diğer bir ifadeyle kesme hızı arttığında, kesici takım/talaş ara yüzeyindeki sıcaklık artacağından dolayı kesici takım/talaş ara yüzeyinde sürtünme katsayısı azalır bu da kesme kuvvetlerinin azalması ile sonuçlanır [150]. Fakat 150 ve 175 m/dak ki kesme hızlarında 600T0,25 ve 700S12 numuneleri hariç diğer kesme kuvvetlerinde bir azalma tespit edilmiştir. Bu durum bahsedilen kesme hızlarında iş parçalarının mekanik özelliklerine bağlı olarak oluşan BUE eğilimi tarafından açıklanabilir. BUE eğiliminin artması ile etkin talaş açısının artmasına ve aynı zamanda takım talaş temas uzunluğunun azalmasıyla kesme kuvvetlerinin düşmesine sebep olmuştur [151]. 600T grubu numunelerin ısı işlem süresinin artmasına bağlı olarak iş parçalarının süneklik değeri artmaktadır. Sünekliğin artmasına paralel olarak malzemelerde BUE oluşumu gözlemlendiği bilinmektedir. 600T1 ve 600T3 iş parçalarında BUE oluşumundan dolayı 150 ve 175 m/dak kesme hızlarında esas kesme kuvvetlerinde düşüş Şekil 5.2 – Şekil 5.3’de açıkça görülmektedir.

Çizelge 5. 2. Esas kesme kuvvetleri değerleri

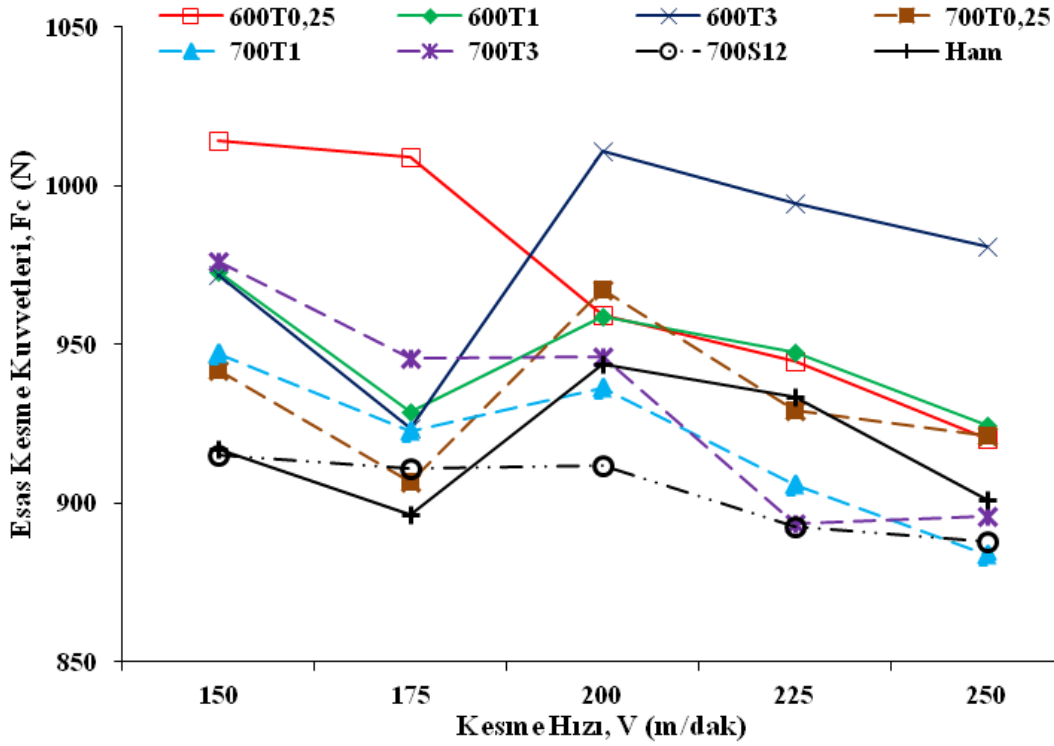
Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	Esas Kesme Kuvvetleri, F _c (N)							
				600/0,25sa.	600/1sa.	600/3sa.	700/15 da.	700/1sa.	700/3sa.	700S12	Isıl işlemsiz
1	150	0,16	1,6	668,68	649,02	670,36	624,03	625,61	626,3	638,93	618,81
2		0,25		929,53	929,27	949,07	862,35	861,35	854,28	886,93	859,82
3		0,4		1319,69	1387,05	1435,84	1314,31	1346,65	1298,77	1347,99	1306,5
4		0,16	2,5	1014,06	972,91	972,01	942,1	946,93	975,95	915,35	917,02
5		0,25		1398,02	1396,31	1345,57	1330,3	1329,7	1387,37	1312,51	1300,9
6		0,4		2053,13	2097,71	2099,72	2103,72	2112,13	2267,11	2065	2020,02
7	175	0,16	1,6	636,91	618,66	627	615,04	609,89	608,25	629,93	603,43
8		0,25		890,46	881,62	887,32	860,02	834,48	832,87	868,37	830,04
9		0,4		1301,43	1305,09	1359,61	1290,7	1274,63	1264,3	1320,82	1228,32
10		0,16	2,5	1009,13	928,6	923,39	906,87	922,55	945,48	911,11	896,49
11		0,25		1393,62	1323,52	1304,37	1284,89	1296,94	1352,17	1294,14	1255,44
12		0,4		2019,37	2037,48	2026,03	2010,93	2052,46	2176,9	2001,28	1940,6
13	200	0,16	1,6	685,73	571,55	640,03	618,54	643,04	634,26	628,61	635,52
14		0,25		945,43	805,94	909,14	865,12	902,26	840,13	860,09	884,19
15		0,4		1213,94	1251,7	1280,63	1230,86	1214,35	1234,26	1265,5	1178,26
16		0,16	2,5	959,17	958,93	1010,78	967,05	936,23	946,16	911,9	943,92
17		0,25		1350,56	1341,45	1464,07	1339,52	1321,89	1318,03	1273,63	1335,94
18		0,4		1994,87	1943,28	1982,12	1977,69	1970,76	2085,01	1985,25	1869,14
19	225	0,16	1,6	650,32	581,65	631,75	579,74	622,48	623,05	618,22	609,71
20		0,25		901,07	794,72	882,2	823,12	858,19	863,21	850,78	844,93
21		0,4		1303,31	1193,99	1326,53	1242,77	1318,67	1290,88	1290,77	1243,94
22		0,16	2,5	944,7	947,41	994,65	929,04	905,7	893,38	892,82	933,34
23		0,25		1311,54	1312,92	1409,2	1320,46	1300,35	1282,67	1247,88	1299,7
24		0,4		1945,67	1995,97	2219,26	2036,27	2101,87	2108,42	2057,5	1999,68
25	250	0,16	1,6	636,56	566,41	616,34	591,7	613,45	600,83	606,49	583,26
26		0,25		877,65	792,36	857,43	803,32	840,48	826,24	845,44	811,1
27		0,4		1273,51	1168,26	1305,33	1198,06	1290,44	1295,87	1281,95	1202,8
28		0,16	2,5	920,27	924,55	980,69	921,04	883,57	896,08	887,75	900,86
29		0,25		1287,32	1305,7	1405,75	1289	1280,3	1265,87	1247,95	1280,71
30		0,4		1900,55	1986,42	2150,72	1984,58	2058,93	2059,61	2024,87	1970,43

Çizelge 5. 3. İlerleme kuvvetlerinin değerleri

Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	İlerleme Kuvvetleri, Ff (N)							
				600/0,25sa.	600/1sa.	600/3sa.	700/15 da.	700/1sa.	700/3sa.	700S12	Isl işlemsiz
1	150	0,16	1,6	409,55	386,1	383,49	349,85	341,06	326,17	333,14	326,84
2		0,25		474,93	443,69	449,39	404,8	379,23	377,92	396,66	389,13
3		0,4		511,52	544,9	573,75	521,03	547,64	513,73	569,7	492,89
4		0,16	2,5	654,12	562,42	556,27	531,19	549,49	547,25	507,27	496,29
5		0,25		703,04	665,32	630,46	629,9	653,46	700,71	635,75	595,48
6		0,4		864,73	883,69	871,27	898,68	947,34	1069,24	918,57	836,56
7	175	0,16	1,6	417,95	356,05	360,72	351,95	331,41	326,04	329,27	329,37
8		0,25		473,59	412,48	409,53	393,25	371,19	361,7	376,88	364,88
9		0,4		534,3	497,48	522,8	500,23	504,56	486,3	524,2	440,64
10		0,16	2,5	659,72	540,7	531,59	508,9	527,31	525,2	488,82	492,18
11		0,25		745,09	645,11	612,81	602,48	616,13	675,1	614,73	573,43
12		0,4		842,11	840,51	812,57	842,42	895,78	1002,29	878,72	791,47
13	200	0,16	1,6	432,1	322,6	359,46	358,03	358,41	349,49	335,29	350,49
14		0,25		507,54	359,99	416,41	406,81	403,2	371,87	366,88	404,13
15		0,4		507,95	471,03	487,29	459,02	463,94	453,89	488,68	427,39
16		0,16	2,5	566,75	534,86	558,59	545,33	504,7	511,8	497,06	517,76
17		0,25		653,87	620,72	676,28	632,22	624,66	628,68	602,03	618,57
18		0,4		863,86	776,06	779,86	816,26	841,04	934,83	856,02	747,32
19	225	0,16	1,6	424	326,92	358,97	337,44	348,05	342,39	325,06	343,16
20		0,25		482,98	354,45	382,97	369,18	388,65	373,52	350,93	377,51
21		0,4		540,29	429,06	487,85	474,19	507,96	472,31	501,61	448,83
22		0,16	2,5	575,85	542,85	559,12	527,04	497,14	497,5	487,22	511,84
23		0,25		643,72	600,53	652,42	604,08	611,67	600,92	582,28	584,16
24		0,4		751,73	764,24	904,86	806,65	892,57	909,74	903,93	792,12
25	250	0,16	1,6	410,85	325,3	358,97	349,22	344,56	333,38	324,39	320,79
26		0,25		460,35	362,54	382,97	381,59	374,52	359,2	368,4	365,65
27		0,4		524,4	418,7	487,85	447,28	482,18	482,83	489,91	435,82
28		0,16	2,5	578,21	527,75	557,84	520,13	493,11	498,6	481,92	520,11
29		0,25		655,79	599,69	662,35	582,8	603,03	591,37	581,18	591,94
30		0,4		767,15	752,59	856,8	770,44	872,79	899,7	886,8	777,34

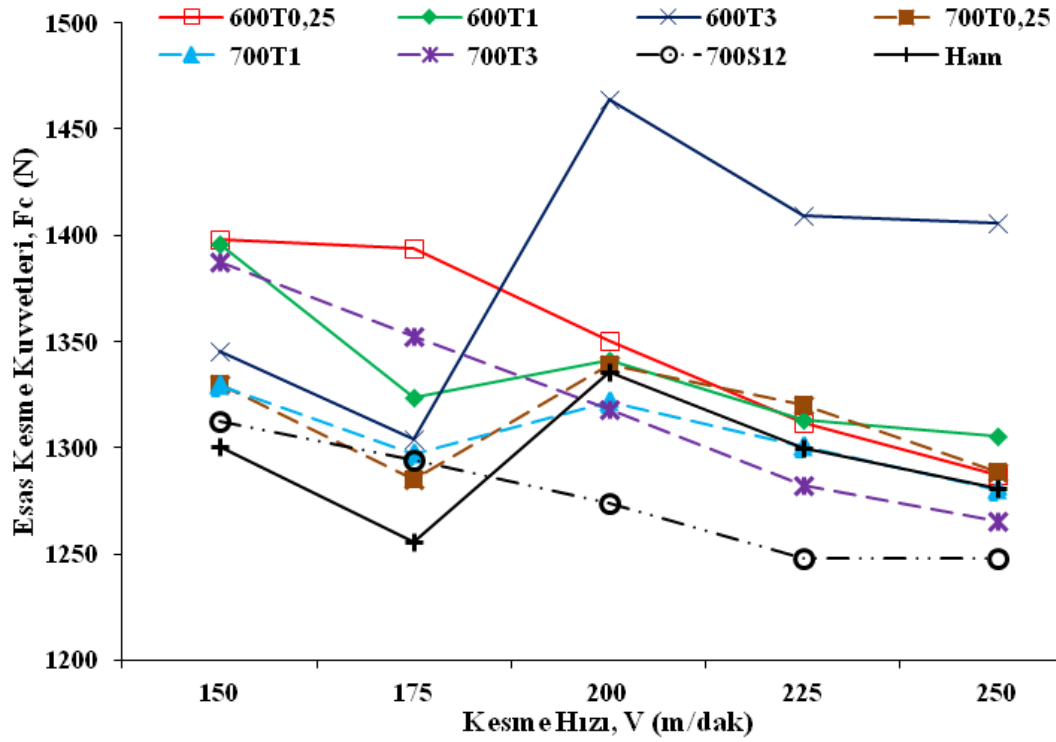
Çizelge 5. 4. Pasif kuvvetlerin değerleri

Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	Pasif Kuvvetler, F_p (N)							
				600/0,25sa.	600/1sa.	600/3sa.	700/15 da.	700/1sa.	700/3sa.	700S12	Isl işlemsiz
1	150	0,16	1,6	333,44	300,65	295,4	277,48	270,21	257,24	263,11	264,36
2		0,25		420,81	383,23	387,66	367,75	345,46	340,57	362,43	351,15
3		0,4		526,59	536,14	541,68	523,16	525,37	520,3	552,19	504,51
4		0,16	2,5	436,17	362,54	364,84	343,57	356,74	348,23	328,51	334,75
5		0,25		507,51	459,63	438,52	434,45	443,24	451,2	423,15	426,59
6		0,4		676,86	607,86	598,44	615,64	633,25	680,7	614,72	589,74
7	175	0,16	1,6	343,01	288,31	281,08	279,79	263,67	260,08	263,11	262,91
8		0,25		418,23	373	365,1	362,33	342,41	339,59	352	337,83
9		0,4		548,19	511,34	513,61	509,44	511,05	505,14	533,24	484,03
10		0,16	2,5	443,35	358,94	350,14	339,54	355,79	343,39	325,77	334,53
11		0,25		524,66	450,63	432,72	424,36	427,19	442,76	418,91	421,72
12		0,4		655,55	588,94	579,86	589,45	608,74	650,91	595,03	566,77
13	200	0,16	1,6	349,3	270,66	281,65	289,01	281,93	274,57	264,93	271,24
14		0,25		424,94	345,21	369,55	365,02	369,31	355,43	346,75	351,76
15		0,4		523,18	489,82	509,89	499	493,89	432,31	509,45	470,24
16		0,16	2,5	384,16	371	361,62	368,99	342,41	338,74	328,44	344,64
17		0,25		476,05	443,14	452,05	436,12	427,22	422,1	419,94	435,5
18		0,4		670,63	576,7	565,39	578,44	594,91	626,8	585,77	559,54
19	225	0,16	1,6	309,64	271,99	288,81	284,86	274,83	271,33	259,02	271,17
20		0,25		429,84	336,62	351,79	356,01	353,23	349,6	332,07	349,34
21		0,4		551,38	470,09	498,6	498,79	514,4	506,48	515,38	479,58
22		0,16	2,5	399,97	374,46	366,82	362,58	334,12	330,53	328,47	351,82
23		0,25		422,18	447,82	450,08	442,84	423,43	418,45	411,5	432,39
24		0,4		602,96	569,94	601,85	577,44	610,02	616,24	616,35	559,26
25	250	0,16	1,6	341,38	278,93	288,81	288,53	278,93	268,09	263,59	263,1
26		0,25		410,62	348,99	351,79	358,33	345,68	335,78	342,31	336,89
27		0,4		532,93	468,63	498,6	501,52	510,65	507,15	510,71	474,4
28		0,16	2,5	405,32	369,24	367,6	351,88	337,45	341,72	324,49	354,35
29		0,25		483,1	441,75	459,28	431,35	419,02	418,56	417,82	433,05
30		0,4		619,64	561,56	582,57	569,26	591,92	614,19	607	561,81



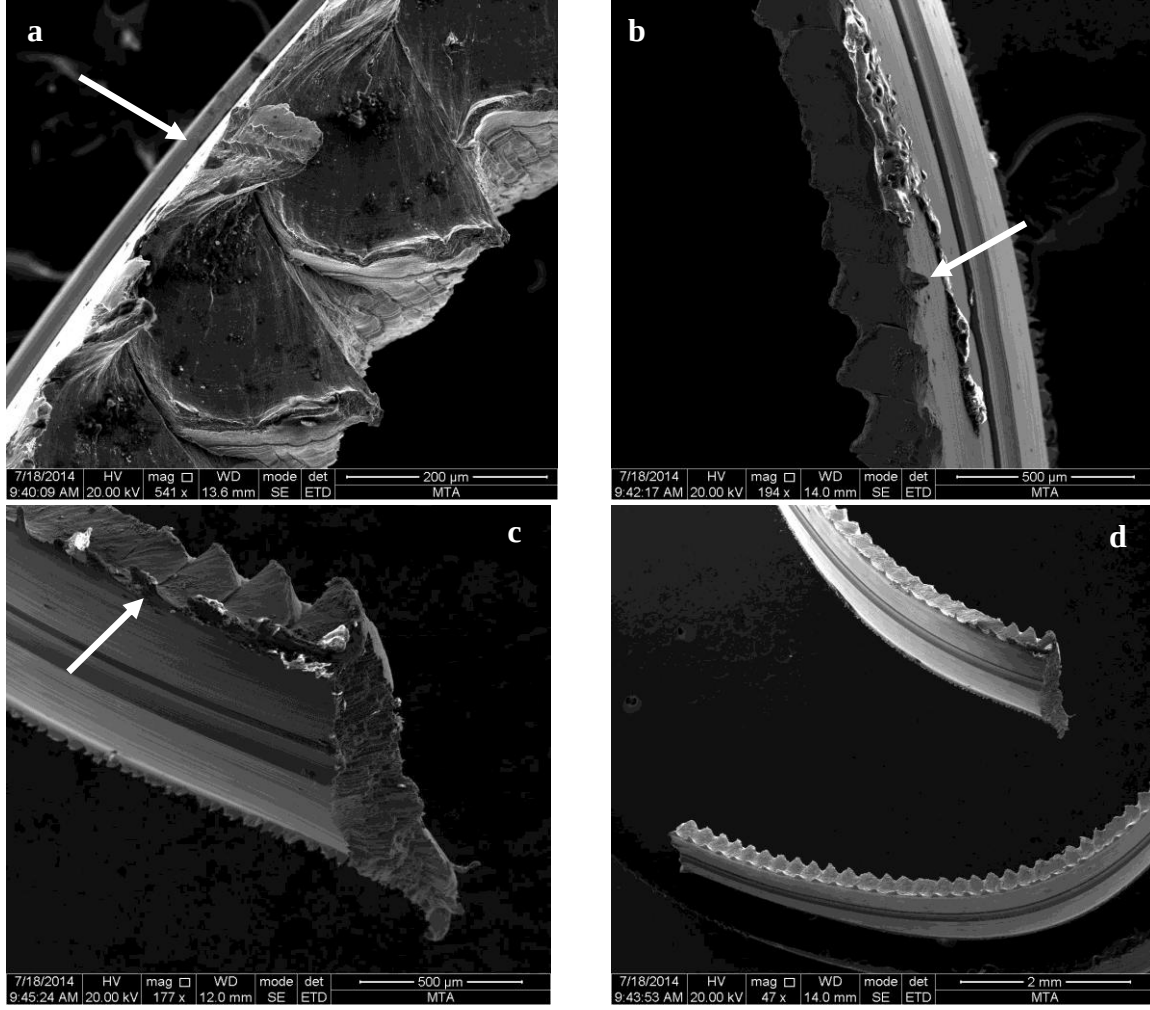
Şekil 5. 2. 2,5 mm kesme derinliği, 0,16 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri

Kesme kuvvetlerindeki bu düşüşü daha belirgin hale getirmek için 2,5 mm talaş derinliği, 0,16 mm/dev ilerleme ve 175 m/dak kesme hızında 600T1 numunesinden alınan talaşta BUE parçacıklarının talaşa yapıştığı Şekil 5.4 ve kesme hızının 200 m/dak çıkarılmasıyla BUE oluşumu azaldığı Şekil 5.5 de görülmektedir. 600T0,25 numunesinin süneklik değeri düşük olduğu için BUE rastlanmazken, süneklik değeri yüksek olan 600T1 numunesinde ise BUE oluşumu daha belirgin bir şekilde meydana gelmiştir (Şekil 5.2 – Şekil 5.3). Benzer durum 0,25 mm/dev ilerleme değerindeki esas kesme kuvvetleri içinde BUE oluşumu olduğu 700T1 numunesinden alınan talaşın Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 görülmektedir. Ancak 700T grubundaki numunelerde ise BUE oluşumu farklılık göstermektedir. BUE oluşumu en belirgin olarak 700T0,25 numunesinde Şekil 5.2 – Şekil 5.3’de görülmektedir. 700T grubunda küreselleştirme süresinin artmasına bağlı olarak BUE oluşumu ortadan kalkmaktadır. Bu durum mikroyapıdaki küresel sementitlerin ebatlarının artması ile talaşın iş parçasından daha çabuk kırılarak atılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Bkz. Resim 5.7 – Resim 5.8a). 700S12 iş parçasındaki küresel sementitlerin ebatları (Bkz. Resim 5.8b) daha büyük olduğundan 0,16 ve 0,25 ilerleme değerinde BUE oluşumu görülmemiştir (Şekil 5.2 – Şekil 5.3).

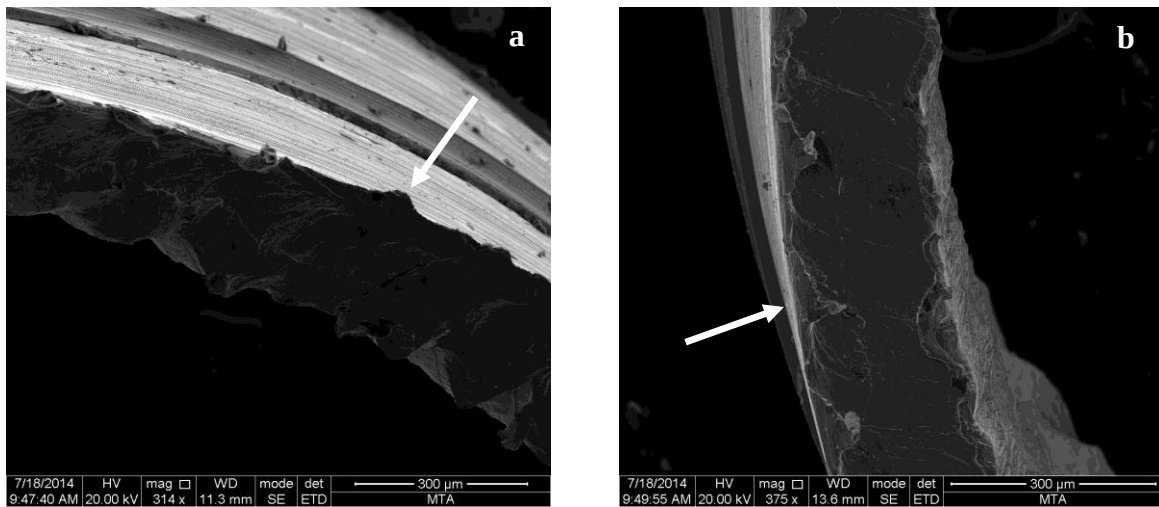


Şekil 5. 3. 2,5 mm kesme derinliği, 0,25 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri

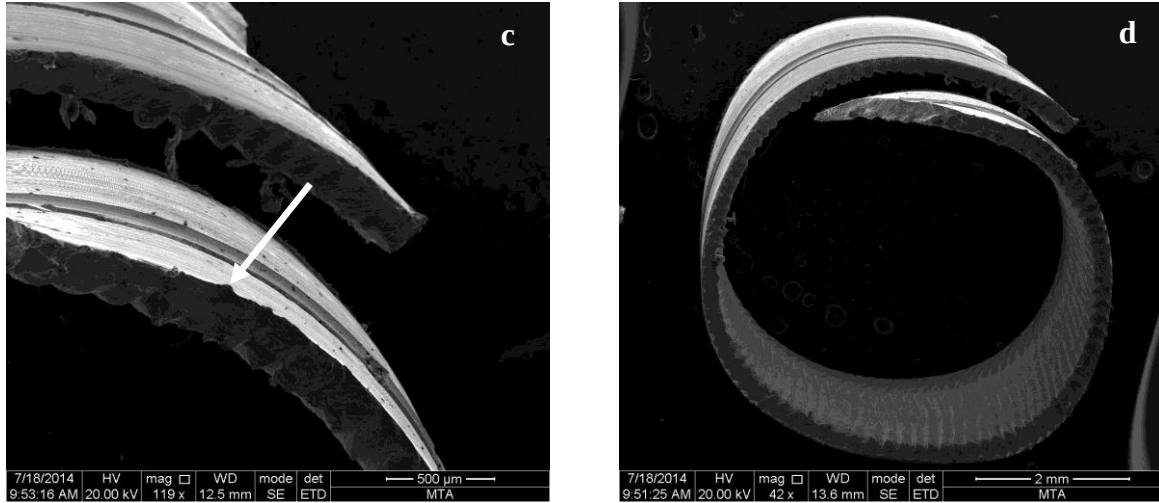
Şekil 5.4d’de 2,5 mm kesme derinliği, 0,16 mm/dev ilerleme ve 175 m/dak kesme hızında 600T1 numunesinden alınan talaşın SEM görüntüsü görülmektedir. Bu talaşın dış kenarının farklı bölgelerinden alınan SEM görüntülerinde beyaz ok ile gösterilen kısımlarda Şekil 5.4a,b,c’de BUE parçacıklarının talaşa yapıştığını göstermektedir. Aynı numunede kesme hızının 200 m/dak artırılmasıyla kesme hızında oluşan talaşın SEM görüntüleri Şekil 5.5’de görülmektedir. Şekil 5.5d’de 600T1 numunesinden alınan talaşın SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 5.4a,b,c’deki BUE parçacıkları talaşın belirli bölgelerinde sıvanmışken Şekil 5.5a,b,c’de beyaz ok ile gösterilen BUE parçacığının kesme hızının artışına paralel olarak azaldığı açıkça görülmektedir. Söz konusu bu durum kesme hızının artırılmasıyla takım/talaş arasındaki sıcaklığın artışıyla ilgili olarak BUE oluşumunun bu iş parçasında azalmasının bir göstergesidir.



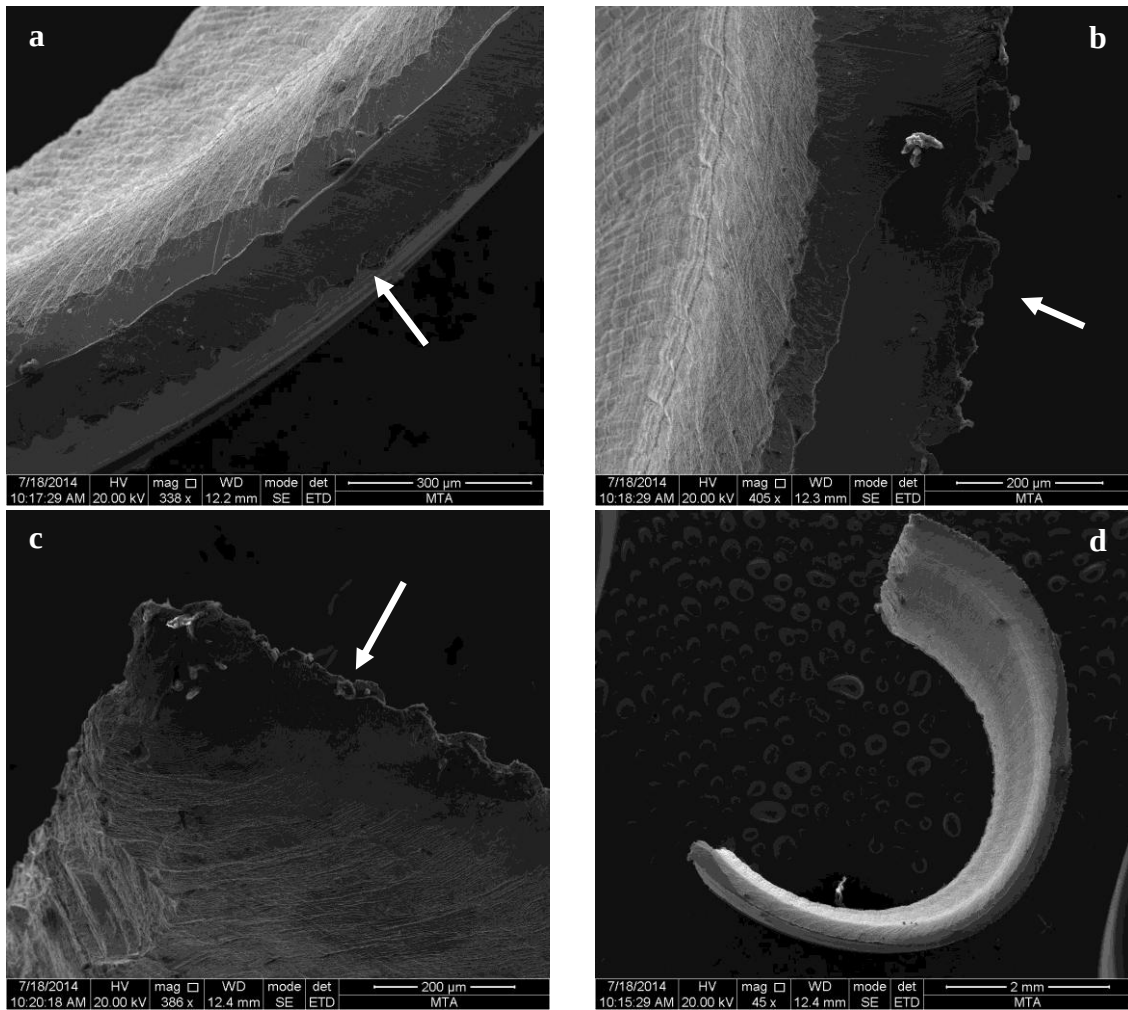
Şekil 5. 4. 2,5 mm kesme derinliği, 0,16 mm/dev ilerleme ve 175 m/dak kesme hızında 600T1 talaşının SEM görüntüleri



Şekil 5. 5. 2,5 mm kesme derinliği, 0,16 mm/dev ilerleme ve 200 m/dak kesme hızında 600T1 talaşının SEM görüntüleri

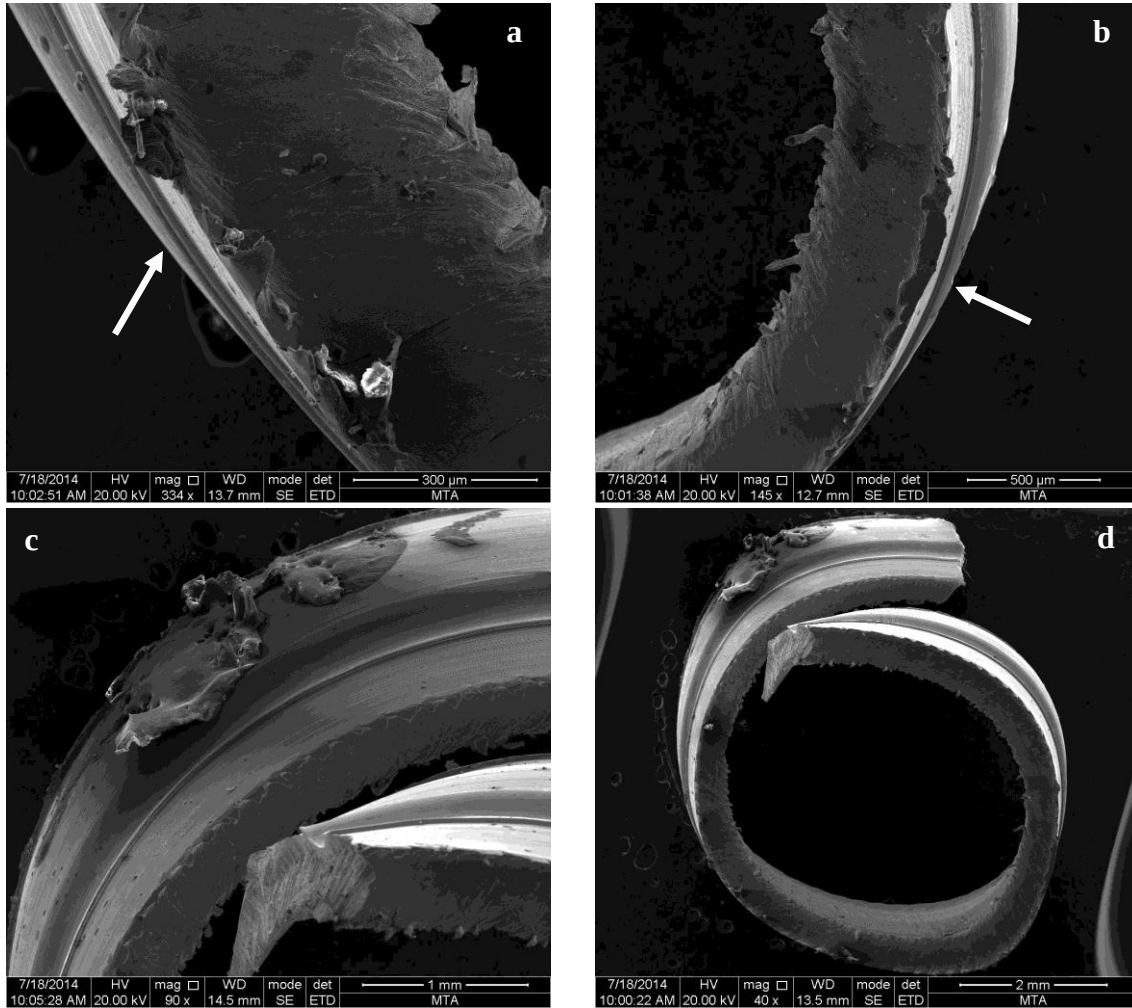


Şekil 5. 6. (devamı) 2,5 mm kesme derinliği, 0,16 mm/dev ilerleme ve 200 m/dak kesme hızında 600T1 talaşının SEM görüntüleri

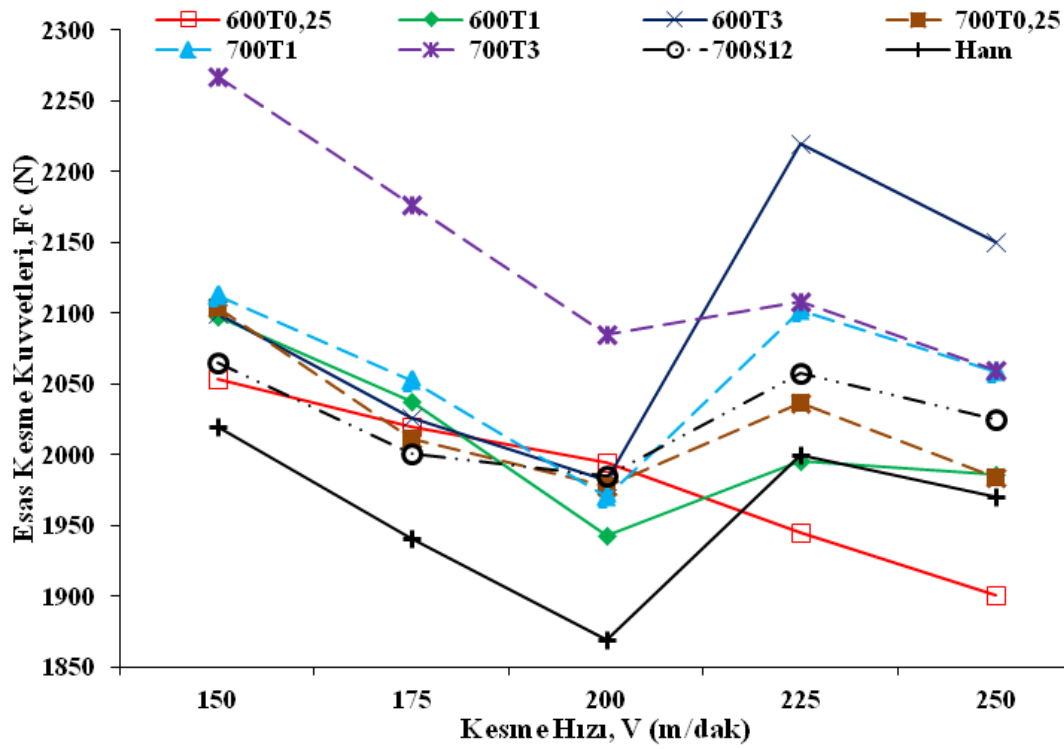


Şekil 5. 7. 2,5 mm kesme derinliği, 0,25 mm/dev ilerleme ve 175 m/dak kesme hızında 700T1 talaşının SEM görüntüleri

Şekil 5.6d’de 2,5 mm kesme derinliği, 0,25 mm/dev ilerleme ve 175 m/dak kesme hızında 700T1 numunesinden alınan talaşın SEM görüntüsü görülmektedir. Bu talaşın dış kenarının farklı bölgelerinden alınan SEM görüntülerinde beyaz ok ile gösterilen kısımlarda Şekil 5.6a,b,c’de BUE parçacıklarının talaşa yapıştığını göstermektedir. Aynı numunede kesme hızının 200 m/dak artırılmasıyla kesme hızında oluşan talaşın SEM görüntüleri Şekil 5.7’de görülmektedir. Şekil 5.7d’de 700T1 numunesinden alınan talaşın SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 5.6a,b,c’deki BUE parçacıkları talaşın tamamına sıvanmışken Şekil 5.7a,b’de beyaz ok ile gösterilen BUE parçacığının kesme hızının artışına paralel olarak azaldığı açıkça görülmektedir. Söz konusu bu durum kesme hızının artırılmasıyla takım/talaş arasındaki sıcaklığın artışına bağlı olarak BUE oluşumunun bu iş parçasında azalmasının bir göstergesidir.

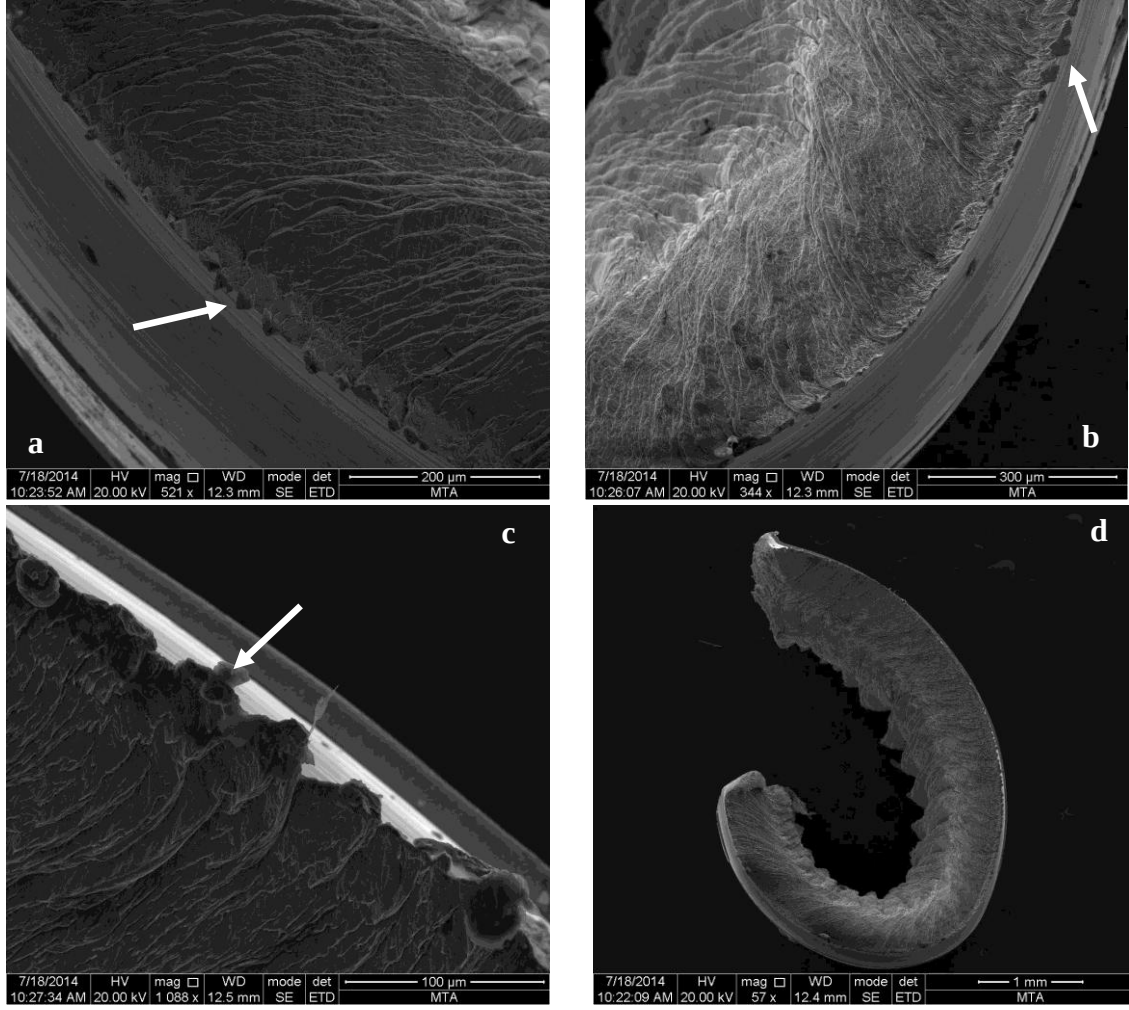


Şekil 5. 8. 2,5 mm kesme derinliği, 0,25 mm/dev ilerleme ve 200 m/dak kesme hızında 700T1 talaşının SEM görüntüleri



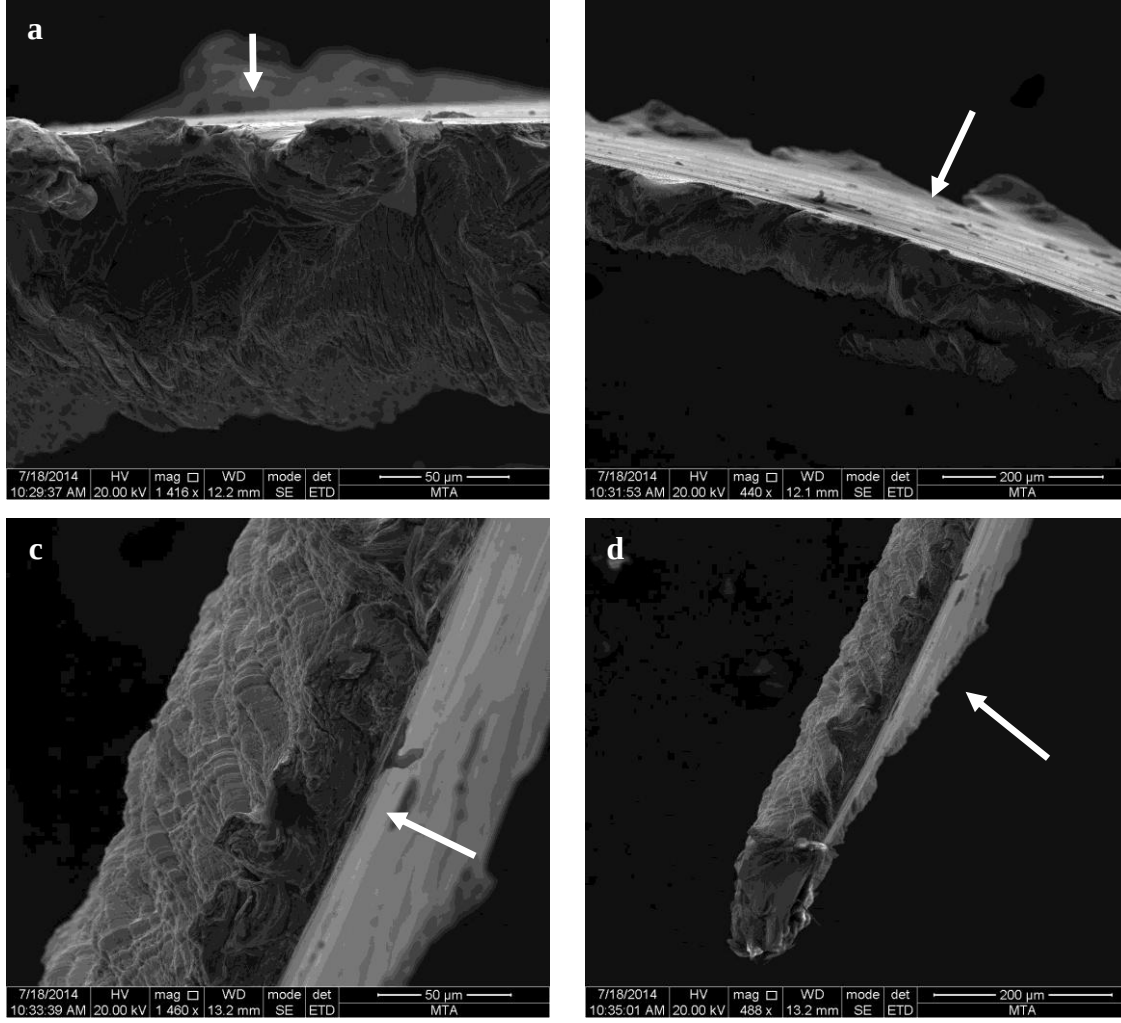
Şekil 5. 9. 2,5 mm kesme derinliği, 0,40 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri

Kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi Şekil 5.2 - Şekil 5.3 ve Şekil 5.8'deki grafiklere göre değerlendirildiğinde, ilerleme hızının artmasıyla doğru orantılı olarak kesme kuvvetleri de artmıştır. İlerleme hızı kesme işlemi sırasında kesici takımın birim zamanda kaldırmaya çalıştığı talaş kesitini doğrudan etkilemektedir. Artan talaş kesiti ile birlikte, birinci deformasyon bölgesinde bulunan kayma düzlemi alanında büyümekte [152] ve kesme işlemi de zorlaşmaktadır. Bu sebepten dolayı kesme kuvvetleride artmaktadır. İlerleme miktarının artmasına paralel olarak tüm numunelerde 600T0,25 numunesi hariç BUE eğilimininde artacağından Şekil 5.8, BUE oluşumu 150, 175 ve 200 m/dak kesme hızına kadar görülmektedir. 2,5 mm talaş derinliği, 0,40 mm/dev ilerleme ve 200 m/dak kesme hızında 700S12 numunesinden alınan talaşta BUE parçacıklarının talaşa yapıştığı Şekil 5.9a, kesme hızının 225 m/dak çıkarılmasıyla BUE oluşumunun hemen hemen ortadan kalktığı Şekil 5.10'da görülmektedir. Esas kesme kuvvetlerindeki bu değişim kesme derinliğinin 2,5 mm den 1,6 mm düşürülmesiyle Şekil 5.11 - Şekil 5.13'deki esas kesme kuvvetleri için bir değişiklik göstermeyip benzer sonuçlar vermiştir.



Şekil 5. 10. 2,5 mm kesme derinliği, 0,40 mm/dev ilerleme ve 200 m/dak kesme hızında 700S12 talaşının SEM görüntüleri

Şekil 5.9d’de 2,5 mm kesme derinliği, 0,40 mm/dev ilerleme ve 200 m/dak kesme hızında 700S12 numunesinden alınan talaşın SEM görüntüsü görülmektedir. Bu talaşın dış kenarının farklı bölgelerinden alınan SEM görüntülerinde beyaz ok ile gösterilen kısımlarda Şekil 5.9a,b,c’de BUE parçacıklarının talaşa yapıştığını göstermektedir. Kesme hızının artırılmasıyla aynı iş parçasında 225 m/dak kesme hızında oluşan talaşın SEM görüntüleri Şekil 5.10’da görülmektedir. Şekil 5.10a,b,c,d’de talaşın dış kenarını gösteren beyaz oklar tarafında BUE parçacıklarına rastlanmamıştır. Bu durum kesme hızının artırılmasıyla takım/talaş arasındaki sıcaklığın artışına bağlı olarak BUE oluşumunun bu iş parçasında ortadan kalkmasının bir sonucudur.

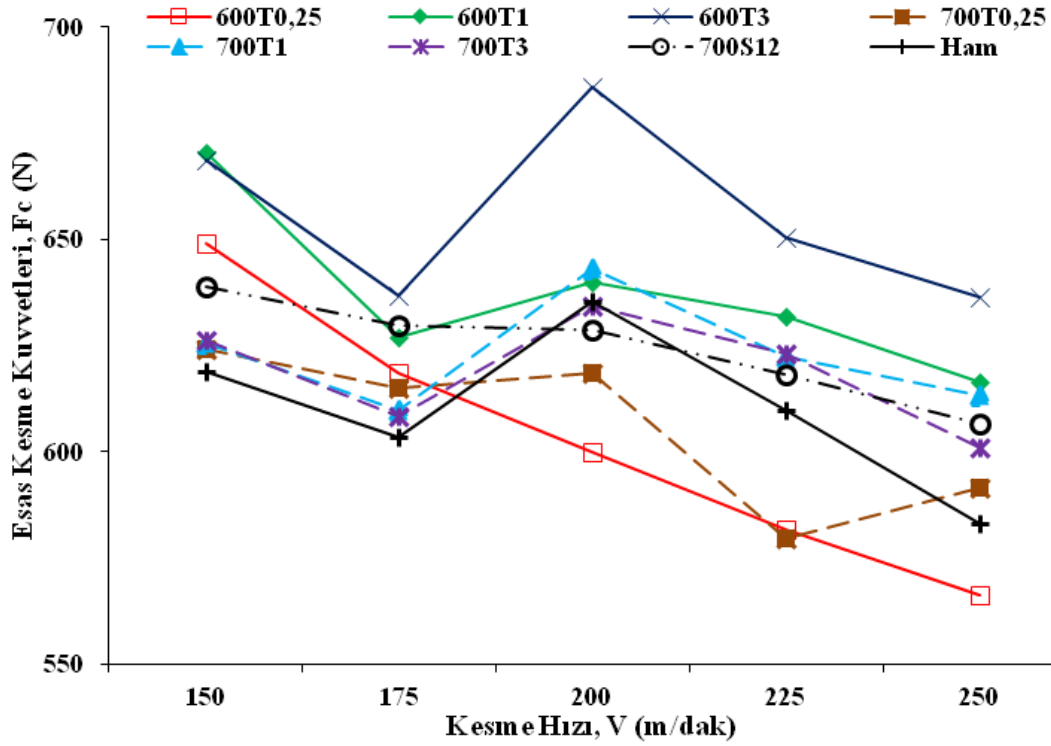


Şekil 5. 11. 2,5 mm kesme derinliği, 0,40 mm/dev ilerleme ve 225 m/dak kesme hızında 700S12 talaşının SEM görüntüleri

Kesme derinliğinin (Şekil 5.11 – Şekil 5.13) 1,6 mm den (Şekil 5.2 – Şekil 5.3 ve Şekil 5.8) 2,5 mm artması ile kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir durumdur [120]. Ortaya çıkan bu durumu Kienzle'nin Eş. 5.1 ile açıklamak mümkündür. Kienzle'nin eşitliğinde;

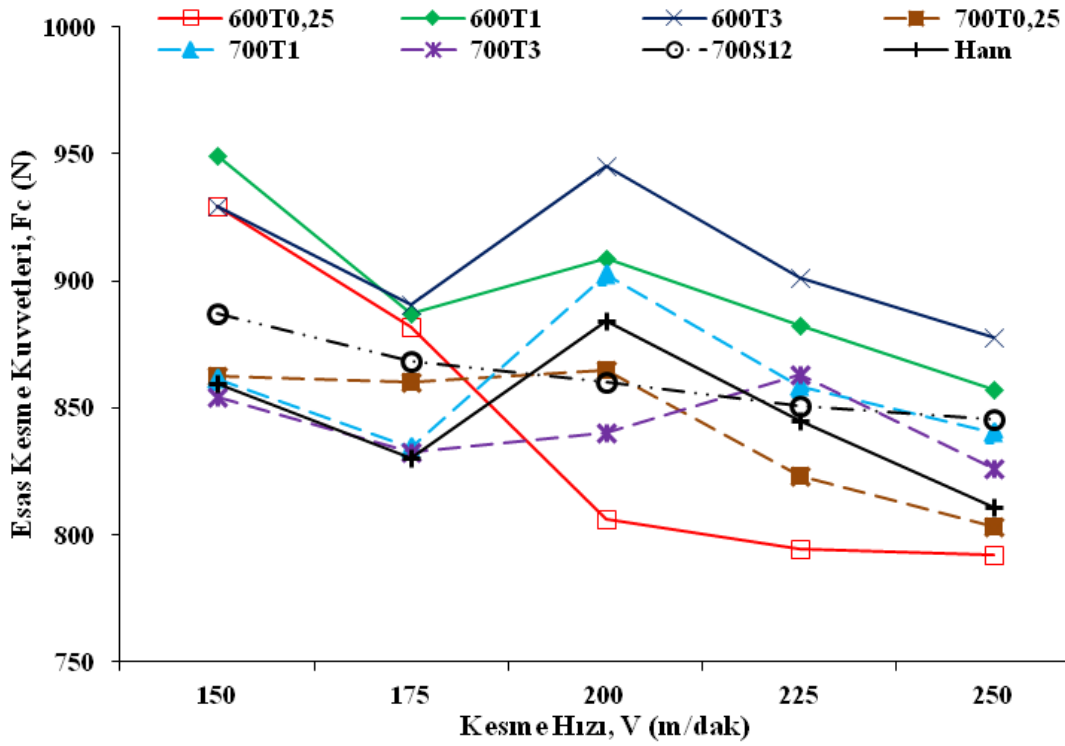
$$F_c = A \times k_s \quad (5.1)$$

Esas kesme kuvveti (F_c), talaş kesit alanı (A), özgül kesme direnci (k_s) talaş kesiti “ilerleme $\times$ kesme derinliği” olarak ifade edildiğine göre ilerleme ve kesme derinliğinin artmasına bağlı olarak, talaş kesit alanı (A) artacağından kesme kuvvetlerinin de artması beklenen bir sonuçtur [153].

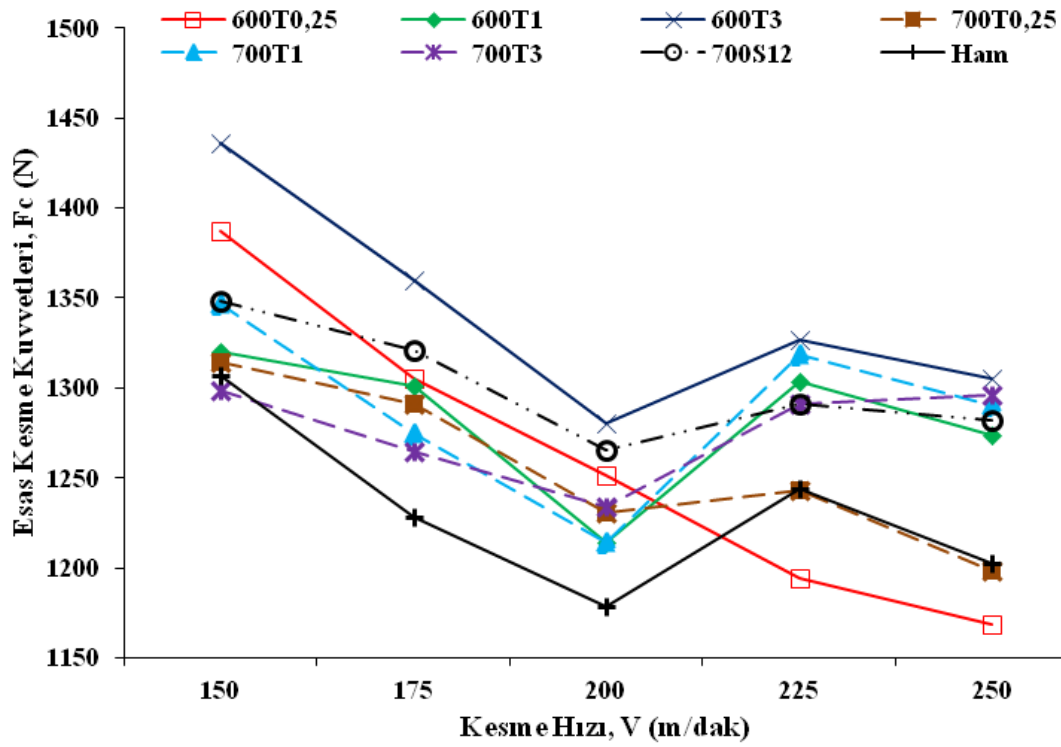


Şekil 5. 12. 1,6 mm kesme derinliği, 0,16 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri

Şekil 5.2 - Şekil 5.7'deki grafiklere bakıldığında küreselleştirme sıcaklığının ve süresinin değişimine bağlı olarak kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde; 1,6 mm, 2,5 mm kesme derinliğinde 0,16 mm/dev, 0,25 mm/dev ilerleme değerinde 150 m/dak, 175 m/dak kesme hızlarında 600T0,25 ve 700S12 iş parçaları hariç diğer iş parçalarının esas kesme kuvvetlerinde BUE eğilimine bağlı olarak bir düşüş görülmüştür. Kesme hızının 200 m/dak artırılması ile BUE eğiliminin azalması sonucunda esas kesme kuvvetlerinde önce bir artış meydana gelmekte kesme hızının 225 ve 250 m/dak artırılmasıyla takım/talaş arayüzündeki sıcaklığa artmasına bağlı olarak esas kesme kuvvetlerinde düşüş görülmektedir.



Şekil 5. 13. 1,6 mm kesme derinliği, 0,25 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri



Şekil 5. 14. 1,6 mm kesme derinliği, 0,40 mm/dev ilerleme ve kesme hızı değişimine bağlı olarak ölçülen esas kesme kuvvetleri

5.4. Mikroyapının Yapının Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkisi

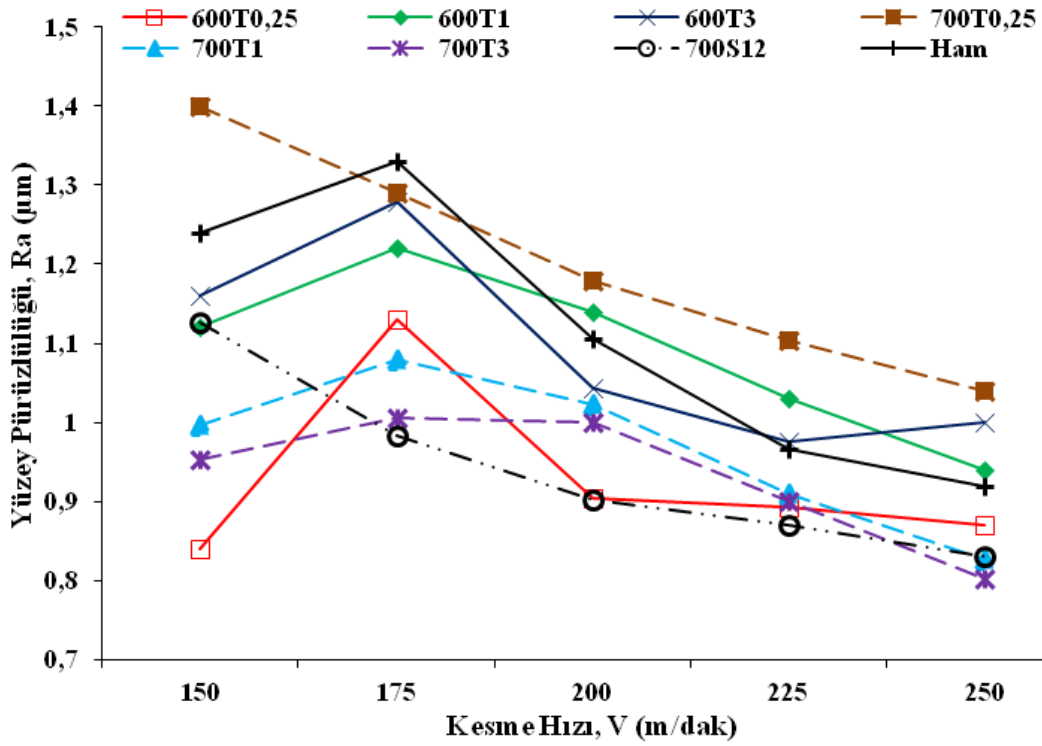
Mikroyapı değişimlerine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetleri değerleri değerlendirildiğinde en yüksek esas kesme kuvvetinin 600T3 iş numunesinden elde edildiği Şekil 5.2 – Şekil 3, Şekil 5.8 ve Şekil 5.11 – Şekil 13’de görülmektedir. Bu durum 540-675 °C’de yüksek karbonlu çeliklerde sementit partiküllerinin yoğunluğu fazla olduğundan, sementitler tane sınırlarında dislokasyon hareketini ve ferrit tane sınırlarını kilitleyerek yeniden kristalleşmeyi zorlaştırmasının bir sonucudur. Fakat sıcaklık ve sürenin artırılmasıyla mikroyapıdaki fazlar giderek büyümekte ve yeniden kristalleşme daha kolay meydana gelmektedir. Bundan ötürü sıcaklık değeri 700 °C’e çıkartılmasıyla 700T0,25, 700T1 ve 700T3 numunelerinin 600 °C’deki numunelere göre daha büyük ferrit fazlarının oluşması beklenen bir durumdur. Buna ilaveten 700 °C’e sürenin artırılmasıyla ferrit fazları giderek büyümekte ve dislokasyon hareketleride daha kolay gerçekleşmektedir. Bunların sonucu olarak 700T3 numunesi 700T1 numunesine göre daha düşük kesme kuvvetleri değerlerine sahipken, 700T1 numunesi ise 700T0,25 numunesine göre daha düşük kesme kuvvetlerine sahip olmaktadır. Şekil 5.2 – Şekil 5.3’deki esas kesme grafiklerine bakıldığında en düşük kesme değerleri 700S12 numunesinde 150 ve 175 m/dak kesme hızları hariç 200, 225 ve 250 m/dak kesme hızlarında olduğu görülmektedir. Bunun sebebi klasik küreselleştirme işleminde faz oranları olduğu gibi korunmakta ve mikroyapıdaki perlit ise küresel hale dönüşmektedir. Su verme sonrası küreselleştirme sonucu yeniden kristalleşen ferrit, klasik küreselleştirme ısıtma işlemindeki ferrit oranından daha küçük olduğu için kesme kuvvetlerinin daha yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Isıl işlem uygulanmamış iş parçasının esas kesme kuvvetleri, klasik küreselleştirme işlemi uygulanan 700S12 iş parçasından daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum ise iş parçalarının mikroyapısında bulunan fazların farklılığından kaynaklanmaktadır ve küreselleşmiş perlitik yapı, lamelli perlitik yapıya göre daha iyi işlenebilirlik sonuçları vermektedir [30-34, 41-42]. Isıl işlem uygulanan iş parçaların sertlik değerlerinin (Bkz. Çizelge 5.1) kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde; en yüksek süneklik değeri 700S12 numunesine ait olduğu için en düşük kesme kuvvetleri değerleri elde edilmiştir. Genel olarak 700T grubunda küreselleşen numunelerin sünekliği 600 °C grubunda küreselleşen numunelerinkinden daha yüksek olduğu için de daha düşük kesme kuvvetleri değerleri elde edilmiştir.

5.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

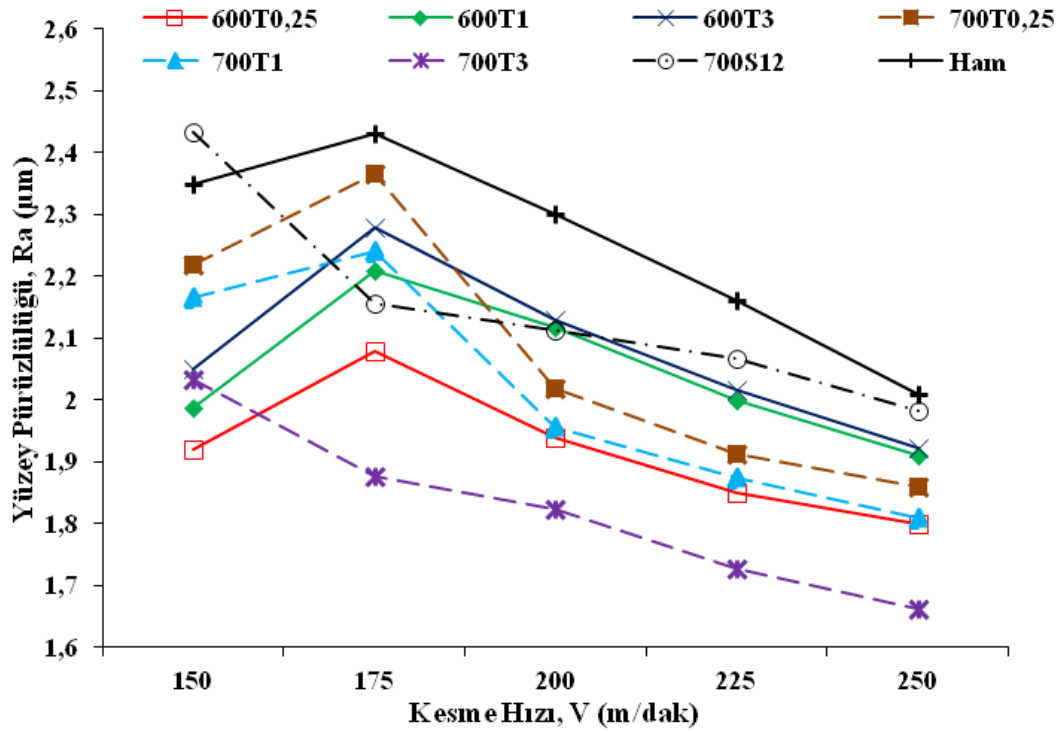
Küreselleştirme ısıtma işlemi uygulanarak mikroyapıları değiştirilen numuneler, klasik küreselleştirme ısıtma işlemi ve ısıtma işlemsiz numunelere uygulanan kesme parametrelerine bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 5.5’de verilmiştir. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametrelerine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerlerindeki (Ra) değişimler Şekil 5.14 – Şekil 19’da grafiksel olarak gösterilmiştir. Kesme hızının artırılmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı Şekil 5.14 – Şekil 5.15 ve Şekil 5.17 – Şekil 5.18’deki grafiklere bakıldığında görülmektedir. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesi, yüksek hızlarda artan sıcaklıktan kaynaklanmaktadır. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak, yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme, beklenen bir özellik olup yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için kesme hızının artırılması, literatürde önerilen en yaygın yöntemdir [119-120, 123, 154-155]. Diğer bir ifadeyle kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azalması, yüksek kesme hızlarında oluşumu azalan BUE ile de açıklanabilir [156]. Fakat 150 m/dak ve 175 m/dak’a kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde bir farklılık gözlemlenmiştir. Bu farklılığın sebebi sünek malzemelerde düşük ve orta kesme hızlarında BUE oluşumundan kaynaklanmaktadır [157]. 150 m/dak’da oluşan BUE miktarı 175 m/dak’da oluşan BUE miktarından daha azdır (Bkz. Şekil 5.2). Bu durum 150 m/dak kesme hızında BUE kesici takım burun radyüsünü artırmıştır. Kesici takım uç radyüsü ile yüzey pürüzlülük değeri arasında ters bir orantı mevcuttur. Uç radyüsünün artması yüzey pürüzlülük değerini azaltmaktadır. Bu durum yapılan araştırmalar ile uyumluluk göstermektedir [158-159]. Fakat 175 m/dak’daki kesme hızında BUE miktarı maksimum seviyeye gelerek yüzey pürüzlülük değerlerinde ise bir artış sağlamıştır. Bu durum kesici takım ucunda oluşan BUE kararsız bir yapıda olduğu için yüzey pürüzlülük değerini artırmıştır. Dolayısıyla 175 m/dak kesme hızlarında yığıntı talaşın büyük ve kararsız olması durumunda yüzey pürüzlülük değeri daha da artarak, kötü bir yüzey oluşturmuştur. Kesme hızının 200, 225 ve 250 m/dak artırılması ile BUE oluşumunda giderek bir azalma olacağından yüzey pürüzlülük değerinde kesme hızının artmasıyla giderek bir düşüş görülmüştür. BUE oluşumunun azalmasının sebepleri yüksek kesme hızında artan sıcaklığa bağlı olarak deforme işleminin kolaylaşması, iş parçası malzemesinin kesici kenar ve burun radyüsü çevresinde rahat bir şekilde deforme edilmesi ve yüksek sıcaklıklarda oluşan akma bölgesine bağlı olması gibi faktörlerin olduğu söylenebilir [160]. Bu durum kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin düşmesi sağlamıştır.

Çizelge 5. 5. Yüzey pürüzlülük değerleri

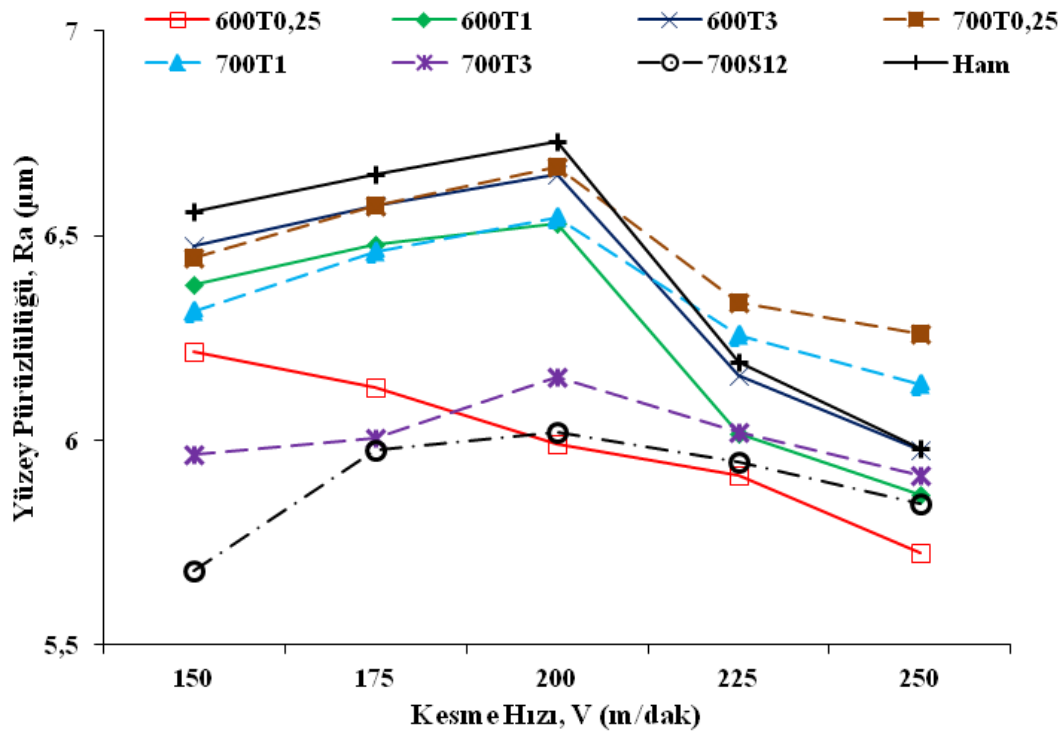
Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	Yüzey pürüzlülük değerleri, Ra (µm)							
				600/0,25sa.	600/1sa.	600/3sa.	700/15 da.	700/1sa.	700/3sa.	700S12	Isl işlemsiz
1	150	0,16	1,6	0,84	1,12	1,16	1,4	0,996667	0,953333	1,226667	1,24
2		0,25		1,92	1,986667	2,05	2,22	2,165	2,03333	2,433333	2,35
3		0,4		6,215	6,38	6,476667	6,445	6,316667	5,965	5,68	6,56
4		0,16	2,5	0,765	1,065	1,23	1,533333	1,46	1,145	1,19	1,66
5		0,25		1,98	2,04	2,145	2,31	2,21	2,19	2,575	2,48
6		0,4		6,34	6,67	6,95	7,2	6,94	6,73	6,59	7,36
7	175	0,16	1,6	1,13	1,22	1,28	1,29	1,08	1,006667	0,98333	1,33
8		0,25		2,08	2,21	2,28	2,365	2,24	1,876667	2,156667	2,43
9		0,4		6,13	6,48	6,573333	6,573333	6,46	6,0005	5,975	6,35
10		0,16	2,5	1,24	1,345	1,455	1,73	1,54	1,29	1,02	1,76
11		0,25		2,12	2,365	2,355	2,405	2,31	2,066667	2,23	2,54
12		0,4		6,185	6,86	7,11	7,36	7,24	6,73	6,74	7,49
13	200	0,16	1,6	0,905	1,14	1,043333	1,18	1,023333	1	0,903333	1,106667
14		0,25		1,94	2,116667	2,13	2,02	1,955	1,82333	2,113333	2,3
15		0,4		5,99	6,53	6,65	6,666667	6,545	6,155	5,946667	6,73
16		0,16	2,5	0,98	1	1,116667	1,47	1,363333	1,07	0,983333	1,175
17		0,25		2	2,3	2,205	2,133333	1,96	1,94	2,21	2,42
18		0,4		6	6,945	7,25	7,55	7,526667	7,09	7,11	7,68
19	225	0,16	1,6	0,893333	1,03	0,9766667	1,103333	0,91	0,9	0,87	0,966667
20		0,25		1,85	2	2,016667	1,913333	1,875	1,726667	2,06667	2,16
21		0,4		5,915	6,016667	6,16	6,335	6,255	6,02	5,946667	6,19
22		0,16	2,5	0,913333	0,935	1,04333	1,32	1,255	1,006667	0,93	1,01
23		0,25		1,905	2,01	2,016667	1,97	1,89	1,793333	2,16	2,27
24		0,4		5,92	6,11	6,43	6,956667	6,726667	6,536667	6,49	6,61
25	250	0,16	1,6	0,87	0,94	1	1,04	0,826667	0,80333	0,83	0,92
26		0,25		1,8	1,91	1,923333	1,86	1,81	1,663333	1,983333	2,01
27		0,4		5,725	5,86667	5,976667	6,26	6,135	5,915	5,845	5,98
28		0,16	2,5	0,84	0,883333	0,95	1,213	1,145	0,93333	0,913333	0,905
29		0,25		1,855	1,94	1,95	1,91	1,806667	1,68	2,11	2,16
30		0,4		5,84	5,95	6,13	6,71	6,583333	6,36	6,276667	6,34



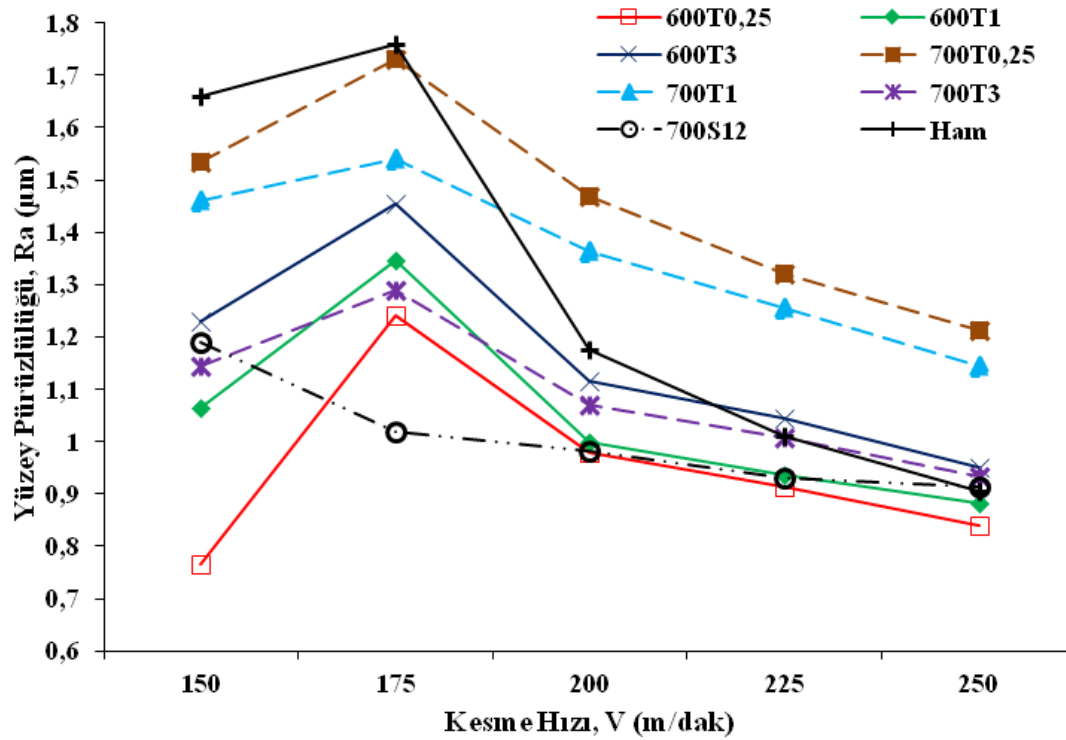
Şekil 5. 15. 1,6 mm talaş derinliği ve 0,16 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri



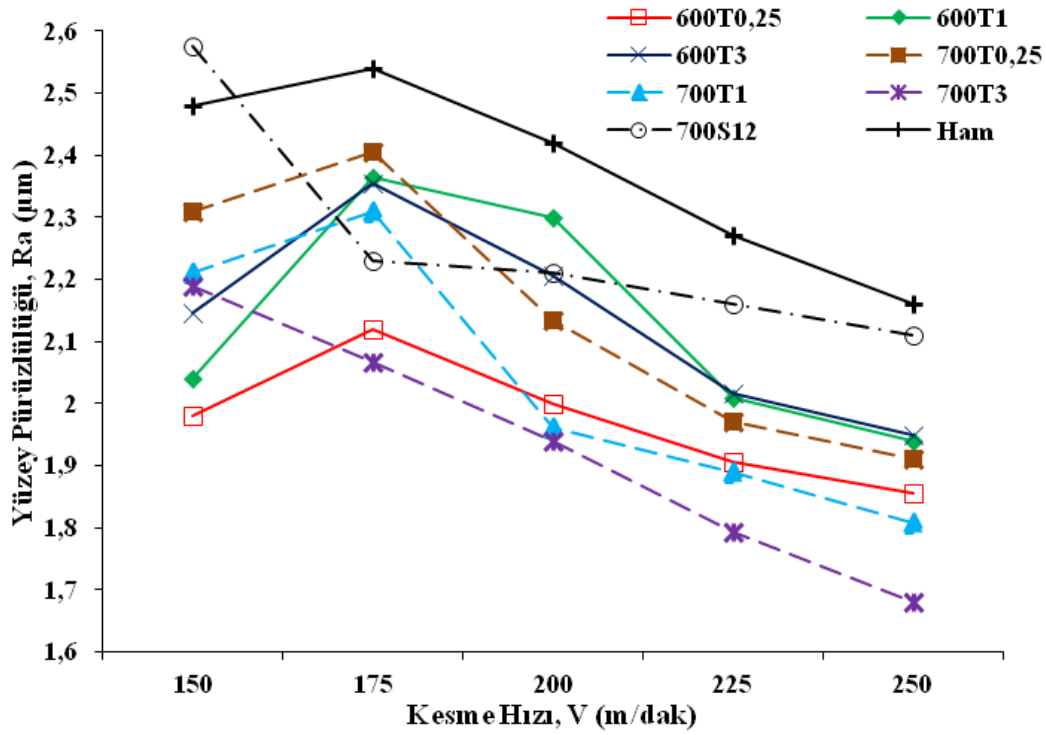
Şekil 5. 16. 1,6 mm talaş derinliği ve 0,25 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri



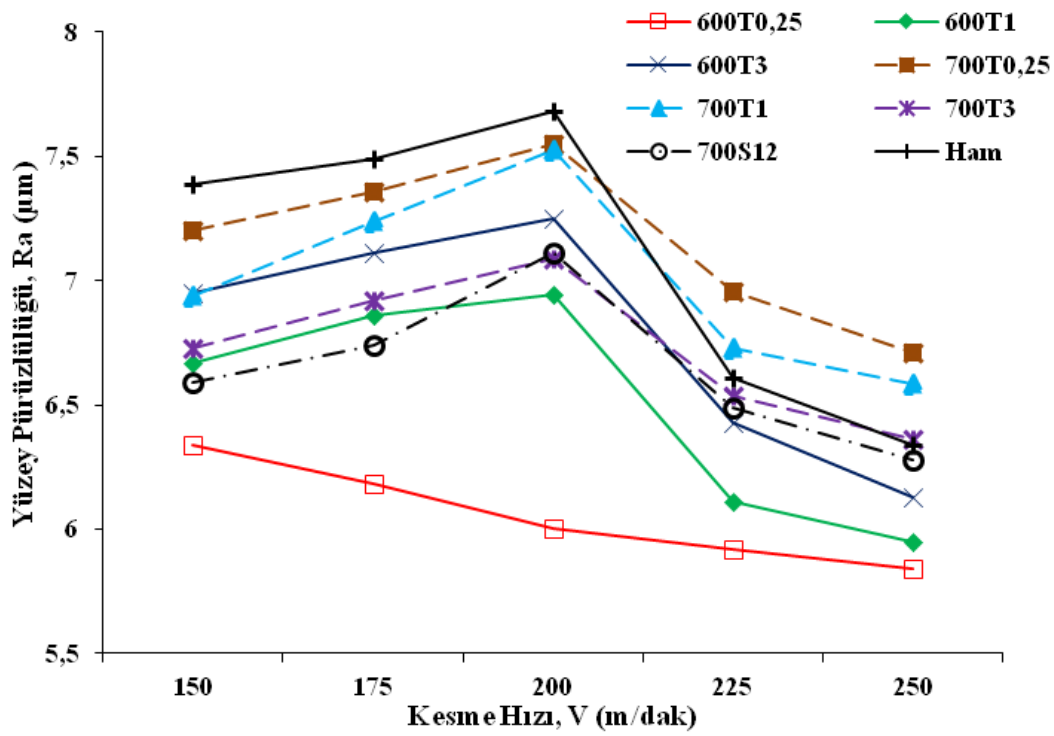
Şekil 5. 17. 1,6 mm talaş derinliği ve 0,40 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri



Şekil 5. 18. 2,5 mm talaş derinliği ve 0,16 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri



Şekil 5. 19. 2,5 mm talaş derinliği ve 0,25 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri



Şekil 5. 20. 2,5 mm talaş derinliği ve 0,40 ilerleme değerinde kesme hızına bağlı olarak ölçülen yüzey pürüzlülükleri

Yapılan deneylerde kesme derinliği açısından yüzey pürüzlülüğü değerlendirilecek olursak, kesme derinliğindeki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği gözlenmiştir (Şekil 5.14 – Şekil 19). Kesme derinliğindeki artışa bağlı olarak, yüzey pürüzlülüğünün kötüleşmesi ise artan talaş kesit alanına atfedilmiştir [153].

İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisini değerlendirmek için Şekil 5.2 – Şekil 3 ve Şekil 5.8'deki grafikler yorumlandığında; ilerleme hızının artması ile ısıtma işlem uygulanan ve uygulanmayan iş parçaları için yüzey pürüzlülük değerleri artmaktadır. Bir başka ifadeyle ilerleme hızı ile yüzey pürüzlülüğü doğru orantılı olarak değişmektedir. Bunun nedeni, ilerleme miktarı arttıkça kesicinin bir devirde alması gereken talaş miktarının artması nedeniyle yüzey pürüzlülük değerini de artmaktadır [161].

Mikroyapıdaki değişimlere göre yüzey pürüzlülük değerlerini karşılaştıracak olursak; 600T grubunda düşük sürelerde küreselleştirme, numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerini olumlu yönde etki etmektedir. Bunun sebebi düşük sürede küreselleşen numunelerin mikroyapısının daha düzenli içyapıya sahip olmasından (Bkz. Resim 5.3a) kaynaklanmaktadır. 600T grubu numunelerin küreselleştirme süresinin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum küreselleştirme sıcaklığının artması ile karbonun difüzyon hızının artması ve karbürlerin hızla büyüyerek birleşmesiyle daha geniş ferrit alanları meydana gelmesinden dolayı daha kötü yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 600T grubunda küreselleştirilen numuneleri en düşük yüzey pürüzlülük değeri 0,25 saat küreselleştirme süresinde ve düşük kesme hızlarında elde edilmiştir. Mikroyapı değişimine bağlı olarak 600T grubunda ısıtma işlem görmüş numunelerde ısıtma işlem süresi arttıkça yüzey pürüzlülük değeri artarken, bunun aksine 700T grubunda ısıtma işlem görmüş numunelerde ısıtma işlem süresi arttıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır. Bu durum 700T grubunda küreselleştirme sıcaklığı artması ile numunelerin mikroyapısı (Bkz. Resim 5.4a-b-c) daha düzenli içyapıya sahip olması sonucunda daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri sonuçları elde edilmiştir. 700T grubunda küreselleştirilen numunelerde en düşük yüzey pürüzlülük değeri 1 saat küreselleştirme süresinde elde edilmiştir.

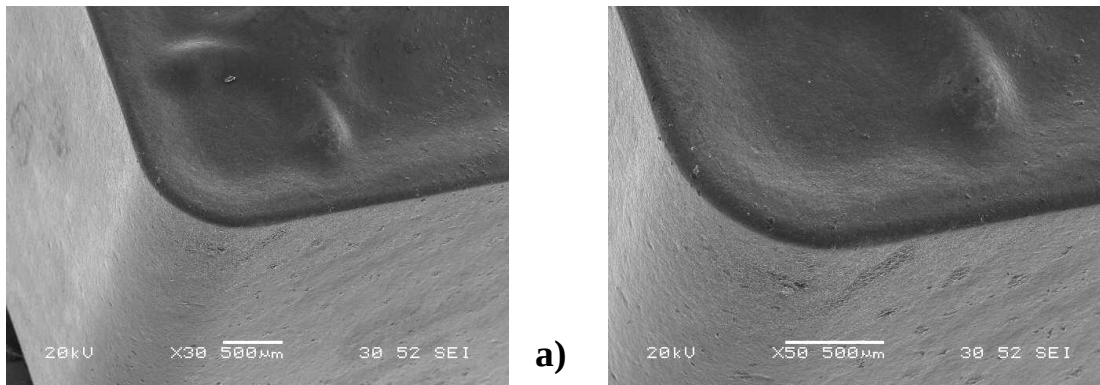
Deneylerde en iyi yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı 150 m/dak, ilerleme 0,16 mm/dev ve kesme derinliği 2,5 mm değerlerinde ve 600T0,25 küreselleştirilen, en kötü yüzey pürüzlülüğü ise kesme hızı 150 m/dak, ilerleme 0,4 mm/dev ve kesme derinliği 2,5 mm

değerlerinde ısıt işlem görmemiş iş parçasından elde edilmiştir. Isıt işlem uygulanmış iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında genel olarak küreselleştirilen numunelerin, klasik küreselleştirme ısıt işlemi uygulanmış numuneden daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri sonuçları elde edilmiştir. Bu durum 600T ve 700T grubundaki numunelerin mikroyapılarının klasik küreselleştirme ısıt işlemi uygulanmış numunelerden daha düzenli bir mikroyapı dağılımına sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

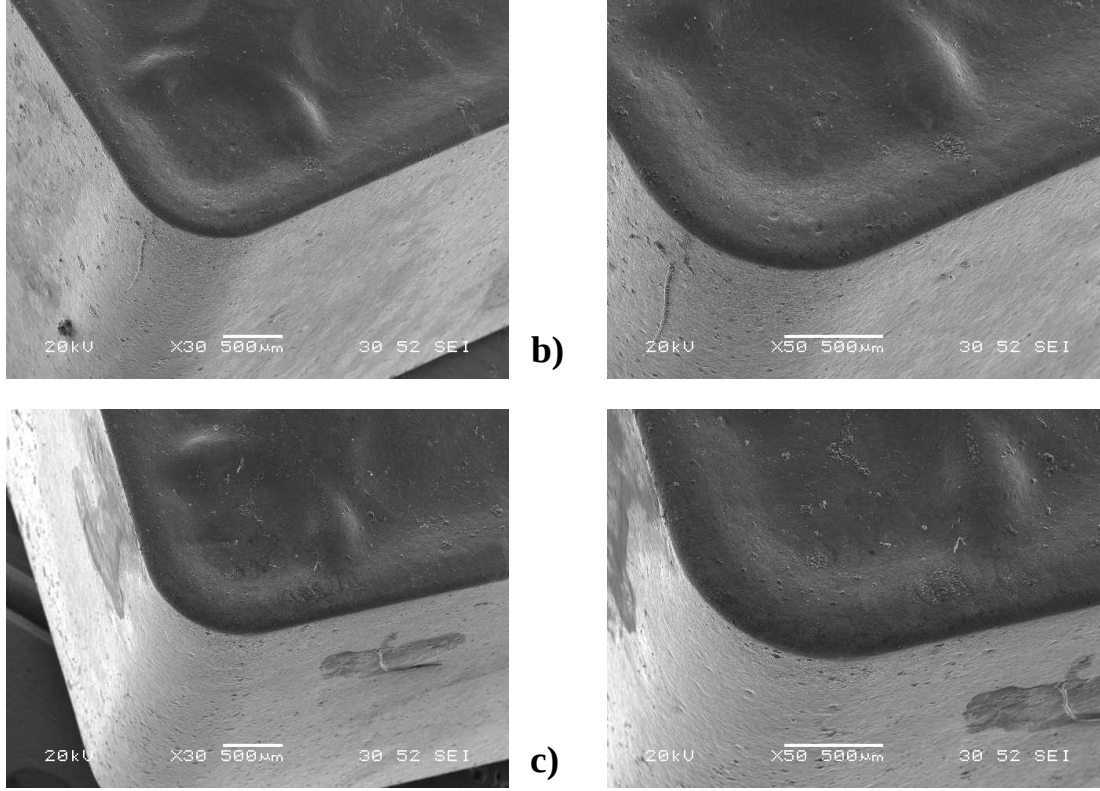
Küreselleştirme ısıt işlem uygulanmış ve ısıt işlem uygulanmamış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında; genel olarak en iyi yüzey pürüzlük 600T ve 700T grubundaki numuneler daha sonra ısıt işlem uygulanmamış numunelerde görülürken, en kötü yüzey pürüzlülük değerleri ise klasik küreselleştirme ısıt işlemi uygulanmış parçalarda görülmüştür.

5.6. Talaş Sıvanması

Resim 5.20'deki SEM görüntüleri incelendiğinde; kesme hızı 200 mm/dak, $a = 2,5$ mm talaş derinliği ve üç farklı ilerleme (0.16, 0.25 ve 0.4 mm/dev) kesme parametrelerine bağlı olarak 600T0,25 küreselleştirme ısıt işlemi gerçekleştirilen numuneleri işleyen uçlarda herhangi bir talaş sıvanması meydana gelmediği Şekil 5.20'de görülmektedir. Bunun nedeni 15 mm boyda boyuna tornalama süresinin kısa olmasından kaynaklanmaktadır.



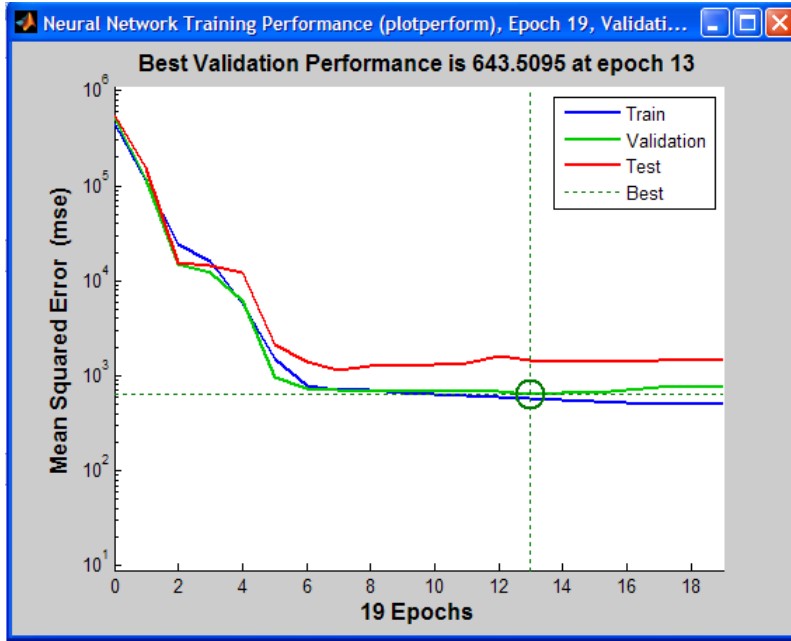
Şekil 5. 21. Uçlardaki talaş sıvanması SEM görüntüleri a) 0,16 mm/dev ilerleme b) 0,25 mm/dev ilerleme c) 0,4 mm/dev ilerleme



Şekil 5. 221. (devamı) Uçlardaki talaş sıvanması SEM görüntüleri a) 0,16 mm/dev ilerleme b) 0,25 mm/dev ilerleme c) 0,4 mm/dev ilerleme

5.7. YSA Modelinin Performansı

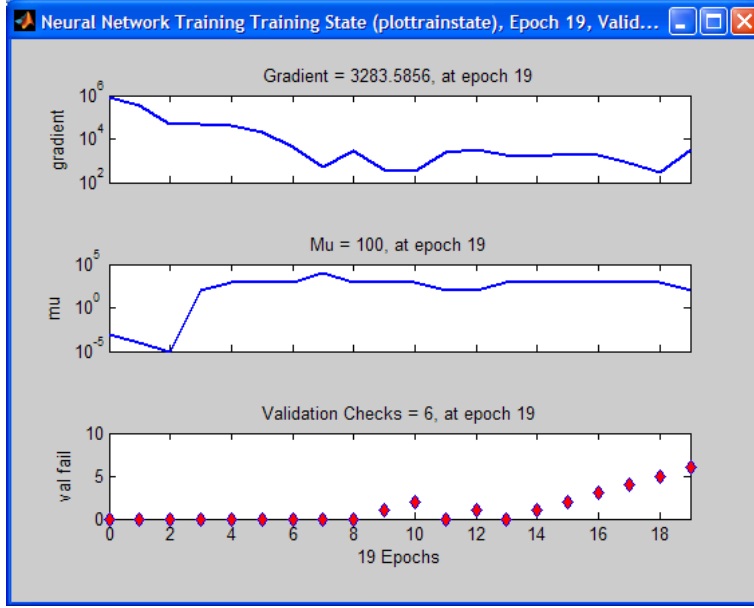
Eğitilen ağın öğrenme performansının değerlendirilmesi için Şekil 5.21'deki grafik incelendiğinde; Şekil 5.21'deki üç çizginin 240 adet giriş verisinden rastgele alınmış % 60 eğitilmiş (train) verileri en alttaki çizgi(mavi renk), ortadaki (yeşil renk) %20 ağın daha iyi nasıl genelleme sonucunda vereceğini ve en üstte bulunan çizgi (kırmızı renk) test verilerini oluşturmaktadır. Ağdaki öğrenme oranı, verilerin doğrulama oranı düşünceye kadar ağ eğitimini sürdürür. Ağ bu döngüdeki eğitim setini ezberler ve eğitimi sona erdirir. Şekil 5.21'de YSA modelinin performansını 19 epoch'a kadar sürdürdüğü görülmektedir. Ağ modeli en iyi öğrenme genellemesi doğrulamasını 13 epoch'ta gerçekleştirmiştir.



Şekil 5. 232. YSA ağ modeli performansı

5.8. YSA Ağ Modelinin Eğitim Durumu

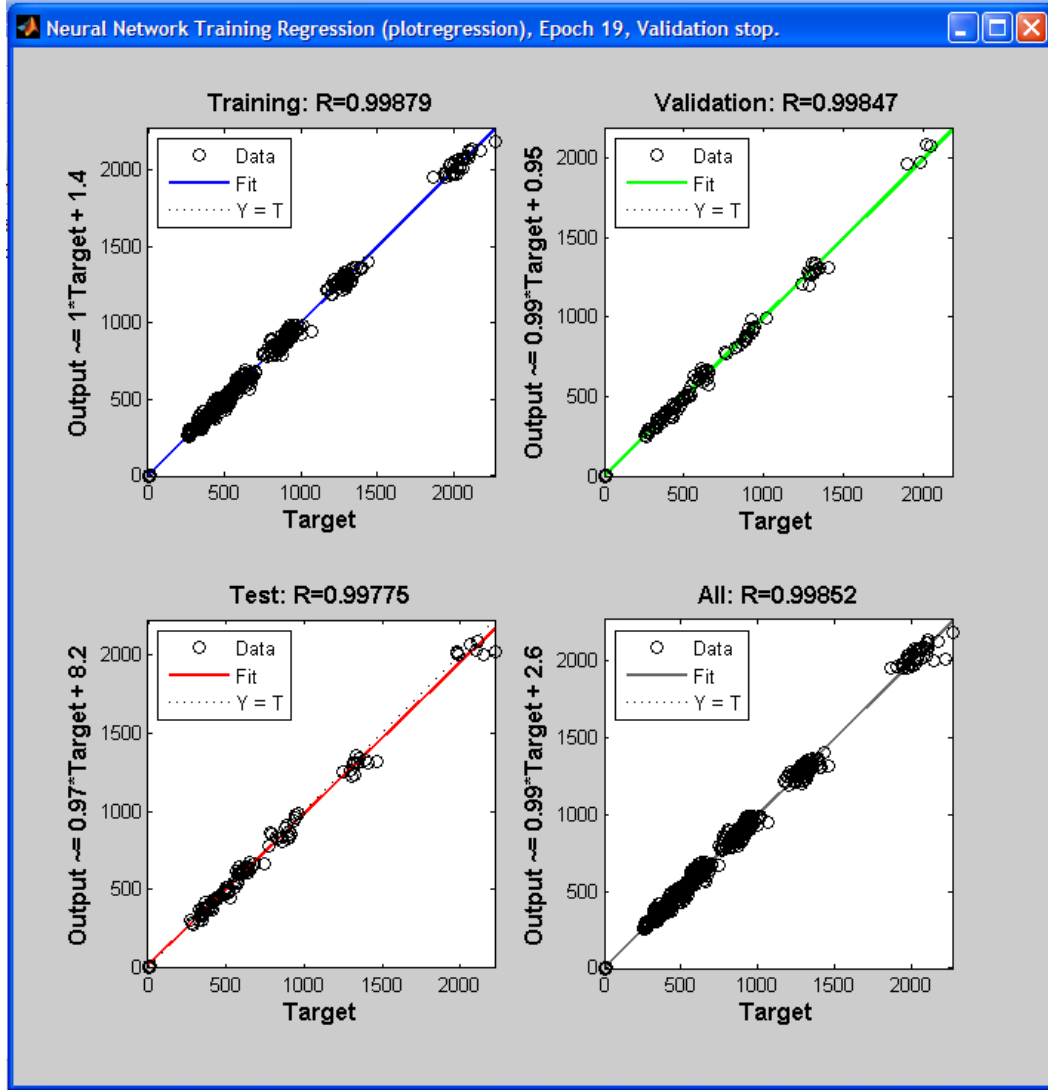
Eğitilen ağın durumunu değerlendirmek için Şekil 5.22’ a incelendiğinde; *gradient*, *mu* ve *val fail* grafiklerini değerlendirecek olursak, *gradient* grafiği; ağ en düşük performansa ulaştığında *gradient* en düşük değerde olacaktır. Geriye yayımlımlı ağ modelinde ağdaki ağırlık değerleri negatif *gradient* yönünde güncellenir. Bu demektir ki *gradient*’ın değeri azalırsa, eğitim durdurulacaktır. *Gradient* 19. döngüde hızlıca 3283,5856 değerine yükselmiştir. *Mu*, her döngüdeki ağırlık değişimlerini kontrol eder. *Mu* değeri en düşük 10^{-6} veya en büyük 100 dür. *Mu*, çok düşük değerde olması ağın oldukça yavaşlamasına sebep olacak ve çok büyük olması da düzensiz değerlere sebep olacağı düşünülmektedir ve sonuç çözümü karmakarışık sonuçlar sergileyecektir. *Mu* değeri 19. döngüde hızlı bir şekilde 100 değerine artmıştır. Ağımızın doğrulama kontrolü (validation checks) değeri 6 olarak belirlenmiştir. Bu Şekil 5.22’deki üçüncü grafikte görülmektedir. Doğrulama döngüsü ağımızdaki verileri öğrenmek için 6 döngüde doğrulama hata oranı küçük ise devam eder. Eğer ki hata oranı artmaya başlarsa ağdaki eğitim durdurulur.



Şekil 5. 243. Ağın eğitim durumu

5.9. Test İşlemi

YSA modelinin eğitilmesi işleminden sonra elde edilen tahmin sonuçları ile deneysel sonuçları istatistiksel hata miktarına göre karşılaştırılması Şekil 5.23’de verilmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlar ve YSA tahmin sonuçları değerleri karşılaştırılması Çizelge 5.6 - Çizelge 5.9’da verilmiştir. Ağ modelinin eğitimi (Training) $R=0.99879$ oranında oldukça iyi bir oranda eğildiği görülmektedir. Eğitim verilerine dahil edilmeyen ve rastgele seçilen test (Test) verileri $R=0.99775$ oranı ile başarılı bir şekilde eğitilmiştir. İstatistiksel hata analizlerinde eğitim ve test verilerinin performansı birlikte değerlendirilir. Eğitilen değerler ve test verilerinin doğrulaması (Validation) $R=0.99847$ oranında örtüşmektedir. Tüm (All) sonuçların R kare değerinin sonucu 0.99852 oranında ağın tahmin sonuçlarına yaklaşımı yüksek güvenilirlik düzeyinde sağlanmıştır. Sonuç olarak farklı ara değer giriş verileri kullanarak elde etmek istenilen tahmini sonuçlara ulaşma oranı oldukça yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 254. Deney sonuçları ve YSA tahmini değer sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 5. 6. Esas kesme kuvvetleri değerleri ve YSA Tahminleri

Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	Esas Kesme Kuvvetleri, F_c (N) ve YSA Tahminleri							
				600/025sa.	YSA tahmini	700/0,25 sa.	YSA tahmini	700S12	YSA tahmini	Isl işlemsiz	YSA tahmini
1	150	0,16	1,6	668,68	668,7441	624,03	623,1724	638,93	604,3055	618,81	684,7203
2		0,25		929,53	914,273	862,35	867,9817	886,93	880,8491	859,82	875,7712
3		0,4		1319,69	1305,771	1314,31	1332,505	1347,99	1270,285	1306,5	1340,115
4		0,16	2,5	1014,06	1002,003	942,1	936,4953	915,35	915,1723	917,02	927,2854
5		0,25		1398,02	1397,316	1330,3	1353,962	1312,51	1308,725	1300,9	1266,002
6		0,4		2053,13	2064,437	2103,72	2101,3	2065	2027,169	2020,02	2063,74
7	175	0,16	1,6	636,91	668,7441	615,04	631,437	629,93	614,5686	603,43	684,1863
8		0,25		890,46	914,273	860,02	862,0692	868,37	880,0273	830,04	868,7987
9		0,4		1301,43	1305,771	1290,7	1289,996	1320,82	1245,102	1228,32	1307,085
10		0,16	2,5	1009,13	1004,422	906,87	940,4569	911,11	928,1311	896,49	915,9052
11		0,25		1393,62	1372,387	1284,89	1333,181	1294,14	1300,387	1255,44	1248,3
12		0,4		2019,37	2012,304	2010,93	2049,045	2001,28	1983,288	1940,6	2031,169
13	200	0,16	1,6	685,73	657,8906	618,54	619,8477	628,61	607,9795	635,52	665,0607
14		0,25		945,43	890,5212	865,12	837,4168	860,09	863,5631	884,19	853,6057
15		0,4		1213,94	1268,593	1230,86	1255,905	1265,5	1223,396	1178,26	1290,215
16		0,16	2,5	959,17	987,5533	967,05	924,0546	911,9	921,7151	943,92	891,7245
17		0,25		1350,56	1340,776	1339,52	1306,828	1273,63	1280,262	1335,94	1233,593
18		0,4		1994,87	1979,108	1977,69	2015,578	1985,25	1955,537	1869,14	2016,997
19	225	0,16	1,6	650,32	633,7751	579,74	595,5156	618,22	591,0606	609,71	642,6659
20		0,25		901,07	868,7143	823,12	815,6658	850,78	851,6084	844,93	851,4523
21		0,4		1303,31	1252,154	1242,77	1240,696	1290,77	1219,251	1243,94	1290,938
22		0,16	2,5	944,7	966,5534	929,04	904,6138	892,82	912,1351	933,34	878,7814
23		0,25		1311,54	1323,385	1320,46	1293,525	1247,88	1269,525	1299,7	1236,468
24		0,4		1945,67	1964,528	2036,27	2000,889	2057,5	1944,269	1999,68	2016,692
25	250	0,16	1,6	636,56	620,1212	591,7	582,0499	606,49	584,7149	583,26	637,1027
26		0,25		877,65	866,4922	803,32	813,8858	845,44	863,1139	811,1	867,2072
27		0,4		1273,51	1248,977	1198,06	1238,524	1281,95	1228,397	1202,8	1300,27
28		0,16	2,5	920,27	961,2295	921,04	901,5862	887,75	919,3195	900,86	886,0401
29		0,25		1287,32	1321,236	1289	1295,19	1247,95	1273,814	1280,71	1253,755
30		0,4		1900,55	1959,077	1984,58	1995,955	2024,87	1940,513	1970,43	2022,016

Çizelge 5.6. (Devam) Esas kesme kuvvetleri değerleri ve YSA Tahminleri

Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	Esas Kesme Kuvvetleri, F_c (N) ve YSA Tahminleri							
				600/1sa.	YSA tahmini	600/3sa.	YSA tahmini	700/1sa.	YSA tahmini	700/3sa.	YSA tahmini
1	150	0,16	1,6	649,02	651,3537	670,36	641,7538	625,61	614,7989	626,3	609,4957
2		0,25		929,27	907,4716	949,07	901,6392	861,35	862,9321	854,28	875,3301
3		0,4		1387,05	1344,176	1435,84	1354,409	1346,65	1330,384	1298,77	1355,276
4		0,16	2,5	972,91	991,0094	972,01	984,1794	946,93	928,8676	975,95	937,0855
5		0,25		1396,31	1391,581	1345,57	1400,953	1329,7	1350,117	1387,37	1368,435
6		0,4		2097,71	2072,302	2099,72	2125,94	2112,13	2117,417	2267,11	2178,324
7	175	0,16	1,6	618,66	660,9048	627	651,5428	609,89	623,0373	608,25	617,4194
8		0,25		881,62	902,9794	887,32	895,811	834,48	856,5403	832,87	868,6188
9		0,4		1305,09	1299,753	1359,61	1312,003	1274,63	1288,615	1264,3	1315,545
10		0,16	2,5	928,6	993,6299	923,39	986,7165	922,55	932,8029	945,48	940,2489
11		0,25		1323,52	1367,752	1304,37	1379,59	1296,94	1330,327	1352,17	1350,871
12		0,4		2037,48	2020,798	2026,03	2076,626	2052,46	2066,386	2176,9	2131,397
13	200	0,16	1,6	571,55	649,8822	640,03	640,948	643,04	611,4841	634,26	605,9056
14		0,25		805,94	879,2332	909,14	872,2145	902,26	831,878	840,13	844,9595
15		0,4		1251,7	1263,997	1280,63	1280,301	1214,35	1255,926	1234,26	1286,531
16		0,16	2,5	958,93	976,6507	1010,78	969,2604	936,23	916,1623	946,16	922,7581
17		0,25		1341,45	1337,67	1464,07	1353,077	1321,89	1305,336	1318,03	1328,86
18		0,4		1943,28	1988,484	1982,12	2046,435	1970,76	2034,325	2085,01	2103,42
19	225	0,16	1,6	581,65	626,2602	631,75	619,7099	622,48	587,9678	623,05	584,6735
20		0,25		794,72	858,4328	882,2	854,1961	858,19	811,0012	863,21	827,3483
21		0,4		1193,99	1248,907	1326,53	1268,973	1318,67	1242,015	1290,88	1276,091
22		0,16	2,5	947,41	956,2928	994,65	950,8597	905,7	897,2755	893,38	905,5133
23		0,25		1312,92	1321,904	1409,2	1341,399	1300,35	1293,347	1282,67	1320,127
24		0,4		1995,97	1974,156	2219,26	2032,376	2101,87	2020,344	2108,42	2091,559
25	250	0,16	1,6	566,41	613,7488	616,34	610,9225	613,45	576,0991	600,83	576,8309
26		0,25		792,36	857,5911	857,43	856,8205	840,48	810,4056	826,24	830,4727
27		0,4		1168,26	1246,833	1305,33	1270,172	1290,44	1241,048	1295,87	1278,448
28		0,16	2,5	924,55	952,1245	980,69	949,8819	883,57	895,2694	896,08	906,2959
29		0,25		1305,7	1321,197	1405,75	1344,51	1280,3	1296,287	1265,87	1326,402
30		0,4		1986,42	1968,539	2150,72	2026,29	2058,93	2015,527	2059,61	2087,68

Çizelge 5. 7. İlerleme kuvvetlerinin değerleri ve YSA Tahminleri

Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	İlerleme Kuvvetleri, F_f (N) ve YSA Tahminleri							
				600/0,25sa.	YSA tahmini	700/0,25 sa.	YSA tahmini	700S12	YSA tahmini	Isl işlemsiz	YSA tahmini
1	150	0,16	1,6	409,55	385,0977	349,85	352,7081	333,14	330,6597	326,84	371,324
2		0,25		474,93	442,0394	404,8	398,8157	396,66	378,4729	389,13	391,0827
3		0,4		511,52	534,9856	521,03	516,5087	569,7	459,6264	492,89	561,2525
4		0,16	2,5	654,12	606,7244	531,19	548,6507	507,27	512,6011	496,29	476,8279
5		0,25		703,04	704,9389	629,9	669,8351	635,75	611,4368	595,48	567,3495
6		0,4		864,73	876,6654	898,68	904,7699	918,57	842,6812	836,56	914,6278
7	175	0,16	1,6	417,95	397,7032	351,95	364,6552	329,27	343,3132	329,37	364,9411
8		0,25		473,59	441,1032	393,25	398,7341	376,88	386,4532	364,88	383,4614
9		0,4		534,3	509,0392	500,23	491,3745	524,2	452,143	440,64	534,67
10		0,16	2,5	659,72	598,4481	508,9	540,6192	488,82	518,67	492,18	472,3652
11		0,25		745,09	682,7939	602,48	650,5241	614,73	603,1606	573,43	554,588
12		0,4		842,11	839,1346	842,42	867,8347	878,72	808,3467	791,47	891,3011
13	200	0,16	1,6	432,1	395,9957	358,03	362,5214	335,29	341,2544	350,49	345,3532
14		0,25		507,54	429,4491	406,81	387,5923	366,88	383,1415	404,13	366,9089
15		0,4		507,95	485,3224	459,02	468,1162	488,68	445,6526	427,39	515,393
16		0,16	2,5	566,75	576,9704	545,33	521,5889	497,06	516,2695	517,76	462,9592
17		0,25		653,87	651,1687	632,22	620,7838	602,03	587,6448	618,57	547,2869
18		0,4		863,86	808,7167	816,26	837,773	856,02	780,1395	747,32	883,0108
19	225	0,16	1,6	424	382,5012	337,44	349,2124	325,06	325,2188	343,16	328,0735
20		0,25		482,98	418,2973	369,18	376,9552	350,93	379,2047	377,51	360,7898
21		0,4		540,29	471,8604	474,19	457,7431	501,61	448,351	448,83	506,522
22		0,16	2,5	575,85	560,8111	527,04	507,4214	487,22	516,6622	511,84	462,0082
23		0,25		643,72	629,0852	604,08	602,7169	582,28	582,6157	584,16	555,2621
24		0,4		751,73	788,0064	806,65	816,258	903,93	764,0954	792,12	882,6455
25	250	0,16	1,6	410,85	370,709	349,22	338,1097	324,39	313,0616	320,79	326,7798
26		0,25		460,35	416,0936	381,59	375,6675	368,4	383,0288	365,65	371,6531
27		0,4		524,4	467,6267	447,28	456,6805	489,91	455,4517	435,82	506,1282
28		0,16	2,5	578,21	560,5546	520,13	508,9684	481,92	529,9661	520,11	474,6761
29		0,25		655,79	624,2754	582,8	602,5452	581,18	590,6451	591,94	573,8175
30		0,4		767,15	775,5182	770,44	801,307	886,8	757,8233	777,34	885,8793

Çizelge 5.7. (Devam) İlerleme kuvvetlerinin değerleri ve YSA Tahminleri

Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	İlerleme Kuvvetleri, F_f (N) ve YSA Tahminleri							
				600/1sa.	YSA tahmini	600/3sa.	YSA tahmini	700/1sa.	YSA tahmini	700/3sa.	YSA tahmini
1	150	0,16	1,6	386,1	376,758	383,49	363,7681	341,06	344,0546	326,17	335,3955
2		0,25		443,69	431,8517	449,39	424,0389	379,23	393,7052	377,92	402,0935
3		0,4		544,9	532,776	573,75	550,2389	547,64	518,0647	513,73	547,7043
4		0,16	2,5	562,42	593,2087	556,27	575,0442	549,49	537,9511	547,25	532,3095
5		0,25		665,32	698,7989	630,46	701,7925	653,46	665,5932	700,71	676,8819
6		0,4		883,69	887,5633	871,27	942,9389	947,34	922,6246	1069,24	984,3091
7	175	0,16	1,6	356,05	389,2317	360,72	376,0449	331,41	355,9008	326,04	346,4917
8		0,25		412,48	430,6973	409,53	422,1727	371,19	393,4446	361,7	401,9133
9		0,4		497,48	507,2259	522,8	525,8553	504,56	493,2873	486,3	523,7842
10		0,16	2,5	540,7	584,4884	531,59	566,5582	527,31	529,3955	525,2	523,7686
11		0,25		645,11	676,4154	612,81	679,6473	616,13	645,7457	675,1	656,2925
12		0,4		840,51	849,3078	812,57	902,9588	895,78	885,502	1002,29	947,0245
13	200	0,16	1,6	322,6	386,9835	359,46	372,4854	358,41	353,4187	349,49	342,4834
14		0,25		359,99	418,9337	416,41	409,724	403,2	382,0938	371,87	390,4144
15		0,4		471,03	484,1713	487,29	504,5802	463,94	470,8454	453,89	503,4677
16		0,16	2,5	534,86	564,2136	558,59	550,1022	504,7	511,3914	511,8	509,1289
17		0,25		620,72	646,014	676,28	653,6211	624,66	616,9705	628,68	631,4056
18		0,4		776,06	818,496	779,86	872,3578	841,04	855,3583	934,83	918,1817
19	225	0,16	1,6	326,92	372,8504	358,97	357,0064	348,05	339,7869	342,39	327,4969
20		0,25		354,45	407,8022	382,97	398,0501	388,65	371,3957	373,52	379,6651
21		0,4		429,06	471,4169	487,85	493,6006	507,96	461,3949	472,31	496,0795
22		0,16	2,5	542,85	549,9785	559,12	540,5489	497,14	498,9897	497,5	501,0131
23		0,25		600,53	626,4251	652,42	640,5944	611,67	601,3795	600,92	622,3224
24		0,4		764,24	798,344	904,86	854,7828	892,57	834,4993	909,74	900,798
25	250	0,16	1,6	325,3	360,6471	358,97	345,152	344,56	328,5987	333,38	316,5608
26		0,25		362,54	405,3551	382,97	394,7522	374,52	369,7337	359,2	377,2883
27		0,4		418,7	467,4724	487,85	490,0096	482,18	460,6425	482,83	495,557
28		0,16	2,5	527,75	551,3463	557,84	545,7821	493,11	502,0777	498,6	507,6886
29		0,25		599,69	623,9861	662,35	643,7777	603,03	603,3803	591,37	629,3633
30		0,4		752,59	786,8438	856,8	845,6168	872,79	820,6744	899,7	890,4888

Çizelge 5. 8. Pasif kuvvetlerin değerleri ve YSA Tahminleri

Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	Pasif Kuvvetler, F_p (N) ve YSA Tahminleri							
				600/0,25sa.	YSA tahmini	700/0,25 sa.	YSA tahmini	700S12	YSA tahmini	Isıl işlemsiz	YSA tahmini
1	150	0,16	1,6	333,44	300,3552	277,48	283,623	263,11	265,8949	264,36	270,8105
2		0,25		420,81	386,1301	367,75	367,3382	362,43	332,0936	351,15	354,2597
3		0,4		526,59	528,8378	523,16	520,0197	552,19	485,671	504,51	521,4104
4		0,16	2,5	436,17	393,4891	343,57	368,5671	328,51	352,8136	334,75	321,3177
5		0,25		507,51	476,3441	434,45	461,9177	423,15	439,3599	426,59	418,3808
6		0,4		676,86	616,8116	615,64	622,4753	614,72	599,3727	589,74	617,2978
7	175	0,16	1,6	343,01	306,1576	279,79	288,9433	263,11	271,4712	262,91	267,7214
8		0,25		418,23	384,3116	362,33	366,6143	352	336,6346	337,83	349,7565
9		0,4		548,19	519,3851	509,44	510,5361	533,24	485,2199	484,03	510,6225
10		0,16	2,5	443,35	388,4874	339,54	363,2509	325,77	356,5384	334,53	319,1512
11		0,25		524,66	467,0595	424,36	453,2389	418,91	437,5325	421,72	411,4235
12		0,4		655,55	602,9506	589,45	609,132	595,03	586,2094	566,77	608,7021
13	200	0,16	1,6	349,3	306,6312	289,01	288,9571	264,93	270,9684	271,24	259,5797
14		0,25		424,94	379,3406	365,02	362,2796	346,75	337,0032	351,76	341,6876
15		0,4		523,18	509,9631	499	500,7285	509,45	484,8505	470,24	502,6951
16		0,16	2,5	384,16	378,2759	368,99	354,589	328,44	357,5524	344,64	315,8666
17		0,25		476,05	453,3363	436,12	439,3647	419,94	432,8894	435,5	407,1326
18		0,4		670,63	591,2187	578,44	597,8187	585,77	574,8021	559,54	605,7901
19	225	0,16	1,6	309,64	302,3938	284,86	284,558	259,02	264,0403	271,17	252,6955
20		0,25		429,84	374,7591	356,01	358,0918	332,07	336,7934	349,34	337,7375
21		0,4		551,38	503,5678	498,79	496,0891	515,38	487,5114	479,58	499,1118
22		0,16	2,5	399,97	371,4708	362,58	348,843	328,47	360,0567	351,82	315,9482
23		0,25		422,18	442,6483	442,84	430,3202	411,5	432,3905	432,39	409,5478
24		0,4		602,96	582,7927	577,44	589,1574	616,35	567,9556	559,26	605,0838
25	250	0,16	1,6	341,38	298,2956	288,53	280,5706	263,59	258,7568	263,1	252,2469
26		0,25		410,62	373,224	358,33	357,0718	342,31	338,3192	336,89	340,6562
27		0,4		532,93	501,2658	501,52	495,603	510,71	491,199	474,4	499,0877
28		0,16	2,5	405,32	371,4557	351,88	349,5482	324,49	367,3742	354,35	321,19
29		0,25		483,1	439,6365	431,35	429,397	417,82	436,8703	433,05	416,2385
30		0,4		619,64	577,306	569,26	582,3192	607	565,1037	561,81	605,556

Çizelge 5.8. (Devam) Pasif kuvvetlerin değerleri ve YSA Tahminleri

Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	Pasif Kuvvetler, F_p (N) ve YSA Tahminleri							
				600/1sa.	YSA tahmini	600/3sa.	YSA tahmini	700/1sa.	YSA tahmini	700/3sa.	YSA tahmini
1	150	0,16	1,6	300,65	295,8446	295,4	287,088	270,21	279,3354	257,24	272,8831
2		0,25		383,23	382,0381	387,66	377,0708	345,46	364,7318	340,57	364,8676
3		0,4		536,14	528,0138	541,68	533,1599	525,37	520,2593	520,3	528,8766
4		0,16	2,5	362,54	387,6281	364,84	377,571	356,74	363,5407	348,23	357,3381
5		0,25		459,63	473,7509	438,52	472,9632	443,24	460,0174	451,2	462,0365
6		0,4		607,86	620,1415	598,44	636,9956	633,25	627,8115	680,7	646,4491
7	175	0,16	1,6	288,31	301,5779	281,08	292,5828	263,67	284,5433	260,08	277,5996
8		0,25		373	380,2238	365,1	375,2275	342,41	364,0174	339,59	364,2509
9		0,4		511,34	518,6865	513,61	524,1852	511,05	510,854	505,14	519,637
10		0,16	2,5	358,94	382,3421	350,14	372,2347	355,79	357,975	343,39	351,8358
11		0,25		450,63	464,207	432,72	463,1782	427,19	450,9437	442,76	452,2552
12		0,4		588,94	605,9732	579,86	622,0329	608,74	614,3093	650,91	632,541
13	200	0,16	1,6	270,66	301,7892	281,65	292,003	281,93	284,3184	274,57	276,4777
14		0,25		345,21	375,2679	369,55	370,1175	369,31	359,6239	355,43	359,7179
15		0,4		489,82	509,4322	509,89	515,3655	493,89	501,3198	432,31	510,8635
16		0,16	2,5	371	372,7199	361,62	364,4969	342,41	349,8418	338,74	345,3994
17		0,25		443,14	450,8395	452,05	451,328	427,22	437,3536	422,1	440,1217
18		0,4		576,7	594,0722	565,39	610,257	594,91	602,8848	626,8	621,4075
19	225	0,16	1,6	271,99	297,2147	288,81	286,5197	274,83	279,6453	271,33	270,8432
20		0,25		336,62	370,6708	351,79	365,2085	353,23	355,3888	349,6	355,2624
21		0,4		470,09	503,2959	498,6	509,8902	514,4	497,0871	506,48	507,5414
22		0,16	2,5	374,46	366,7947	366,82	360,6783	334,12	344,8859	330,53	342,3311
23		0,25		447,82	441,1373	450,08	444,2955	423,43	429,3851	418,45	435,0182
24		0,4		569,94	585,9483	601,85	603,457	610,02	594,4886	616,24	614,3968
25	250	0,16	1,6	278,93	292,86	288,81	281,9902	278,93	275,4496	268,09	266,3228
26		0,25		348,99	368,9642	351,79	362,9855	345,68	354,1595	335,78	353,5017
27		0,4		468,63	501,1109	498,6	507,7864	510,65	496,6963	507,15	507,1219
28		0,16	2,5	369,24	367,4587	367,6	362,9239	337,45	346,2362	341,72	345,1489
29		0,25		441,75	439,117	459,28	444,6161	419,02	429,3721	418,56	437,0968
30		0,4		561,56	580,9556	582,57	599,6398	591,92	588,1534	614,19	609,524

Çizelge 5. 9. Yüzey pürüzlülük değerleri ve YSA Tahminleri

Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	Yüzey pürüzlülük değerleri, Ra (µm) ve YSA Tahminleri							
				600/025 sa.	YSA tahmini	700/0,25 sa.	YSA tahmini	700S12	YSA tahmini	Isl işlemsiz	YSA tahmini
1	150	0,16	1,6	0,86	1,052996	1,393333	1,166031	1,226667	0,682748	0,96	1,093752
2		0,25		2,056667	2,820875	2,53	2,914917	2,833333	2,903491	2,616667	2,807973
3		0,4		6,186667	6,368796	6,563333	6,456478	5,763333	5,816858	6,323333	6,266862
4		0,16	2,5	0,743333	1,298451	1,573333	1,242242	1,126667	1,100309	1,88	1,306642
5		0,25		2,336667	2,880239	1,71	2,777767	2,476667	3,028727	1,75	3,298033
6		0,4		6,646667	7,125561	10,34333	7,166515	6,466667	6,794915	10,93333	7,371896
7	175	0,16	1,6	0,916667	0,916865	1,283333	1,000964	1,336667	0,596488	1,07	1,007158
8		0,25		2,473333	2,519757	2,47	2,583468	2,056667	2,724152	2,076667	2,509497
9		0,4		6,686667	6,339143	6,336667	6,435162	6,1	5,705255	6,27	6,094125
10		0,16	2,5	1,24	1,391272	1,683333	1,412248	1,22	0,999408	1,66	1,44667
11		0,25		2,163333	2,908349	2,363333	2,847329	2,293333	2,799195	1,996667	3,212434
12		0,4		6,22	7,3388	9,8	7,370167	6,423333	6,924531	8,396667	7,330573
13	200	0,16	1,6	1,13	0,94256	1,08	1,046951	1,09	0,627732	1,106667	0,917399
14		0,25		2,25	2,471351	2,616667	2,434478	2,636667	2,572047	2,36	2,20249
15		0,4		6,033333	6,297796	6,173333	6,271622	6,056667	5,627822	5,79	5,980272
16		0,16	2,5	0,98	1,391947	1,72	1,473726	1,223333	0,961143	0,943333	1,648387
17		0,25		2,266667	2,752158	2,506667	2,824258	2,293333	2,658276	2,48	3,14648
18		0,4		9,933333	7,374204	10,41667	7,451839	7,513333	6,923372	10,57	7,340083
19	225	0,16	1,6	1,393333	1,029	1,103333	1,129043	1,266667	0,693366	0,966667	0,836681
20		0,25		2,38	2,424985	2,84	2,344675	2,566667	2,251464	2,556667	1,940774
21		0,4		5,94	6,232766	6,363333	6,165323	5,086667	5,59191	5,493333	5,920167
22		0,16	2,5	1,41	1,408131	1,436667	1,4522	1,223333	0,929312	1,18	1,908227
23		0,25		2,356667	2,517108	2,123333	2,607293	2,596667	2,542754	2,553333	3,161573
24		0,4		6,34	7,177319	6,626667	7,317476	6,173333	6,713856	6,466667	7,343005
25	250	0,16	1,6	0,88	1,061958	1,266667	1,137819	1,183333	0,606868	1,076667	0,79784
26		0,25		2,53	2,293956	2,633333	2,215578	2,553333	1,820443	2,596667	1,790594
27		0,4		5,783333	5,992868	6,68	6,005511	6,01	5,558271	5,86	5,828514
28		0,16	2,5	1,16	1,356934	1,296667	1,426302	1,543333	0,894733	1,233333	2,223148
29		0,25		2,25	2,323441	2,243333	2,434568	2,71	2,445618	2,43	3,240554
30		0,4		5,963333	7,003356	6,683333	7,082683	6,276667	6,497726	6,433333	7,196359

Çizelge 5.9. (Devam) Yüzey pürüzlülük değerleri ve YSA Tahminleri

Deney No	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	Yüzey pürüzlülük değerleri, Ra (µm) ve YSA Tahminleri							
				600/1sa.	YSA tahmini	600/3sa.	YSA tahmini	700/1sa.	YSA tahmini	700/3sa.	YSA tahmini
1	150	0,16	1,6	1,136667	1,072716	1,07	1,084225	1,086667	1,195402	0,99	1,197132
2		0,25		2,113333	2,832621	2,27	2,816537	2,31	2,92417	2,516667	2,90396
3		0,4		5,71	6,371214	6,16	6,355627	6,353333	6,456667	5,89	6,451735
4		0,16	2,5	1,143333	1,284384	1,793333	1,244796	1,46	1,215653	1,043333	1,15534
5		0,25		2,006667	2,852998	2,086667	2,802533	2,16	2,728088	2,156667	2,653536
6		0,4		6,363333	7,162614	9,86	7,29778	8,723333	7,179275	6,843333	7,27322
7	175	0,16	1,6	1,253333	0,892381	1,17	0,894442	0,993333	1,016012	1,24	1,110554
8		0,25		1,886667	2,49678	2,386667	2,516556	2,49	2,618811	2,396667	2,662638
9		0,4		6,09	6,373995	6,216667	6,39507	6,76	6,458406	5,776667	6,445115
10		0,16	2,5	1,423333	1,401623	1,923333	1,365013	1,39	1,379742	1,326667	1,278591
11		0,25		2,31	2,890103	2,2	2,833005	1,796667	2,783088	2,16	2,670114
12		0,4		6,85	7,401655	10,34	7,536683	9,943333	7,415817	6,543333	7,521019
13	200	0,16	1,6	1,173333	0,905643	1,043333	0,806763	1,063333	1,022105	1,29	0,985217
14		0,25		2,116667	2,422155	2,213333	2,283537	1,93	2,415765	2,356667	2,387664
15		0,4		5,866667	6,288578	6,326667	6,320786	6,173333	6,298656	5,873333	6,395289
16		0,16	2,5	1	1,411546	1,103333	1,476436	1,43	1,488443	1,133333	1,464914
17		0,25		2,463333	2,801283	2,013333	2,912757	1,896667	2,81158	2,52	2,785247
18		0,4		5,716667	7,468687	10,89667	7,611853	8,836667	7,519613	6,826667	7,613729
19	225	0,16	1,6	1,42	0,999581	1,256667	0,878187	1,186667	1,099178	1,15	1,011185
20		0,25		2,23	2,389145	2,603333	2,227237	2,636667	2,321432	2,463333	2,228145
21		0,4		5,93	6,200715	6,133333	6,119297	6,316667	6,14907	6,266667	6,151924
22		0,16	2,5	1,436667	1,408894	1,086667	1,457614	1,373333	1,452502	1,72	1,531408
23		0,25		2,13	2,56021	2,27	2,817972	2,1	2,62824	2,326667	2,810793
24		0,4		6,38	7,271242	6,476667	7,478383	10,27667	7,415374	7,016667	7,528408
25	250	0,16	1,6	1,193333	1,037805	1,196667	0,93952	0,826667	1,111147	0,993333	1,047574
26		0,25		2,843333	2,273124	2,846667	2,152904	2,32	2,202283	2,65	2,137631
27		0,4		5,996667	5,954163	5,646667	5,842016	6,436667	5,970475	6,113333	5,879578
28		0,16	2,5	1,223333	1,37313	1,283333	1,440095	1,166667	1,4253	1,123333	1,472646
29		0,25		2,526667	2,379299	2,166667	2,640439	1,986667	2,456641	2,38	2,651959
30		0,4		5,926667	7,025579	6,58	7,124031	9,403333	7,129305	6,156667	7,253101

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı süre ve sıcaklıkta ısıtıl işlem sonucu mikroyapısı küreselleştirilen iş parçaları üzerinde yapılan deneylerde, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve sertlik değişimleri incelenmiştir. Ayrıca YSA ile deneylerden elde edilen sonuçlar modellenmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen bu bulgular değerlendirildiğinde, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- ❖ Numunelerin mikroyapısının küreselleştirme işlemi için gerekli olan süre karşılaştırıldığında; klasik küreselleştirme işlemi ile 12 saat sürerken, su verme sonrası küreselleştirme ısıtıl işlemi ile 0,25 saat gibi çok kısa bir sürede mikroyapı küreselleştirilmiştir.
- ❖ 600T grubunda küreselleştirilen numunelerin mikroyapısı tam olarak 600T1 numunesinde küreselleşmeye başladığı görülmüştür.
- ❖ 700T grubunda küreselleştirilen numunelerin mikroyapısı tam olarak 700T0,25 numunesinde küreselleşmeye başladığı görülmüştür.
- ❖ Mikroyapıda oluşan küresel sementitlerin çapları karşılaştırıldığında en küçük 600T grubunda 600T0,25 numunesinden elde edilirken, en büyük çap klasik küreselleştirme ısıtıl işlemi uygulanmış 700S12 numunesinden elde edilmiştir.
- ❖ 600T ve 700T grubunda küreselleştirilen numunelerin mikroyapıları klasik küreselleştirme ısıtıl işlemi uygulanmış numunelerinkinden daha homojen bir mikroyapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir.
- ❖ Orta karbonlu çeliğin mikroyapısının en kısa sürede küreselleşmesi için gerekli olan en ideal sıcaklığın 700 °C olduğu sonucuna varılmıştır.
- ❖ 500°C’de küreselleştirme sıcaklığında 500T0,25, 500T1 ve 500T numunelerinde yapılan ısıtıl işlemin mikroyapıyı küreselleştirmek için yeterli olmadığı gözlemlenmiştir.

- ❖ Küreselleştirme sıcaklığı ve süresine bağlı olarak genel olarak en düşük yüzey pürüzlülük değerleri 150 m/dak kesme hızlarında 600T0,25 numunesinden elde edilmiştir.
- ❖ 600T grubunda küreselleştirilen numunelerin ısıtma işlem süresi ile yüzey pürüzlülük değerleri arasında doğru bir orantı olduğu sonucuna varılmıştır.
- ❖ 700T grubunda küreselleştirilen numunelerin ısıtma işlem süresi ile yüzey pürüzlülük değerleri arasında ters bir orantı olduğu sonucuna varılmıştır.
- ❖ Mikroyapıda oluşan küresel sementitlerin çaplarının artması sonucunda kesme kuvvetlerinde düşüş elde edilmiştir.
- ❖ Küreselleştirme süresinin artmasıyla numunelerin sertlik değerleri genel olarak düşmüştür.
- ❖ 0,16 ve 0,25 dev/dak ilerleme ve 150 ve 175 m/dak ki kesme hızlarında 600T0,25 ve 700S12 numuneleri hariç diğer kesme kuvvetlerinde BUE oluşumundan dolayı bir azalma tespit edilmiştir.
- ❖ Kesme hızının değeri artmasıyla 0,16 ve 0,25 mm/dev ilerleme hızlarında takım/talaş arasındaki sıcaklık artışından dolayı 200, 225 ve 250 m/dak kesme hızlarında BUE görülmemiştir.
- ❖ 0,16 ve 0,25 mm/dev ilerleme hızlarında 600T0,25 numunesinin süneklik değeri düşük olduğu için BUE rastlanmazken, süneklik değeri yüksek olan 600T1 ve 700T1 numunesinde ise BUE oluşumu daha belirgin bir şekilde meydana gelmiştir.
- ❖ 700T grubundaki numunelerde BUE oluşumu en belirgin olarak 700T0,25 numunesinde görülmektedir. 700T grubunda küreselleştirme süresinin artmasına bağlı olarak BUE oluşumu ortadan kalkmaktadır. Bu durum mikroyapıdaki küresel sementitlerin ebatlarının artması ile talaşın iş parçasından daha çabuk kırılarak atılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 700S12 numunesindeki küresel

sementitlerin ebatları en büyük olduğundan 0,16 ve 0,25 mm/dev ilerleme değerlerinde BUE oluşumu görülmemiştir.

- ❖ Deneylerde en iyi yüzey pürüzlülüğü; 150 m/dak kesme hızı, 0,16 mm/dev ilerleme ve kesme derinliği 2,5 mm değerlerinde 600T0,25 numunesinde, en kötü yüzey pürüzlülüğü ise 150 m/dak kesme hızı, 0,4 mm/dev ilerleme ve kesme derinliği 2,5 mm değerlerinde ısıtılmış işlem görmemiş numunede elde edilmiştir.
- ❖ Kesme parametreleri ve yüzey pürüzlük değerlerinin mikroyapı farklılıklarına göre değiştiği gözlemlenmiştir.
- ❖ Küreselleştirme ısıtılmış işlem uygulanmış ve ısıtılmış işlem uygulanmamış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında; küreselleştirme ısıtılmış işlemi, ısıtılmış işlem uygulanmamış, klasik küreselleştirme ısıtılmış işlemi şeklinde sıralanarak kötüleşmiştir.
- ❖ Küreselleştirme ısıtılmış işlem uygulanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında genel olarak küreselleştirilen numuneler, klasik küreselleştirme ısıtılmış işlemi uygulanmış numunelerden daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri sonuçları elde edilmiştir.
- ❖ Yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerlemenin etkisini değerlendirildiğinde; ilerlemenin artması ile ($f=0,16$ mm/dev'den $f=0,4$ mm/dev'e çıkmasıyla) yüzey pürüzlülüğü, küreselleştirilen ve ısıtılmış işlem uygulanmayan numuneler için de kötüleşmiştir.
- ❖ Yapılan deneylerde kesme derinliği açısından yüzey pürüzlülüğü değerlendirilecek olursak, genel olarak kesme derinliğindeki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği gözlenmiştir.
- ❖ Tüm işleme deneyleri için, en yüksek kuvvetin esas kesme kuvveti F_c , daha sonra sırasıyla ilerleme kuvveti F_f ve pasif kuvveti F_p şeklinde sıralanmıştır.
- ❖ Genel olarak kesme derinliği ve ilerlemenin artmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin; (esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f) ve pasif kuvvet (F_p))

arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte kesme kuvvetlerinin azaldığı söylenebilir.

- ❖ Küreseleştirme sıcaklığı ve süresindeki değişime bağlı olarak kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde; 700T grubundaki numuneler 600T grubundaki numunelerden genel olarak daha düşük kesme kuvvetleri değerleri elde edilmiştir.
- ❖ Küreselleşen sementitlerin çaplarına göre esas kesme kuvvetleri değerleri genel olarak büyükten küçüğe doğru sırasıyla klasik küreselleştirme, 700T ve 600T grubundaki numuneler şeklinde sıralanabilir.
- ❖ Küreselleşen sementitlerin çap değişimi kesme kuvvetleri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.
- ❖ Tüm deney sonuçları ve YSA ile elde edilen R kare değerinin sonucu 0,99852 oranında ağırlık tahmin sonuçlarına yaklaşımlı yüksek güvenilirlik düzeyinde sağlanmıştır. Sonuç olarak farklı ara değer giriş verileri kullanarak elde etmek istenilen tahmin sonuçlarına ulaşma oranı oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Elde edilen bu sonuçlar ışığında bundan sonra yapılabilecek çalışmalar için aşağıdaki şu öneriler getirilebilir.

- ❖ Farklı sıcaklık ve sürelerde yüksek karbonlu çeliklerin mikroyapı değişimleri ve kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerine etkileri incelenebilir.
- ❖ Yapılan bu doktora çalışmasında malzemeyi soğutmak için su kullanılmıştır. Farklı soğutma sıvıları ve yöntemleri kullanılarak mikroyapı değişimleri incelenebilir.
- ❖ Sıcaklık, süre ve malzemenin kimyasal bileşimine bağlı olarak çeliklerin mikroyapısında oluşan küresel sementitlerin çapları YSA ile tahmin edilebilir.
- ❖ Küreselleştirme ısıtma işlemi uygulanan çeliği işlemek için farklı kaplama tipine sahip kesici takımlar kullanılarak işlenebilirlik deneyleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Atapek, Ş. H., Karagöz, Ş., ve Alpay, Y. (2007). Su verilmiş ve temperlenmiş çelikler üzerine mikroyapısal incelemeler. **Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitimi Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu**, Kocaeli, 731-733.
2. Can, A. Ç. (2006). Tasarımcı mühendisler için malzeme bilgisi. **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 124,128, 136-137, 145-147.
3. Özçatalbaş, Y. (2000). Isıl işlemlerin Cr-Mo esaslı bir çeliğin işlenebilirliğine etkisi. **10. Metalürji ve Malzeme Kongresi**, İstanbul, 759-765.
4. Austin, C. R., and Fetzer, M. C. (1945). Factors controlling graphitization of carbon steels at subcritical temperatures. **Transactions ASM**, 35: 485.
5. Andrew, J. H., Lee, H., Chang, P. L., Fang, B., Guenot, R., Brookes, P. E., Bourne, L., Wilson, D. V., Bhat, U. V., and Lloyd, H. K. (1950). The effect of cold work on steel. **Journal of the Iron and Steel Institute**, London, 165: 145-84.
6. Rosen, A., and Taub, A. (1962). The kinetics of graphitization in steel at subcritical temperatures. **Acta Metallurgica**, 10 (5): 501-509.
7. Sueyoshi, H., and Suenaga, K. (1978). Effects of pre-treatment on the graphitization behaviour in hypo-eutectoid low alloy steel, **Journal of the Japan Institute of Metals**, 42 (7): 676-682.
8. Isaichev, I. V. (1947). Orientation of cementite in tempered carbon steel. **Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki**, 17: 835-843.
9. Bagayartskii, Y. A. (1950). Probable mechanism of martensite decomposition. **Doklady Akademii Nauk, SSSR**, 73: 1161-1165.
10. Petch, N. J. (1953). The orientation relationship between cementite and α -iron. **Acta Crystallography**, 6: 96.
11. Wells, M. G. H. (1964). An electron transmission study of the tempering of martensite in an Fe-Ni-C alloy. **Acta Metallurgical**, 12 (4): 389-399.
12. Speich, G. R., and Leslie, W. C. (1972). Tempering of steel. **Metallurgical Transactions A**, 3: 1043-1054.
13. Savaşkan, T. (2000). Malzeme bilgisi ve muayenesi. **Derya Kitabevi**, İstanbul, 158, 164-165, 200-203.
14. Zhang, M. X., and Kelly, P. M. (1998). Crystallography of spheroidite and tempered martensite. **Acta Materials**, 46 (11): 4080-4091.
15. Hoseiny, H., Klement, U., Sotkovszki, P., and Andersson, J. (2011). Comparison of the microstructures in continuous-cooled and quench-tempered pre-hardened mould steels. **Materials and Design**, 32: 21-28.

16. Podder, A. S., and Bhadeshia, H. K. D. H. (2010). Thermal stability of austenite retained in bainitic steels. ***Materials Science and Engineering A***, 527: 2121-2128.
17. Andres, C. G., Caruana G., and Alvarez, L. F. (1998). Control of $M_{23}C_6$ carbides in 0.45C–13Cr martensitic stainlesssteel by means of three representative heat treatment parameters. ***Materials Science and Engineering A***, 241: 211-215.
18. Karnyabi-Gol, A., and Sheikh-Amid, M. (2010). Spheroidizing kinetics and optimization of heat treatment parameters in CK60 steel using Taguchi robust design. ***Journal Of Iron And Steel Research***, 17 (4): 45-52.
19. Fischmeister, H., Karagöz, Ş., and Andren, H. O. (1988). An atome probe study of secondary hardening in high speed steels. ***Acta Metallurgical***, 36: 817-825.
20. Karagöz, Ş., Fischmeister, H., Andren, H. O., and Cia-Guang J. (1992). Microstructural changes during overtempering of high speed tool steels. ***Metal Transactions.***, 23A: 1631-1640.
21. Karagöz, Ş., and Andren, H. O. (1992). Secondary hardening in high speed steels. ***Zeitschrift Für Metalkunde***, 83: 386-394.
22. Tao, J., Wang X., and Tan J. (1997). Reliability of gear tooth bending fatigue strength for through hardened and tempered steel 40Cr. ***Journal of University of Science and Technology Beijing***, 19 (5): 482-484.
23. Gao, W., Dong, L., Hu F., and Tan, B. (2008). Analysis of quenching cranking and improvement of heat treatment process for steel 40Cr axle vehicle. ***Journal of Hunan Institute of Technology***, 18 (4): 33-36.
24. Zheng, Y., Wu, Y., Liu, Y., Huang, X., Zhang, X., Xu, G., Wang, W., and Wu, S. (2004). Study on technology of forging-remnant-heat hardening of 40Cr automobile turning junction. ***Hot Working Technology***, 33 (3): 47-48.
25. Güral, A., Korkut, İ., Erdoğan, M., ve Şeker, U. (1998). Çift fazlı çeliklerde martenzit hacim oranı ve morfolojinin işlenebilirlik parametrelerinden yüzey kalitesi üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi. ***8. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiriler Kitabı***, Ankara, 309-322.
26. Zimmerman, C., Boppana, S. P., and Katbi, K. (1989). Machinability test methods. ***Metal Handbook Ninth Edition***, ASM International, 16: 639-647.
27. Amstead, B. H., Ostwald, P. F., and Begeman, M.L. (1984). Manufacturing processes. ***John Wiley & Sons, Incorporate***, Canada, 739-740.
28. Smith, T. G. (1989). Advanced machining the handbook of cutting technology. IFS Public Limited., UK.
29. Mills, B., and Redford, A. H. (1993). Machinability of engineering materials. ***Applied Science Publishers Limited.***, New York.

30. Lane, J. D., and Stam, J. W. (1967). General inroductor review of the relationship between metallurgy and machinability. ***Iron and Steel Institute Machinability***, 65-70.
31. Bellot, J. (1980). Steels with improved machinability. ***Translated From Metallovedenie Termicheskaya Obrabotka Metallov***, 11: 14-18.
32. Naylor, D. J., Llewellyn, D. T., and Keane, D. M. (1976). Control of machinability in medium—carbon steels. ***Metal Technologies***, 254-271.
33. Tonshoff, H. K. (1990). Machinability of forged steels in interrupted cutting. ***Journal of Materials Processing Technology***, 21: 219-236.
34. Tonshoff, H. K. (1985). Material Aspects in Machining of Forged Parts. ***High Productivity Machining***, 207–221.
35. Özcatalbaş, Y., and Ercan, F. (2003). The effects of treatment on the machinability of mild steels. ***Journal of Materials Processing Technoloy***, 136: 227-238.
36. Araki, T., Fukunaga, H., and Sata, T. (1975). Some results of cooperative research on the effect of heat treated structure on the machinability of a low alloy steel. ***Influence of Metallurgy on Machinability of Materials***, ASM, 381.
37. Sadık, M. I., and Lindstrom, B. (1993). The role of tool–chip contact length in metal cutting. ***Journal of Materials Processing Technoloy***, 37: 613-627.
38. Stratford, K. N., and Audy, J. (1997). Indirect monitoring of machinability in carbon steels by measurement of cutting forces. ***Journal of Materials Processing Technology***, 67: 150-156.
39. Avner, S. H. (1986). Introduction to Physical Metallurgy. A. Ü.
40. Araki, T., Osawa, M., and Yamamoto, S. (1982). Review on the studies for improving machinability of steel in Japan. ***The Machinability of Engineering Materials, Proceeds of International Conference***, ASM, 13-15.
41. Okushima, K., Iwata, K., and Kurimote, T. (1964). A study of machinability of metals. ***The Japon Society of Mechanical Engineers***, 7 (25): 14-17.
42. Yanardağ, E. (2004). Effect of spherodizing on machinability characteristics and microstructure of medium carbon steels. ***Yüksek Lisans, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 108.
43. Tonshoff, H. K. (1990). Machinability of forged steels in interrupted cutting. ***Journal of Materials Processing Technology***, 21: 219-236.
44. Abeyame, S., and Nakmura, S. (1979). Machinability evaluation of steel in automatic screw machining. ***Machinability Testing and Utilization of Machining Data***.
45. Öztemel, E. (2003). Yapay sinir ağları. ***Papatya***, Türkiye, 25-26, 29, 47-51.

46. Özçatalbaş, Y., ve Ercan, F. (1996). Talaşlı imalatla işlenebilirlik ve işlenebilirliğin ölçülmesi. **Standard Dergisi**.
47. Özçatalbaş, Y. (1996). 1050, 4140 ve 8620 çeliklerinin ısıtılma işlemle değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlik. Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü**, Ankara, 25, 29-30.
48. Araki, T., and Yamamoto, S. (1979). An evaluation of machinability of low alloy steel materials with or without heat treatment. **Machinability Testing and Utilization of Machining Data**, 117-131.
49. Kılıçlı, V., Motorcu, A. R., Erdoğan, M., ve Şahin Y. (2004). Farklı mikroyapılara sahip AISI 4140 çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve talaş atılabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. **11. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, Antalya, 1-16.
50. Katayama, S. and Toda, M. (1996). Machinability of medium carbon graphitic steel. **Journal of Materials Processing Technology**, 62: 358-362.
51. Kılıçlı, V., Motorcu A. R., Erdoğan M. ve Şahin Y. (2005). AISI 4140 Çeliğinin İşlenmesinde Küreselleştirme Sıcaklık ve Süresinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. **4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Konya, 645-650.
52. Motorcu, A. R. (2010). Isıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde takım ömrü ve aşınmasının incelenmesi. **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 25 (1): 65-75.
53. Özçatalbaş, Y., Ercan, F., ve Türker, M. (1997). Ç1050 Çeliğinde mikroyapı ve mekanik özelliklerin talaş morfolojisi ile işleme özelliklerine etkisi. **9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı**, İstanbul, 319-326.
54. Özçatalbaş, Y. (1998). Düşük alaşımlı çelikte yığıntı talaş oluşumunun işleme özelliklerine etkisi. **8. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiriler Kitabı**, Ankara, 25-34.
55. Güneş, İ., Ulu, S., ve Ayan, O. (2009). Su verilmiş çeliklerdeki temperleme kademelerinin aşınma davranışına etkisinin araştırılması. **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, Karabük.
56. Lee, W. S., and Su, T. T. (1999). Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions. **Journal of Materials Processing Technology**, 87: 198-206.
57. Zhang, Z., Delagnes, D., and Bernhart, G. (2007). Ageing effect on cyclic plasticity of a tempered martensitic steel. **International Journal of Fatigue**, 29: 336-346.
58. Karagöz, Ş., Polat, Ş., Atapek, Ş. H., ve Aydın, E. (2009). Su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerin korozyon davranışı: mikroyapısal değişimler üzerine bir çalışma. **3. Isıl İşlem Sempozyumu**, İstanbul, 86-92.

59. Asadabad M. A, Kheirandi S., and Novinrooz A. J. (2010). Tempering behavior of 4.5Cr-2W-0.25V steel. **Journal Of Iron And Steel Research**,17(10): 57-62.
60. Kiani-Rashid, A. R., Issa-abadi Bozchalooi, G., and Azzat-pour, H. R. (2009). The influence of annealing temperature on the graphitisation of CK 45 steel. **Journal of Alloys and Compounds**, 475: 822-826.
61. Adalı, Y. (2002). 5140 Çeliğinin küreselleştirme ısııl işlemi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 30-59.
62. Daniels, H. R., Brown, A., Brydson, R., and Edmonds, D. V. (2007). A elctron microscopic study of spheroidal graphite nodules formed in a medium-carbon steel by annealing. **Acta Materialia**, 2919-2927.
63. Lee, J., Kang, N., Park, J. T., Ahn, S. T., Park, Y. D., Kim, K. R., Cho, K. M., Choi, D., Kim, K. R., and Cho, K. M. (2011). Kinetics of carbide formation for quenching and tempering steels during high-frequency induction heat treatment. **Materials Chemistry and Physics**, 129: 365–370.
64. Akasawa,T., Fukuda, I., Nakamura, K., and Tanaka,T. (2004). Effect of microstructure and hardness on the machinability of medium-carbon chrome-molybdenum steel. **Journal of Materials Processing Technology**, 153-154: 48-53.
65. Köksal, N. S., Uzkut, M., and Ünlü, B. S. (2004). Farklı karbon içerikli çeliklerin mekanik özelliklerinin ısııl işlemlerle değişimi. **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, 6 (2): 95-100.
66. Karadeniz, E. (2008). Influence of different initial microstructure on the process of spheroidization in cold forging. **Materials and Design**, 29: 251-256.
67. Davut, K., and Gür, C. H. (2008). Manyetik barkhausen gürültüsü yöntemi ile çeliklerde tahribatsız içyapı karakterizasyonu. **3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition**, İstanbul, 224-237.
68. Mondal, C., Podder, B., Kumar, K. R., and Yadav D. R. (2012). Effect of preform heat treatment on the flow formability and mechanical properties of AISI4340 steel. **Materials and Design**, 37: 174-181.
69. Demir, H., Çiftçi, İ., Türkmen, M., and Gündüz, S. (2011). Orta karbonlu alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde ısııl işlem şartlarının ve sertliğin işlenebilirliğe etkisi. **6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)**, Elazığ, 94-97.
70. Özlü, B., ve Demir, H. (2008). Düşük soğutma hızlarında soğutulmuş 30MnVS6 mikro alaşımlı çeliğin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi. **Teknoloji**, 11 (4): 297-303.

71. Demir, H., ve Özlü B. (2009). Sertleştirilmiş 30MnVS6 mikro alaşımlı çeliğin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından işlenebilirliğinin araştırılması. **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 25 (1-2): 262-271.
72. Çakır, M., and Isik, Y. (2008). Investigating the machinability of austempered ductuli irons having different austempering temperatures and times. **Materials and Design**, 937-942.
73. Yan, B. H., Huang, F. Y. and Chow, H. M. (1995). Study on the turning characteristics of alumina-ceramics. **Journal of Materials Processing Technology**, 54: 341-347.
74. Maity, J., Saha, A., and Mondal, D. K. (2010). Effect of cyclic heat treatment on microstructure and mechanical properties of 0.6 wt% carbon steel. **Materials Science and Engineering**, 527: 4001-4007.
75. Saha, A., Mondal, D. K., and Maity, J. (2010). Effect of cyclic heta treatment on microstructure and mechanical properties of 0.6 wt% carbon steel. **Materials Science and Engineering**, 1-7.
76. Chin, W. T., and Chou, C. Y. (2001). The predictive model for machinability of 304 stainless steel. **Journal of Materials Processing Technology**, 118: 442-447.
77. Dixit, U. S., and Abburi, N.R. (2006). A knowledge-based system for the prediction of surface roughness in turning process. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 22: 363-372.
78. Cus, F., and Zuperl, U. (2006). Approach to optimization of cutting conditions by using artificial neural Networks. **Journal of Materials Processing Technology**, 173: 281-290.
79. Erzurumlu, T., and Oktem, H. (2007). Comparison of response surface model with neural network in determining the surface quality of moulded parts. **Materials and Design**, 28: 459-465.
80. Gaitonde, V. N., Paulo Davim, J., and Karnik, S. R. (2008). Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models. **Journal Of Materials Processing Technology**, 205: 16-23.
81. Tsao, C. C., and Hocheng, H. (2008). Evaluation of thrust force and surface roughness in drilling composite material using Taguchi analysis and neural network. **Journal of Materials Processing Technology**, 203: 342-348.
82. Çunkaş, M., and Asiltürk, İ. (2011). Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method. **Expert Systems with Applications**, 38: 5826-5832.
83. Lin, W.S., Lee, B. Y., and Wu, C. L. (2001). Modeling the surface roughness and cutting force for turning. **Journal of Materials Processing Technology**, 108: 286-293.

84. Choudhury, S. K., and Bartarya, G. (2003). Role of temperature and surface finish in predicting tool wear using neural network and design of experiments. ***International Journal of Machine Tools & Manufacture***, 43: 747-753.
85. Özel, T., and Karpaz, Y. (2005). Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural Networks. ***International Journal of Machine Tools & Manufacture***, 45: 467-479.
86. Özel, T., Karpaz, Y., Figueira, L., and Davim, J. P. (2007). Modelling of surface finish and tool flank wear in turning of AISI D2 steel with ceramic wiper inserts. ***Journal of Materials Processing Technology***, 189: 192-198.
87. Karayel, D. (2009). Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network. ***Journal of Materials Processing Technology***, 209: 3125-3137.
88. Oktem, H., Erzurumlu, T., and Erzincanli, F. (2006). Prediction of minimum surface roughness in end milling mold parts using neural network and genetic algorithm. ***Materials and Design***, 27: 735-744.
89. Dixit, U. S., Risbood, K. A., and Sahasrabudhe, A. D. (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.
90. Zain, A. M., Haron, H., and Sharif, S. (2010). Prediction of surface roughness in the end milling machining using Artificial Neural Network. ***Expert Systems with Applications***, 37: 1755-1768.
91. Al-Ahmari, A. M. A. (2007). Predictive machinability models for a selected hard material in turning operations. ***Journal of Materials Processing Technology***, 190: 305-311.
92. Kuo, R. J. (2000). Multi-sensor integration for on-line tool wear estimation through artificial neural networks and fuzzy neural network. ***Engineering Applications of Artificial Intelligence***, 13: 249-261.
93. Gökkaya, H., Nalbant, M., Toktaş, İ., and Sur, G. (2009). The experimental investigation of the effects of uncoated, PVD- and CVD-coated cemented carbide inserts and cutting parameters on surface roughness in CNC turning and its prediction using artificial neural Networks. ***Robotics and Computer-Integrated Manufacturing***, 25: 211-223.
94. Raj, K. H., Sharma, R. H., and Srivastava, S. (2000). Modeling of manufacturing processes with ANN for intelligent manufacturing. ***International journal of Machine Tools and Manufacture***, 40: 851-868.
95. Ezugwu, E. O., Fadare, D. A., Bonney, J., Da Silva, R. B., and Sales, W. F. (2005). Modelling the correlation between cutting and process parameters in high-speed machining of Inconel 718 alloy using an artificial neural network. ***International Journal of Machine Tools & Manufacture***, 45: 1375-1385.

96. Gündüz, A. (2006). Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetlerinin bulanık mantık ve yapay sinir ağlarıyla tahmini. Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
97. Szecsi, T. (1999). Cutting force modeling using artificial neural Networks. *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93: 344-349.
98. Aykut, Ş., Gölcü, M., Semiz, S., and Ergün H. S. (2007). Modeling of cutting forces as function of cutting parameters for face milling of satellite 6 using an artificial neural network. *Journal of Materials Processing Technology*, 190: 199-203.
99. Tosun, N., and Latif, Ö. (2002). A study of tool life in hot machining using artificial neural networks and regression analysis method. *Journal of Materials Processing Technology*, 124: 99-104.
100. Monajati, H., Asefi, D., Parsapour, A., and Abbasi, Sh. (2010). Analysis of the effects of processing parameters on mechanical properties and formability of cold rolled low carbon steel sheets using neural Networks. *Computational Materials Science*, 49: 876-881.
101. Hosseini, S. M. K., Zarei-Hanzaki, A., Yazdan Panah, M. J., and Yue, S. (2004). ANN model for prediction of the effects of composition and process parameters on tensile strength and percent elongation of Si-Mn TRIP steels. *Materials Science and Engineering A*, 374: 122-128.
102. Xu, L., Xing, J., Wei, S., Zhang, Y., and Long, R. (2006). Artificial neural network prediction of retained austenite content and impact toughness of high-vanadium high-speed steel (HVHSS). *Materials Science and Engineering A*, 433: 251-256.
103. Çetinel, H., Özyiğit, H. A., and Özsoyeller, L. (2002). Artificial neural networks modeling of mechanical property and microstructure evolution in the Tempcore process. *Computers and Structures*, 80: 213-218.
104. Kanca, E., Eyercioglu, O., Pala, M., and Ozbay, E. (2008). Prediction of martensite and austenite start temperatures of the Fe-based shape memory alloys by artificial neural Networks. *Journal of Materials Processing Technology*, 200: 146-152.
105. Lin, Y. C., Liu, G., Chen, M. S., and Zhong, J. (2009). Prediction of static recrystallization in a multi-pass hot deformed low-alloy steel using artificial neural network. *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 4611-4616.
106. Korkut, I., Acir, A., and Boy, M. (2011). Application of regression and artificial neural network analysis in modelling of tool-chip interface temperature in machining. *Expert Systems with Applications*, 38: 11651-11656.
107. Kurt, A. (2009). Modelling of the cutting tool stresses in machining of Inconel 718 using artificial neural networks. *Expert Systems with Applications*, 36: 9645-9657.

- 108.Sözen, A., Kafkas, F., Karataş, Ç., Arcaklioğlu, E., and Sartaş, S. (2007). Determination of residual stresses based on heat treatment conditions and densities on a hybrid (FLN2-4405) powder metallurgy steel using artificial neural network. **Materials and Design**, 28: 2431-2442.
- 109.Şeker, U., Kurt, A., and Çiftçi, İ. (2002). Design and construction of a dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion. **Materials and Design**, 23: 355-360.
- 110.Shaw, M. C. (1989). Metal cutting principles. **Oxford University Press**, Oxford, 1-9
- 111.Çiftçi, İ. (2003). Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması. Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-90.
- 112.Groover, M.P. (1996). Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems. **Prentice-Hall**, New Jersey, USA, 251-639.
- 113.Günay, M. (2009). Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 106-112.
- 114.Sundaram, S., Senthilkumar, P., Kumaravel, A., and Manoharan, N. (2008). Study of flank wear in single point cutting tool using acoustic emission sensor techniques. **ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences**, 3 (4): 32-36.
- 115.Lee, T. H. (2007). An experimental and theoretical investigation for the machining of hardened alloy steels. PhD. Thesis, **The University of New South Wales**, Sydney, Australia, 10-120.
- 116.Zhang, J. H. (1991). Theory and technique of precision cutting. **Pergamon Press**, Oxford, 1-50.
- 117.Trent, E. M. (1989). Metal cutting”, **Butterworths Press**, London, 1–171.
- 118.Kopaci, J., and Bahor, M. (1999). Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product. **Journal of Materials Processing Technology**, 92-93: 381-387.
- 119.De Garmo, E.P., Black, J. T., and Kohser, R. A. (1997). Materials and processes in manufacturing. **Prentice-Hall Inc.**, New Jersey, 214-652.
- 120.Şeker, U. (1997). Takım tasarımı ders notları. **Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, Ankara, 5-11, 33-44, 47-72.
- 121.Hagiwara, M., Chen , S., and Jawahir, I. S. (2009). Contour finish turning operations with coated grooved tools: Optimization of Machining Performance. **Journal of Materials Processing Technology**, 209: 332-342.

- 122.Javidi, A., Rieger U., and Eichlseder W. (2008). The effect of machining on the surface integrity and fatigue life (Technical note). **International Journal of Fatigue**, 30: 2050-2055.
- 123.Shaw, M. C. (1989). Metal cutting principles. **Oxford University Press**, Oxford, 1–29.
- 124.Sert, H., Karataş, Ç., Özdemir, A., Kılınç, Y., Dağ, M., and Samtaş, G. (2002). Thin and thick hard coatings of metals, their environments and performance comparisons. **Proceeding 2nd International Conference on Tribology**, 48-58.
- 125.Bhattacharya, D. (1987). Machinability of Steel. **Journal of Metals**, March.
- 126.Griffin, R. D., Li, H. J., Eleftheriou, E., and Bates, C. E. (2008). Machinability of gray cast iron. **American Foundry Society Report**, Alabama, 1-20.
- 127.Yücel, A. (2001). Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-30.
- 128.Şeker, U. (1997). Talaş kaldırma teorileri. Takım Tasarımı, **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 29-37.
- 129.Bruins, D. H., and Drager, H. J. (1975). Talaşlı metal işlemede takımlar ve takım tezgahları. **Materials Science and Technology**, 35: 65-72.
- 130.Smith, F. W. (1990). Principle of Materials Science and Enginnering. **Mc Graw – Hill Publishing Company**, New York.
- 131.Krauss, G. (1980). Principle of Heat Treatment of Steel. ASM.
- 132.Gupton, S. P. (1986). The Heat Treating Source Book. ASM.
- 133.Thelning K. E., ve Çev. Tekin A. (1987). Çelik ve Isıl İşlemi. İstanbul.
- 134.Metals Handbook, (1993). Machinability of Steels. **10 th Edition**, Vol. 1, ASM.
- 135.Saraç, T. (2006). Yapay sinir ağları. **Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı Seminer Projesi**, 6-26.
- 136.Özkan, İ. A. (2006). Tornalamada kesme kuvvetlerinin ve takım ucu sıcaklığının bulanık mantık ve yapay sinir ağı teknikleriyle tahmin edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü**, Konya, 34.
- 137.Abıyev, R. (2003). Neural network based fuzzy inference system for identification and control of dinamic system. Near East University, **IJCI Of Int XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks**, Kıbrıs, 1, (1).
- 138.Nauck, D., Lawonn. F., and Kruse, R. (1992). Fuzzy sets, fuzzy controllers, and neural Networks. **Journal of the Humboldt-University of Berlin**, Series Medicine 41.

139. Demuth, H., Beale, M., and Hagan, M. T. (1995). Neural network design. **Wads worth Publishing Company Pub.**
140. Narendra, K. S., and Parthasarathy, K. (1990). Identification and control of dynamicsystems using neural Networks. **IEEE Trans. Neural Networks 1**, 4-27.
141. Giannakis, G. B., and Mendel, J. M. (1989). Identification of non-minimum phase systems using higher- order statistics. **IEEE Transactions on Acoustics, Speech, Signal Processing**, 37, 360-377.
142. Zhi, Q. (2001). A Quasi-ARMAX aproach to modelling of non-linear systems. **International Journal Of Control**.
143. Yang, Z. J., Sagara, S., and Tsuji, T. (1997). System impulse respons eidentification using a multiresolution neural network. **Automatica**, 33: 1345-1350.
144. Narendra, K.S., and Mukhopadhyay, S. (1997). Adaptive control using neural networks and approximate models. **IEEE Transactions on Neural Networks**, 8: 475-485.
145. Chen, S., and Billings, S. A. (1992). Neural networks for nonlinear dynamic system modeling and identification. **International Journal of Control**, 2: 319-346.
146. TS 10329 (ISO 3685). (1992). Torna Kalemleri-Ömür deneyi. **Türk Standardları Enstitüsü**.
147. Sandvik Coromant. (2010). Sipariş Katoloğu. **C-2900:7 AB Sandvik coromant**, İsveç.
148. Sandvik Coromant. (2010). Teknik Kılavuz. **C-2900:8 AB Sandvik coromant**, İsveç.
149. Ceylan, M. (2004). Kompleks değerli yapay sinir ağı ile algoritma geliştirilmesi ve uygulamaları. Yüksek Lisans, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 30.
150. Zhao, J., Ai, X., and Li, Z. (2006). Finite element analysis of cutting forces in high speed machining. **Materials Science Forum**, (532-533): 753-756.
151. Özçatalbaş, Y. (2003). Investigation of the machinability behaviour of Al4C3 reinforced Al-based composite produced by mechanical alloying technique. **Composites Science and Technology**, 63: 53-61.
152. (151) Apaydın, D. (2009). AISI4340 malzemenin tornalamasında oluşan kesme kuvvetlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi. Yüksek Lisans, **Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, 68.
153. Gürbüz, H., Kafkas, F., ve Şeker, U. (2012). AISI 316L çeliğin işlenmesinde kesici takım burun yarıçapının kalıntı gerilmeler üzerine etkisi. **3. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu**, Ankara, 35-50.

- 154.Boothroyd, G. (1981). Fundamentals of metal machining and machine tools. International Student Educations. (5th Printing), **McGraw-Hill**, New York.
- 155.Gökkaya, H., Sur, G., ve Dilipak, H. (2004). PVD ve CVD Kaplamalı sementit karbür kesici takımların işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi. **Teknoloji Dergisi**, 7 (3): 473-478.
- 156.Çiftçi, İ. (2005). Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, 20(2): 205–209.
- 157.Demir, H. (2008). The Effects of microalloyed steel pre-heat treatment on microstructure and machinability. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 35, 1041-1046.
- 158.Rubio, E. M., Camacho, A. M., Sanchez-Sola, J. M., and Marcos, M. (2005). “Surface roughness of A7050 alloy turned bars analysis of the influence of the length of machining. **Journal of Materials Processing Technology**, 162-163, 682-689.
- 159.Gökkaya, H., and Nalbant, M. (2007). The Effects of cutting tool geometry and processing parameters on the surface roughness of AISI 1030 steel. **Materials and Design**, 28(2): 717-721.
- 160.Gökkaya, H., ve Nalbant, M. (2007). Kesme hızının yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkilerinin SEM ile incelenmesi. **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 22(3): 481-488.
- 161.Güllü, A., ve Özdemir, A. (2003). Prizmatik parçaların frezelenmesinde kesme parametreleri ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkinin deneysel olarak bulunması. **Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 16(1): 127-134.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BADAY, Şehmus
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 06.12.1981, Batman
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (486) 216 40 08
e-mail : shmsbdy@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitimi Bölümü	2008
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makina Bölümü	2005
Lise	Batman Endüstri Meslek Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-Halen	Şırnak Üniversitesi Şırnak MYO	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Uluslararası Bildiriler

Baday, S. ve Dunder, K., “AutoCAD visual basic for application yardımı ile normal ve dar V kayış tasarımı”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey, (6), 12-14.

Hobiler

Futbol, Masatenisi, Yüzme, CAD-CAM Programları, Kitap okuma



GAZİ GELECEKTİR..