

**HADDELEME İŞLEMİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE YÜZEY
SERTLİĞİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Fikret SÖNMEZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2009

ANKARA

**HADDELEME İŞLEMİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE YÜZEY
SERTLİĞİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Fikret SÖNMEZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2009

ANKARA

Fikret SÖNMEZ tarafından hazırlanan HADDELEME İŞLEMİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE YÜZEY SERTLİĞİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç. Dr Hüdayim BAŞAK

.....

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Kürşad DÜNDAR

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç. Dr. Hüdayim BAŞAK

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Faruk MENDİ

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU

.....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç. Dr. Bülent BOSTAN

.....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 29/06/2009

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

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Fikret SÖNMEZ

HADDELEME İŞLEMİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE YÜZEY SERTLİĞİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Fikret SÖNMEZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2008

ÖZET

Haddeleme işlemi talaşlı imalatta son işlem operasyonu olarak kullanılmakta ve uygulandığı iş parçası yüzeylerinde sertliğin artması, malzeme yorulmasına karşı dayanıklılık ve aşınma direnci gibi avantajları da beraberinde getirmektedir. Haddeleme işleminde kullanılan , ilerleme, haddeleme kuvveti, kullanılan silindir sayısı, bilye yarıçapı gibi parametreler iş parçasının yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi, yüzey sertliğindeki iyileşmeler, malzemenin aşınma direncinin artması, malzeme yüzeyinde çatlak oluşturabilecek derinliklerin azaltılması vb., direk olarak etkiler. Bu çalışma ile dönel parçalar için haddeleme işlemi yapabilecek farklı başlıklar takılabilen bir aparat tasarlanma amacı güdülmüştür. Tasarlanan aparatın imalatı gerçekleştirilerek aparat ile talaşlı imalat işlemi yapılmış olan yüzeyler farklı parametreler kullanılarak haddeleme işlemine tabi tutulmuş ve parça için yüzey pürüzlülüğü ve sertliği sonuçları elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar ölçüm cihazı ile elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar YSA (Yapay Sinir Ağları) ile yorumlanmış ve bu yorumlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 708.3.029
Anahtar Kelimeler : Haddeleme, YSA, Sonlandırma operasyonu
Sayfa Adedi : 106
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hüdayim BAŞAK

INVESTIGATION OF THE BURNISHING PROCESS EFFECT OF THE ON SURFACE ROUGHNESS AND SURFACE HARDNESS

(M.Sc. Thesis)

Fikret SÖNMEZ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2009

ABSTRACT

Burnishing process has been used as a finishing operation in manufacturing and applied on work piece surface brings together some advantage like that increase hardness, resistance against material fatigue and abrasion resistance. In burnishing process is used some parameters Like that Feed, burnishing force and pass number parameters and this parameters effect to improving work piece surface roughness, refining surface hardness, increasing material abrasion resistance, decreasing depth created cracked on material surfaces. With this study, it has been aimed an apparatus design with capable to mount different heads make burnishing process for cylindrical parts. Realization of manufacturing designed apparatus and on work piece surface which is processed chip removal method, material improving (surface roughness, hardness,) experiment will be done with this apparatus usnig different parameters to obtain result contains surface roughness and surface hardness. Experimental result taken with using necessary measurement device. Obtained result interpreted with ANN (artificial neural network) and comparison with experimental result.

Science Code : 708.3.029

Key Words : Burnishing, ANN, Finishing operations

Page Number: 106

Adviser : Asst.Prof.Dr. Hüdayim BAŞAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren Hocam Yrd. Doç.Dr. Hüdayim BAŞAK'a, bana karşı her zaman anlayışlı olan ve desteklerini benden hiç esirgemeyen AİLEME ve değerli eşim Berna SÖNMEZ'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
1.GİRİŞ	1
2.HADDELEME İŞLEMİNİN TANIMLANMASI.....	3
2.1. Yüzeylerin Haddelenerek veya Ezilerek Şekillendirilmesi.....	3
2.1.1. Avantajları.....	3
2.1.2. Sınırlılıkları	4
2.2. Silindirik Dış Yüzeyler için Haddeleme	5
2.2.1. Haddeleme prensibi ve makara takımının hareketi	5
2.2.2. Haddeleme sırasında oluşan malzemenin akışı.....	7
2.2.3. Haddelemenin işleme tarzı.....	8
2.2.4. Yüzey kalitesi	10
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	12
4. HADDELEME APARATI TASARIMI	22
4.1. Haddeleme İşlemlerinde Kullanılacak Malzeme	22
4.2. Haddeleme Aparatının Tasarımı ve İmalatı.....	23
4.2.1. Haddeleme aparatının kavramsal tasarımı	23
4.2.2. Haddeleme aparatının detay resimlerinin hazırlanması ve imalatı.....	25
4.3. Haddeleme İşleminde Kullanılan Tezgâh Tipi	40

Sayfa

4.4. Ham Parçaların Yüzey Pürüzlülük ve Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi	40
4.5. Haddeleme (Burnishing) İşleminin Yapılması	41
5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE YÜZEY SERTLİĞİ DENEYLERİ	46
5.1. Deney Kartları.....	46
5.2. Yüzey Sertliği ve Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Tespiti İçin Ölçümlerin Yapılması.....	47
5.3. Deney Sonuçlarından Elde Edilen Yüzey Pürüzlülüğü Ve Yüzey Sertliği Değerlerinin Ölçümü Ve Kartlara İşlenmesi	48
6. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN GENEL DEĞERLENDİRMESİ	54
6.1 Makaralı Aparat İçin Sonuçların Değerlendirilmesi.....	54
6.1.1. İlerleme ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri	55
6.1.2 İlerleme ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğinin üzerindeki etkisi.....	56
6.1.3 İlerleme ve paso sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	57
6.1.4 İlerleme hızı ve paso sayısının yüzey sertliğine etkisi	58
6.2 Çift Makaralı Aparat İçin Sonuçların Değerlendirilmesi	59
6.2.1 İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	59
6.2.2 İlerleme hızı ve paso sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	60
6.2.3 İlerleme hızı ve paso sayısının yüzey sertliğine etkisi	61
6.2.4 Baskı kuvveti ve paso sayısının yüzey sertliğine etkisi.....	62
6.3 Bilyeli Aparat İçin Sonuçların Değerlendirilmesi	63
6.3.1 İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	64
6.3.2 Baskı kuvveti ve paso sayısının yüzey sertliğine etkisi.....	65

Sayfa

6.3.3 İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	66
6.3.4 İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi.....	67
6.4 Aparatların Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçlarının Değerlendirilmesi	68
6.5 Aparatların Yüzey Sertliği Sonuçlarının Değerlendirilmesi	68
7. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	72
7.1. YSA'nın Tanımı ve Tarihçesi.....	72
7.2. Biyolojik Sinir Sistemi	74
7.3.YSA'nın yapısı.....	76
7.3.1. Girdi katmanı.....	77
7.3.2. Ara katman [Gizli katman]	77
7.3.3. Çıktı katmanı	77
7.3.4. Yapay nöron.....	77
7.3.5. Aktivasyon fonksiyonları.....	80
7.4. Yapay Sinir Ağları Modelleri	82
7.5. Geliştirilen Yapay Sinir Ağı	84
7.5.1. YSA'da eğitme / öğrenme.....	86
7.5.2. Geriye yayılma (Hatanın ağırlıklara dağıtılarak minimize edilmesi).....	87
7.6. Test.....	88
7.7. YSA sonuçlarının değerlendirilmesi	88
7.7.1. Polak-Ribiere conjugate gradient [CGP] algoritması kullanılarak yapılan 1 gizli katman 3 neron yapılı ağ sonuçları	92

	Sayfa
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	100
8.1. Sonuç	100
8.2. Öneriler	102
KAYNAKLAR.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	106

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Çizelge 4.1. Al 6061 –T6 ait kimyasal bileşimi	22
Çizelge 4.2. İmalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı parçaları.....	28
Çizelge 4.3. Haddeleme işlemine tabi tutulmamış parçalar için yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerleri	41
Çizelge 4.4. Haddeleme işleminde kullanılacak olan parametreler.....	41
Çizelge 4.5. Haddeleme işleminde kullanılacak olan parametreler.....	42
Çizelge 4.6. Haddeleme işleminde kullanılacak deneyler	43
Çizelge 5.1 Deneylerde kullanılan parametreler	46
Çizelge 5.2. Örnek deney kartı	47
Çizelge 5.3. Bir numaralı parça için ölçüm sonuçları.....	49
Çizelge 5.4. İki numaralı parça için ölçüm sonuçları	49
Çizelge 5.5. Üç numaralı parça için ölçüm sonuçları.....	49
Çizelge 5.6. Dört numaralı parça için ölçüm sonuçları	50
Çizelge 5.7. Beş numaralı parça için ölçüm sonuçları.....	50
Çizelge 5.8. Altı numaralı parça için ölçüm sonuçları.....	50
Çizelge 5.9. Deneyler sonucunda elde edilen ölçüm değerleri	51
Çizelge 7.1. Farklı algoritma ve nöron yapılarında elde edilen sonuçlar	89

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Profilometreye göre bir yüzeyin kesiti	5
Şekil 2.2. Ezme ve destek makaraları ve makaraların parça boyunca ilerlemesi.....	6
Şekil 2.3. Ezme İşlemi a) Makara eğim açısı, b)Yüzeyin deformasyon bölgesi.....	7
Şekil 2.4. Haddelenen yüzeyde basma ve çekme gerilmelerinin oluşumu	7
Şekil 2.5. Basınç artışıyla elde edilen farklı pürüzlülük değerleri.....	8
Şekil 2.6. Haddelenen parçanın iki punta arasına alınması.....	9
Şekil 2.7. Parçaların puntasız haddelenmesi	9
Şekil 2.8. Yüzey kalitesinin, "Abott" eğrileri ile ifade edilmesi	11
Şekil 3.1. Axir ve arkadaşlarının tasarladıkları haddeleme aparatı	13
Şekil 3.2. El-Axir'in deneysel çalışmalarında kullandığı aparat.....	15
Şekil 3.3. Hassan'ın deneylerinde kullandığı haddeleme aparatı.....	17
Şekil 3.4. Shiou ve Chen'in deneylerinde kullandıkları haddeleme aparatları	19
Şekil 3.5. Makaralı (Dönel) haddeleme aparatı.....	20
Şekil 4.1. Haddeleme işlemine tabi tutulacak parça	23
Şekil 4.2. Kavramsal bağlantı elemanı.....	23
Şekil 4.3. Kavramsal baskı yapısı.....	24
Şekil 4.4. Kavramsal montaj modeli.....	24
Şekil 4.5. Kavramsal ezici modelleri	24
Şekil 4.6. Kavramsal aparat modeli	25
Şekil 4.7. İsimlendirme yapılan aparatlar a)Makaralı aparat b)Çift makaralı aparatc)Bilyeli aparat	26
Şekil 4.8. Aparat 1 (Makaralı aparat) için yapılan montaj resmi	27

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. Aparat 2 (Çift makaralı aparat) için yapılan montaj resmi.....	27
Şekil 4.10. Aparat 3 (Bilyalı aparat) için yapılan montaj resmi.....	28
Şekil 5.2. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği ölçüm cihazları.....	48
Şekil 6.1. Makaralı Aparat	54
Şekil 6.2. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi	55
Şekil 6.3. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi	56
Şekil 6.4. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi	57
Şekil 6.5. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi	58
Şekil 6.6. Çift makaralı aparat.....	59
Şekil 6.7. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi	60
Şekil 6.8. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi	61
Şekil 6.9. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi	62
Şekil 6.10. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi	63
Şekil 6.11. Bilyeli haddeleme aparatı	63
Şekil 6.12. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi	64
Şekil 6.13. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi	65
Şekil 6.14. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	66
Şekil 6.15. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi	67
Şekil 6.16. Aparatlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	68
Şekil 6.17. Aparatlarının yüzey sertliğine etkisi	70
Şekil 7.1. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi	74
Şekil 7.2. Basit bir sinir hücresi.....	75
Şekil 7.3. Sinir sisteminde bilgi akışı.....	76

Şekil	Sayfa
Şekil 7.4. Temel yapay sinir ağı hücresi	78
Şekil 7.5. Yapay nöronun detaylı yapısı	80
Şekil 7.6. Purelin fonksiyonu	80
Şekil 7.7. Eşik fonksiyonu.....	81
Şekil 7.8. Tansig fonksiyonu	81
Şekil 7.9. Logsig fonksiyonu.....	82
Şekil 7.10. Oluşturulan yapay sinir ağı.....	85
Şekil 7.11. Geliştirilen YSA modelinin akış diyagramı	86
Şekil 7.12. Eğitim kümesi yüzey pürüzlülüğü dağılımı.....	92
Şekil 7.13. Eğitim kümesi yüzey sertliği dağılımı.....	93
Şekil 7.14. Eğitim kümesinin yüzey pürüzlülüğü bakımından performansı.....	94
Şekil 7.15. Eğitim kümesinin yüzey sertliği bakımından performansı.....	95
Şekil 7.16. Test kümesi yüzey pürüzlülüğü dağılımı.....	96
Şekil 7.17. Test kümesi yüzey sertliği dağılımı	97
Şekil 7.18. Test kümesi yüzey pürüzlülüğü bakımından performansı.....	98
Şekil 7.19. Test kümesi yüzey sertliği bakımından performansı.....	99

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Çift makaralı aparatın montajı	40
Resim 4.2. Bilyeli aparatın montajı	40
Resim 4.3. Haddeleme operasyonunda kullanılan aparat 1 (Makaralı aparat) ile yapılan haddeleme işlemi.....	44
Resim 4.4. Haddeleme operasyonunda kullanılan aparat 2 (Çift makaralı aparat) ile yapılan haddeleme işlemi.....	44
Resim 4.5. Haddeleme operasyonunda kullanılan aparat 3 (Çift Makaralı aparat) ile yapılan haddeleme işlemi.....	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
HB30	Brinell Sertliği
HRC	Rockwell C- Sertliği
Kgf	Kilogram Kuvvet
MPa	Mega Pascal
N	Newton
Ra	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
Rt	Pürüzlülük Yüksekliği

1.GİRİŞ

İnsanoğlu doğadan elde ettiği ham maddeleri kullanarak farklı amaçlar doğrultusunda kullanımına sunmuştur. İnsanoğlunun bu süreçte sürekli daha uzun ömürlü ve daha işlevsel ürünler elde etme çabası artmıştır. Bu çabaların sonucu olarak malzemelerde sürekli iyileşmeler meydana getirecek işlemler uygulanmıştır. Üretim aşamasında sürekli olarak yeni cihaz ve teçhizatlar kullanarak daha iyi ürün elde çabası zamanla üretimin dallanmasına ve aşamalı olarak birden fazla işleme tabi tutma gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

İnsanoğlunun farklı ihtiyaçlarının giderilmesi ve istenilen şartlarda ürünlerin elde edilmesi için sonlandırma operasyonları kullanılmıştır. Bu operasyonlar malzemelerde istenilen şartların sağlaması amacıyla yapılmıştır. Örneğin üretim aşamasında bir malzemenin sertliği yeterli değilse ve daha fazla sertlik isteniyorsa ısıtılma işlemi gibi ikincil işlemlere tabi tutulmaktadır. Aynı şekilde üretim aşamasında metal parçalar için yüzey pürüzlülüğünün azaltılması isteniyorsa taşlama işlemi gibi bir sonlandırma işlemini kullanılabilmektedir. Malzemede istenilen değişiklikleri elde etmek için kullanılan birçok farklı ikincil operasyon ve sonlandırma işlemi vardır. Bu işlemler malzemenin niteliğine ve istenilen özelliğe göre değişiklik göstermektedir.

Talaşlı imalatla (Tornalama, Frezeleme vb) parça yüzeylerinde belli bir yüzey kalitesine erişilebilmektedir. Erişilen yüzey kalitesinde iyileştirme yapılması gerekirse bu yüzeylere ikincil işlem olarak taşlama (silindirik veya yüzey) veya haddeleme gibi bir işleme tabi tutmak gerekmektedir. Haddeleme ise talaşlı imalat ardından sonlandırma operasyonu olarak kullanılan ve yüzey sertliği, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma direnci gibi malzemenin yüzey karakteristiklerine olumlu etkileri olan ve fonksiyonel yüzeylerin talaş kaldırmadan, ezerek süper ince işlenmesinde uygulanan, hassas bir işleme tekniğidir.

Günümüzde uçak, tren, roket, otomobil, gemi ve helikopter gibi araçların imalatında hafif olmasına rağmen, mekanik özellikleri çok iyi olan alüminyum alaşımları büyük oranda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, haddeleme işleminde kullanılan ilerleme hızı, baskı kuvveti, paso sayısı ve farklı aparat türü gibi parametrelerin Al-6061 malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliğine etkileri araştırılmıştır. Haddeleme sonrasında alınan deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler YSA (yapay sinir ağları) yöntemi ile değerlendirip deney sonuçları ile YSA sonuçları karşılaştırılmıştır. Böylece yüzey kalitesinde iyileştirme istenilmesi durumunda hangi parametrelerinin kullanılması gerektiği bu çalışma ile tespit edilmiştir. Sonuçların YSA ile yorumlanmış ve deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırması yapılmıştır.

2.HADDELEME İŞLEMİNİN TANIMLANMASI

2.1. Yüzeylerin Haddelenerek veya Ezilerek Şekillendirilmesi

Makine imalat sektöründe malzemenin kullanılacağı şartlara bağlı olarak farklı özelliklerde malzemelerin kullanılmasına ihtiyaç vardır. Her malzeme farklı yüzey pürüzlülük, farklı sertlik ve farklı aşınma direnci değerlerine sahiptir. Sektördeki farklı ihtiyaçların karşılanması için birbirinden farklı imalat metotları kullanılmaktadır. İstenilen özelliklere ulaşmak için kullanılan imalat metotları bazen tek başına yetersiz kalmakta ve malzemelerin ikincil operasyonlara tabi tutulması gerekli hale gelmektedir. Bu ikincil operasyonlar ile bir kez işleminden geçmiş parçalar istenilen yüzey sertliği, yüzey pürüzlülüğü, aşınma direnci vb kriterlere ulaşmasına yardımcı olmaktadır.

Üretim için kullanılan talaşlı imalat yöntemleri (Tornalama, Frezeleme vb) parça yüzeylerinde belli bir yüzey kalitesine erişilebilmektedir. Erişilen yüzey kalitesinde iyileştirme yapılması gerekirse bu yüzeyleri ikincil işlem olarak taşlama (silindirik veya yüzey) veya haddeme gibi bir işleme tabi tutmak gerekmektedir. Haddeme, işlevsel yüzeylerin talaş kaldırmadan, ezerek hassas bir şekilde işlenmesinde kullanılan bir imalat tekniğidir. Kullanılan ezme sistemi ile haddeme yapılacak parçaların yüzey dokuları ezilerek yüzey karakteristiklerinde iyileşmeler gerçekleştirilir Makine imalat tekniği olarak öteden beri kullanılan bir son işlem operasyonudur.

2.1.1. Avantajları

Taşlama gibi diğer sonlandırma operasyonlarında genellikle sadece yüzey pürüzlülük değerinde azalma oluşturur. Böylelikle tek bir açıdan yüzey kalitesinde artma meydana gelirken haddeme işlemi ile malzeme yüzeyinde hem yüzey pürüzlülük değeri azalmakta hem de yüzey sertliğinde artışlar gözlenmektedir. Böylelikle haddeme işlemine tabi iş parçası malzeme yorulmasına karşı dayanıklılık ve

aşınma direncinin artması gibi avantajları ortaya çıkarmaktadır. Aparatın tasarımı ve imalatı diğer yöntemlere göre daha kolay ve maliyet açısından daha elverişlidir. Üretimi yapılan haddeleme aparatı klasik talaşlı imalat tezgâhları kullanılarak kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu özelliklerinde dolayı haddeleme işlemi birçok avantajı içeren aynı zamanda bu işlemleri talaş kaldırmaksın yapılmasını sağlayan bir üretim tekniğidir.

Haddeleme işlemi, metal parçaların prizmatik, silindirik ve konik iç ve dış yüzeylerine uygulanır.

Bu yöntem;

1. Silindirik Dış Yüzeyler İçin Haddeleme (Dış Galetaj)
2. Delik Olan Yüzeyler İçin (İç Galetaj)
3. Prizmatik parçalar olmak üzere üç tip parça üzerinde uygulanabilir [1].

2.1.2. Sınırlılıkları

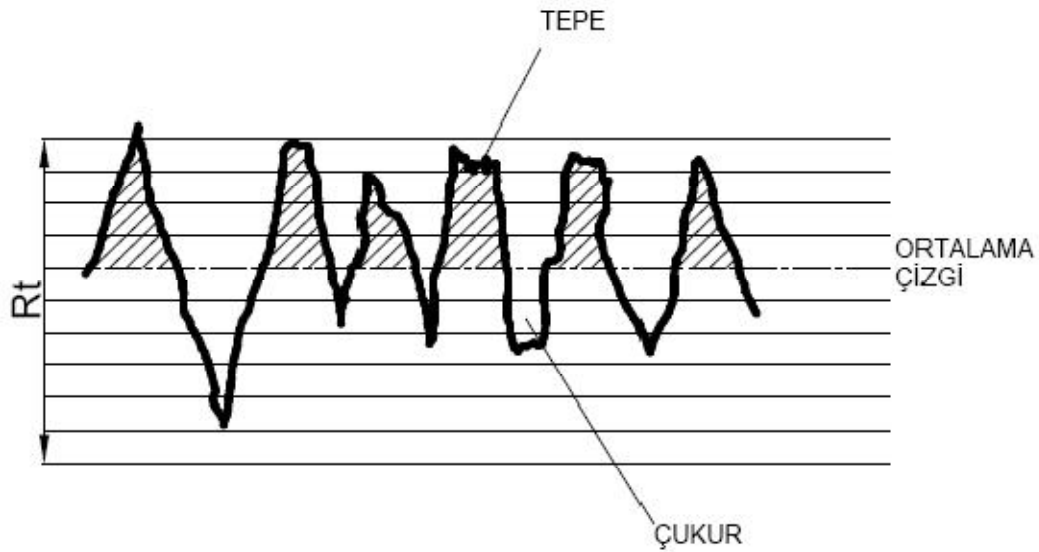
Haddeleme işlemi malzemenin ezilmesi prensibi ile yapılan bir işlem olduğu için malzemenin haddeleme işlemine iyi tepki vermesi ezilme kabiliyetine bağlıdır. Bu durum haddeleme işleminin yapısı gereği sert olan malzemelerde olumlu etkisinin sınırlı kalmasına neden olmaktadır. Haddeleme işleminin olumlu etkisi ezilebilir özellikli yumuşak metallerde daha belirgin olmaktadır.

Haddeleme işleminde kullanılan parametrelerden baskı kuvveti ve paso sayısı gibi değişkenlerin artırılması durumunda malzeme yüzeyi bozulmaktadır. Literatür çalışmalarında yapılan deneylerde belli bir baskı kuvvetine kadar yüzey pürüzlülüğü azalmakta iken belli bir kuvvetin üstünde yüzey bozulmaya başlamaktadır.

2.2. Silindirik Dış Yüzeyler için Haddeleme

2.2.1. Haddeleme prensibi ve makara takımının hareketi

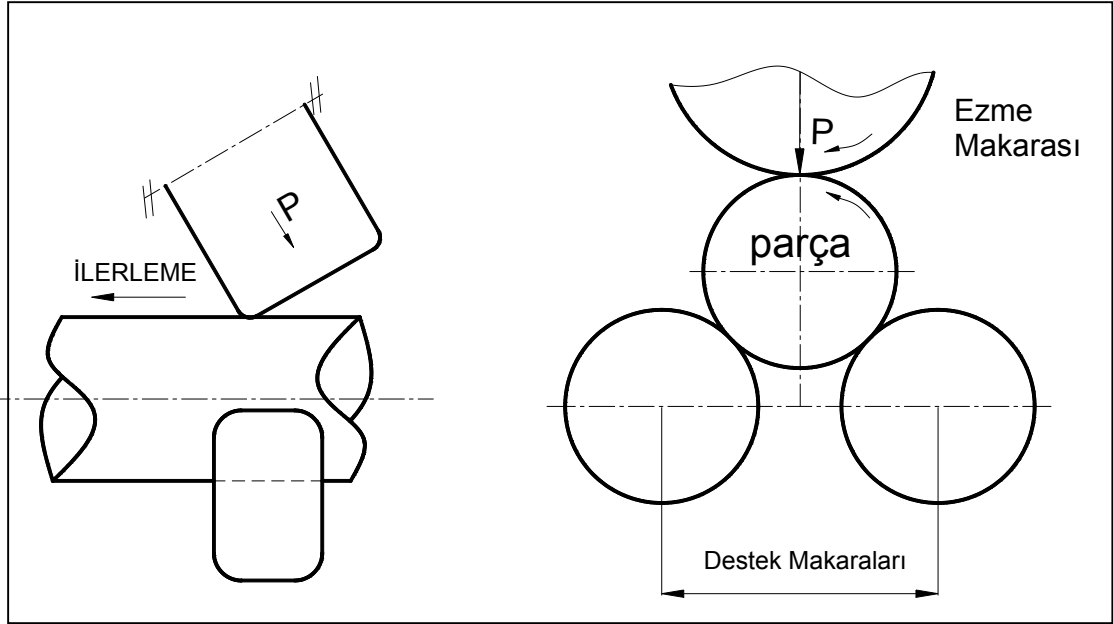
Profilometre cihazı kullanılarak yapılan yüzey ölçümlerinde malzeme yüzeyinin girintili-çukuntılı bir yapıda olduğu görülmektedir. Metal malzemeler yapıları gereği sıcak ve soğuk şekillendirme işlemlerine tabi tutulabilirler bu prensipten faydalanarak haddeleme işlemi yapılmaktadır. Haddeleme işleminde ezici aparat metal malzemenin yüzeyini ezerek şekillendirme yapmaktadır. Bu ezerek şekillendirme yöntemi sayesinde malzemenin yüzeyinde bulunan girinti ve çıkıntıların birbirlerine olan oranları azalarak daha az girintili ve çıkıntılı yapılar elde edilmiş olur. Bu işlem ile malzemenin yüzey pürüzlülüğü azaltılmakta ve daha pürüzsüz bir yapıya kavuşması sağlanmaktadır.



Şekil 2.1 Profilometreye göre bir yüzeyin kesiti

Haddeleme işleminde uygulamada deforme edilecek yüzey kalınlığı (talaş payı) malzemenin karakteristik özelliklerine göre değişmekle beraber;

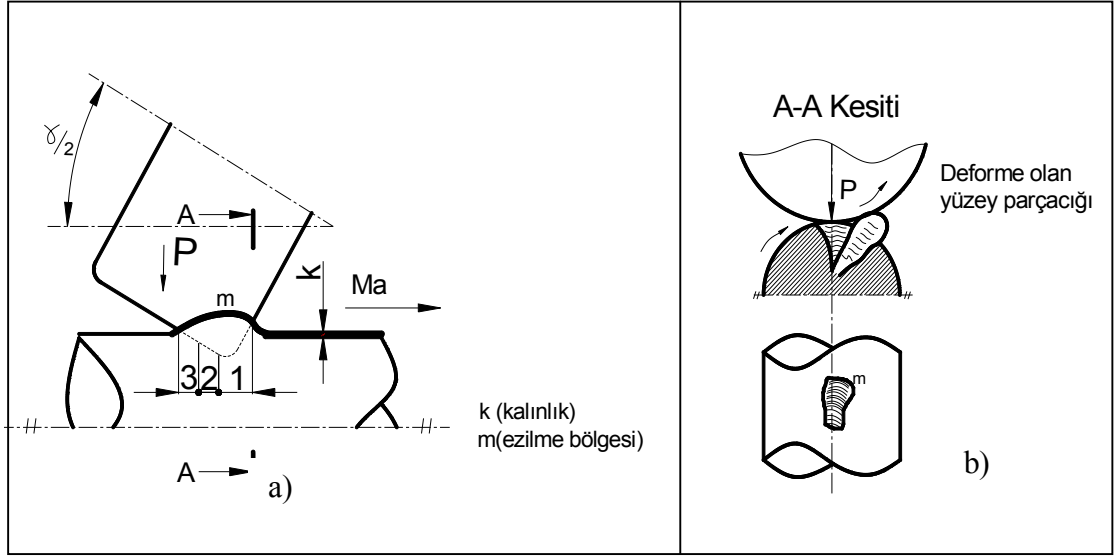
- Tornalanmış yüzeylerde max, 15-20 mikron
- Taşlanmış yüzeylerde max, 6-8 mikron olarak öngörülmelidir [1].



Şekil 2.2 Ezme ve destek makaraları ve makaraların parça boyunca ilerlemesi [1].

Haddeleme (galetaj) işlemi yapan, ezme makarası takım çeliğinden yapılmış olup, çalışma esnasında ezme makarasına Şekil 2.3'de görüldüğü gibi $\gamma/2=1^\circ30'$ lık bir eğim verilir. Yüzeyin ezilen bölgesini, Şekil 2.3.a ve Şekil 2.3.b'de görüldüğü gibi, üçe ayırmak mümkündür. Bunlar;

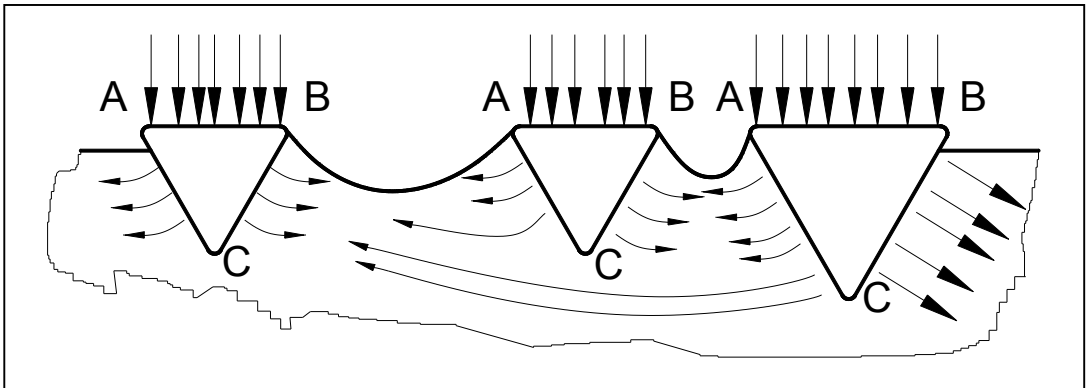
- 1-Giriş bölgesi
- 2-Plastisite bölgesi
- 3-Polisaj bölgesidir



Şekil 2.3. Ezme işlemi a) Makara eğim açısı, b)Yüzeyin deformasyon bölgesi

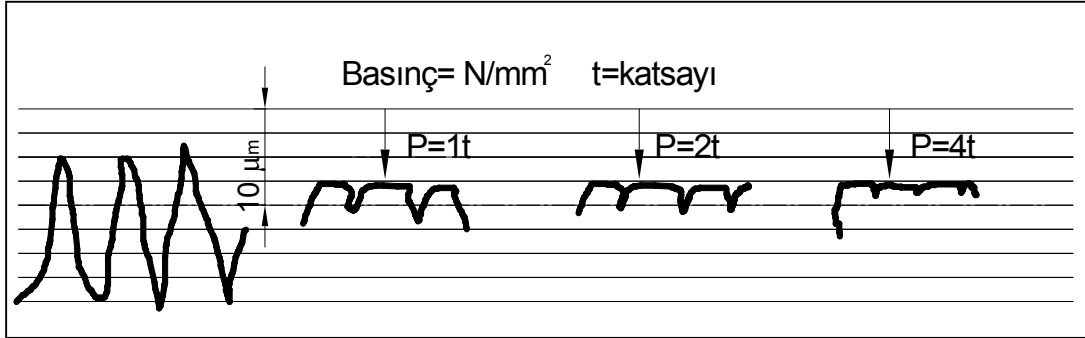
2.2.2. Haddeleme sırasında oluşan malzemenin akışı

Haddeleme işlemi sırasında, makaraların yaptığı baskı sonucu parça yüzeyinde meydana gelen şekil değişimi makaraların doğrusal hareketiyle akıcı bir bant haline dönüşür (Şekil 2.4). Baskı sonucu yüzeyin çıkıntı kısımları, şekil değiştirerek yüzeyin girinti kısımlarına basınçla dolar. Bu arada gerek sıkıştırılan ve gerekse dolan bölgelerde görülen basma ve çekme gerilmeleri meydana gelir [1].



Şekil 2.4. Haddelenen yüzeyde basma ve çekme gerilmelerinin oluşumu

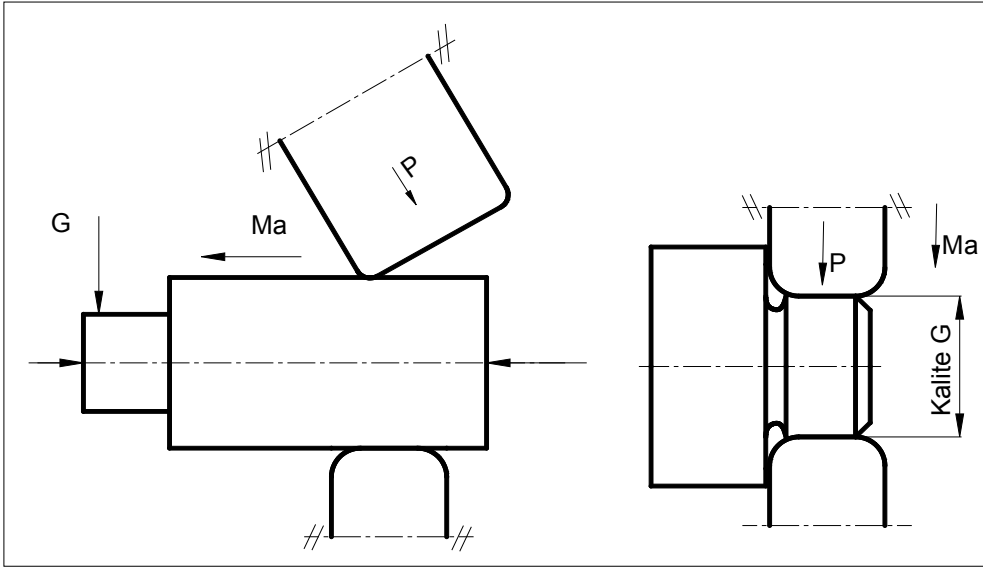
Haddeleme işleminde, elde edilen yüzey pürüzlülük değeri, yüzeye uygulanan basınçla ters orantılıdır. Basınç artışıyla elde edilen yüzey pürüzlülük değeri azalır. Malzemenin yüzey kalitesi artar. Şekil 2.5'de çeşitli basınçlarda maruz bırakılan malzemeden elde edilen yüzey değerlerini ifade eden grafik verilmiştir [1].



Şekil 2.5. Basınç artışıyla elde edilen farklı pürüzlülük değerleri

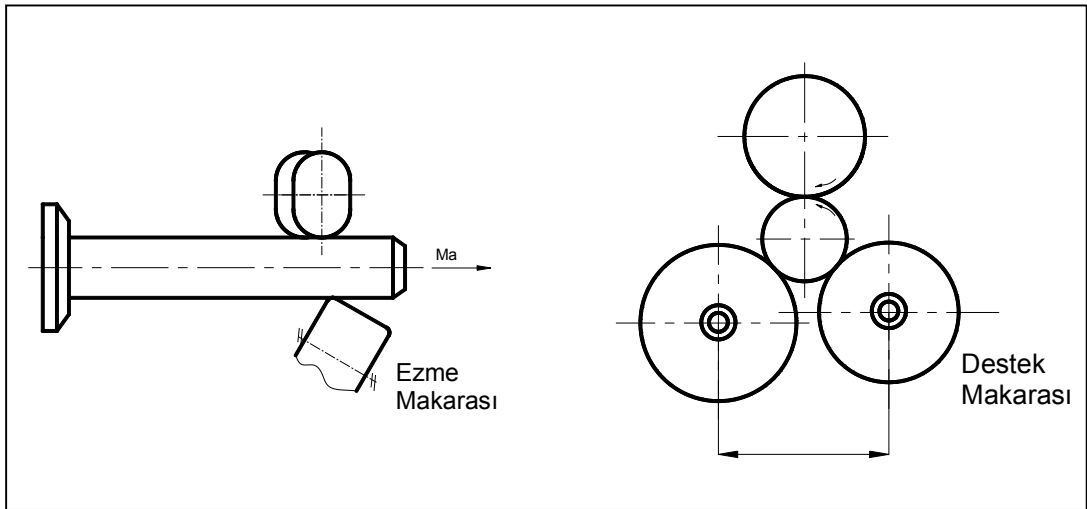
2.2.3. Haddelemenin işleme tarzı

Torna Tezgâhında yapılacak olan silindirik dış yüzey tornalaması için parçalar iki punta arasına alınarak veya diğer bağlama aparatları yardımıyla bağlanarak işlenirler (Şekil 2.6). Ezme makarası ve destek makaraları, monte edildikleri muylu sistem üzerinde boşta dönerler. Bu makaraların oluşturduğu basınç ve ilerleme kuvvetleri, hidrolik veya mekanik sistemler yardımıyla gerçekleştirilir.



Şekil 2.6. Haddelenen parçanın iki punta arasına alınması [1].

Kısa parçaların haddelene işleminde, ezme yapacak makaranın ilerleme hareketi yapmasına gerek yoktur. Bu tip parçaların şekillendirilmesinde, makara parçaya dik konumda daldırılarak ezme işlemi gerçekleştirilir. Burada, ezme makarasına eğim açısı vermeye gerek yoktur. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi, iş eksenini ile makara eksenini birbirine paralel konumdadır.



Şekil 2.7. Parçaların puntasız haddelenmesi [1].

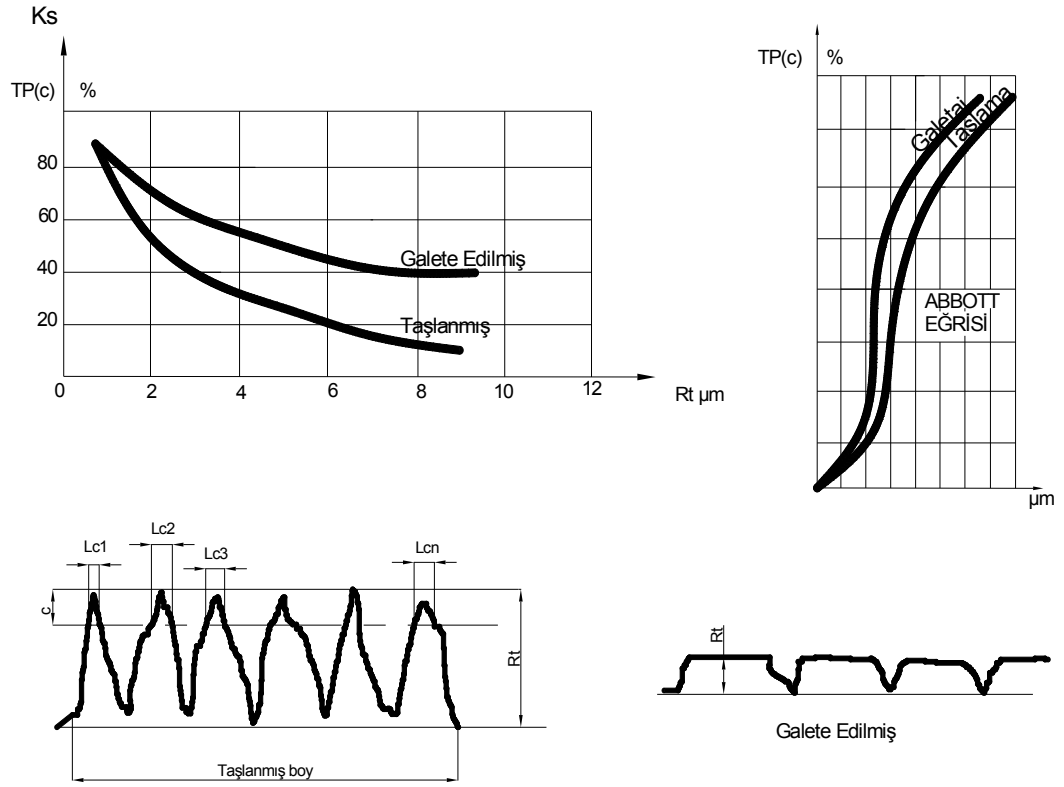
Parçaların daha seri şekilde haddelenebilmesi için, puntasız haddeleme işlemi uygulanabilir. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi bu çalışma tarzı puntasız silindirik taşlama işleminin bir benzeridir.

2.2.4. Yüzey kalitesi

Şekil 2.8'de görülen "Abott" diyagramı, c derinliğinde ve l uzunluğundaki bir yüzeyin, taşlanmış ve galete edilmiş haldeki R_t pürüzlülük değerini vermektedir. Her iki işlemde de, TP destek yüzdesinin artan değerlerinde yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı açıkça görülmektedir. TP destek yüzdesinin matematiksel ifadesi [1] ;

$$TP = 1 / L (Lc_1 + Lc_2 + + Lc_n) \times 100 \quad \text{şeklinde yazılabilir.}$$

Abott eğrileri incelendiğinde haddelenmiş yüzeyin yüzey pürüzlülüğü taşlanmış yüzeye kıyasla daha az olmaktadır.



Şekil 2.8. Yüzey kalitesinin, "Abott" eğrileri ile ifade edilmesi

Haddeleme işlemi ile taşlama işlemi arasındaki farkı daha iyi anlayabilmek için, haddeleme edilmiş ve taşlanmış iki ayrı otomobil direksiyon mili 130000 km sonunda teste tabi tutulmuştur. Buna göre;

Mil: 55 HRc sertliğinde su verilmiş ve taşlanmış ve 130000 km sonunda milde meydana gelen aşınma boşluğu 90 mikron, mil yatağında oluşan boşluk 10 mikron olup, toplamda 100 mikron aşınma boşluğu oluşmuştur. *Mil:* Sertliği 55 HRc olan ve haddelenmiş diğer bir direksiyon mili 130000 km sonunda teste tabi tutulduğunda, milde 3,5 mikron, yatakta 10 mikron, toplam 13,5 mikron'luk bir boşluğa sahip olduğu gözlenmiştir. Toplam boşluk miktarları mukayese edildiğinde, haddeleme edilmiş milin taşlanmış mile göre, aşınma dayanımının çok yüksek olduğu ifade edilebilir [1].

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

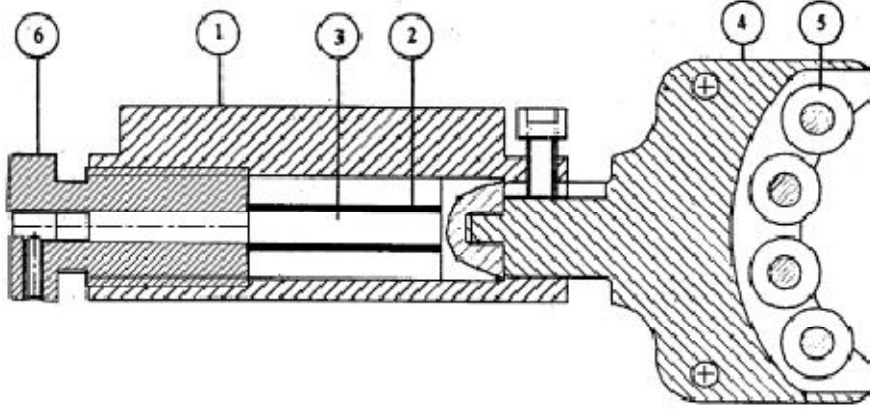
Başak, prizmatik şekle sahip alüminyum alaşım AL 7075 T6 malzemeler üstünde deneyler yapmış ve haddeleme işlemi için bir aparat tasarlamıştır. Haddeleme deneylerinde baskı kuvveti, ilerleme hızı, devir sayısı ve paso sayısı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği üzerindeki etkilerini incelemiştir [2].

Hassan ve Sulieman, Pirinç malzemelerin yüzey pürüzlülüğünü ve yüzey sertliğini geliştirmek için bir bilyeli haddeleme aparatı kullanmışlardır. Haddeleme işleminden sonra malzeme basit bir aşınma testine tabi tutulmuş ve yapılan deneyler sonucunda haddeleme kuvvetinin artması yada haddeleme sırasında paso sayısının artmasının pirinç malzemenin aşınma direncini arttığı gözlenmiştir. Bu testler sonucunda haddeleme operasyonunun aşınma direncini arttırmak için kullanılabileceği söylenebilir [3].

Hassan ve Maqableh, yaptıkları çalışmada yük, ilerleme, kullanılan takım sayısı gibi değişkenlerin haddeleme işlemi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İş parçasının başlangıçtaki yüzey pürüzlülüğü ve sertliği parametrelerinin haddeleme aparatında kullanılan bilye çapının ve bu işlem içerisinde kullanılan yağlamanın haddelemeye etkilerini araştırılmıştır. Bu deneylerde pirinç ve alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Deneyler sırasında yağlamanın yüzey daireselliği ve yüzey sertliğine olan etkilerini incelemişlerdir. Deneylerin sonuçları haddeleme işleminde başlangıçta kullanılan haddeleme parametrelerinin haddeleme operasyonunda önemli etkilerinin olduğu ortaya konulmuştur [4].

Axir ve ark, Torna tezgahında kater' e bağlanmak suretiyle çalışan bir haddeleme aparatı geliştirmişler ve dönel parçalar üzerinde haddeleme hızı, batma derinliği, haddeleme zamanı ve başlangıçtaki malzeme sertliği değişkenlerini 5 farklı malzemede uygulayarak yuvarlaklık, yüzey sertliği ve iş parçası çapındaki değişiklikleri gözlemlemişlerdir. Bu deneyler batma derinliği ile haddeleme zamanının dönel parça yuvarlaklığı ve iş parçası çapı üzerinde önemli parametreler olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda haddeleme hızının artması sertlikte önemli

azalmalara ve iş parçası malzemesinin başlangıçtaki sertliğinin azalmasına sebep olmuştur (Şekil 3.1) [5].



Şekil 3.1. Axir ve arkadaşlarının tasarladıkları haddeleme aparatı [5]

Klocke ve Liermann, dönel parçalar üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada hidrostatik olarak çalışan sert bilyeli haddeleme aparatı ile haddeleme işlemini gerçekleştirmişler ve pürüzlü yüzeylerin düzgünleştğini ve yüzey kalitesinin iyileştğini göstermişlerdir. Deneylerin sonucunda yüzey üzerindeki pürüzlülük üst değerinin orijinal yüzey pürüzlülüğüne göre (en fazla) % 30 ila 50 arasında iyileştğini tespit etmişlerdir [6].

Zhang ve Lindemann, yapmış oldukları çalışmada Dönel haddeleme işleminin AZ80'nin yorulma performansını geliştirdiğini göstermişlerdir. Optimum şartlarda yorulma performansında % 110'luk bir gelişme söz konusu konusudur. Haddeleme işlemi AZ80 için yorulma ömrünü arttırmakta püskürtmeli serleştirmeden daha etkili olduğu yapılan deneylerle gösterilmiştir [7].

Axir ve Ibrahim, bilyeli haddeleme işlemini yüzey pürüzlülüğünü, uygulanan kuvvet, ilerleme oranı, haddeleme hızının 1, 2, 3 bilye ucu kullanarak nasıl değişim gösterdiğini incelemişlerdir. Yapılan deneyler, haddeleme aparatı kullanılarak en iyi yüzey karakteristiklerinin elde edilebileceğini göstermiştir. Haddeleme kuvveti ve

haddeleme ilerleme oranının bütün yüzey karakterlerinin kontrol değerlerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir [8].

Khabeery ve Axir, 6061-T6 alüminyum alışıını için geleneksel metotlar yerine dönel haddeleme kullanılarak haddeleme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu deneysel çalışmada yüzey düzgünlüğünü geliştirmek için doğru haddeleme parametrelerini seçmenin önemli olduğunu göstermiştir (yüzey pürüzlülüğünün azaltılması, yüzey mikro sertliğinin yükseltilmesi ve sıkışmış artan bir gerginlik üretmek). Bu çalışma ile düşük haddeleme hızları ve yüksek batma oranlarının ve 3 veya 4 pasonun daha düzgün yüzeyler ortaya çıkardığı gösterilmiştir. Haddeleme hızının artması sıkışmış artan gerginliğin maksimum değerini azaltmıştır. Sıkışmış artan gerginlik batma derinliğinin ve paso sayısının artması ile artmaktadır [9].

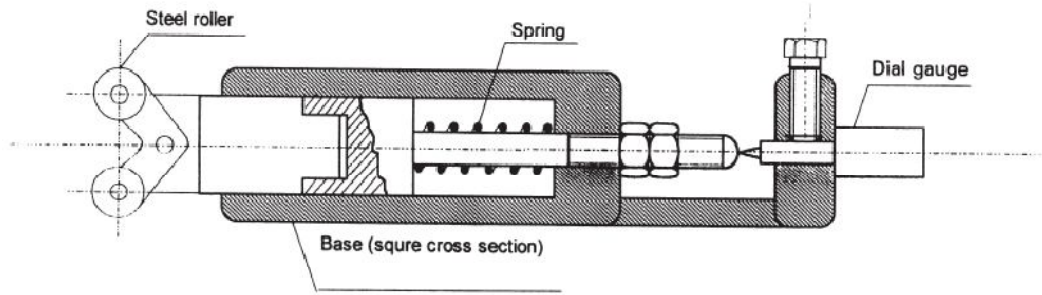
Liviu ve arkadaşları, Yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi bulunan parametrelerden baskı kuvvetini, hidrolik prensiple çalışan bir aparat ile test etmiştir. Bu araştırmalar sonucunda haddeleme işleminin en önemli parametresinin işlemde uygulanan basınç olduğu gösterilmiştir. Araştırmada bir diğer önemli parametre ise iş parçasının ilk yüzey pürüzlülüğü olduğu gözlenmiştir [10].

Janos ve arkadaşları, Haddeleme operasyonlarında manyetik prensiplerden faydalanmıştır. Manyetik destekli döner haddelemeyi bilyeler kullanarak tavlı çelikler üzerinde denemiş yüzey kalitesindeki artma ve yüzey sertliğindeki iyileşmeyle birlikte çapakları elimine etmek içinde uygun bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır [11].

Hongyun ve arkadaşları, Haddeleme operasyonunu alüminyum alaşım üzerinde silindirik yüzeyli polikristal elmas alet ile deneyselleştirmiştir. Yapılan deneylerde optimum haddeleme derinliği 2 mm ve optimum haddeleme adımını 10,2 mm/dev olarak tespit etmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün kesme sıvısı kullanılarak iyileştirilebileceğine vurgu yapılmıştır [12].

El-Axir, yaptığı çalışmalarda haddeleme için en uygun parametreleri belirleyebilmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmalarda haddeleme operasyonlarında birçok

etmenin önemli olduğunu gözlemiştir. Haddemele operasyonunda haddemele hızı, haddemele kuvveti, haddemele adımı ve paso sayısı gibi farklı haddemele şartlarının yüzey mikrosertliği ve pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmak üzere deneysel çalışmalar yapmıştır. Yaptığı deneysel çalışmalarda St-37 malzemeden iki farklı profil üzerinde araştırmalar yapmıştır. Yaptığı bu deneylerde numune parçalar üzerinde yağlama uygulamış ve kullanılan profilleri torna tezgahına bağlayarak haddemele işlemi bu şekilde gerçekleştirilmiştir [13].



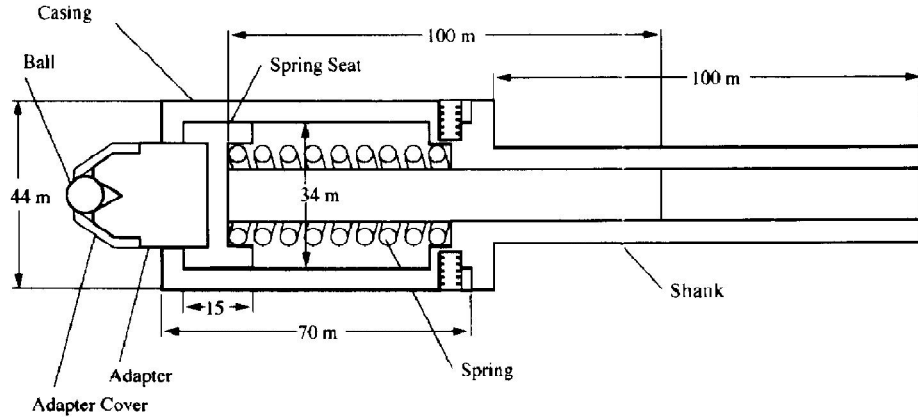
Şekil 3.2. El-Axir'in deneysel çalışmalarında kullandığı aparat [13].

El-Axir yaptığı çalışmalarda deneysel sonuçlar ile matematiksel modelleme ile elde ettiği sonuçları karşılaştırmış ve aralarında iyi bir korelasyon olduğunu belirlemiştir. Hem yüzey mikro sertliği hem de yüzey pürüzlülüğü üzerinde mil hızı, haddemele kuvveti, haddemele adımı ve paso sayısının en önemli etkilere sahip parametreler olduğunu göstermiştir. Deneyler sonucunda Yüksek yüzey mikro sertliği ve iyi yüzey sonlandırması için en uygun mil hızı 150 ile 230 dev/dk arasında gerçekleşmiştir. Yüzey mikro sertliği için uygun haddemele kuvveti 35 kgf iken iyi yüzey sonlandırması için 25 kgf dir. Yapılan araştırmalarda bütün tepkiler için en iyi sonuca haddemele adımının en düşük değerlerinde ulaşılmıştır. Yüzey mikro sertliği için en iyi sonuç yüksek paso sayılarında iken yüzey sonlandırma için 3-4 pasonun uygun olduğu gözlenmiştir [13].

Hassan ve Momami, soğuk şekillendirme çeşitlerinden kumlama (bilyeleme) ve haddemele ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Bu iki yöntemde plastik deformasyon ile metalik yüzey özelliklerinde geliştirme yapmaktadır. İlk yöntem yüzey

pürüzlülüğünü artırırken ikinci yöntem ise birincinin aksine yüzey pürüzlülüğünü azaltmaktadır. Hassan ve Momami yaptıkları deneylerde kumlama işlemi uygulanmış parçaya haddeleme yaparak kumlama ile oluşan yüzey pürüzlülüğünü azaltmak istemişlerdir. Ticari alüminyum ve pirinç malzemeler üzerinde yapılan deneylerle metalik yüzey özelliklerinin kumlama ile elde edilen iyileştirilmesi kumlamanın ardından bilyeli haddeleme aparatı ile yapılan haddeleme işlemi ile daha da geliştirilebileceği deneysel olarak çıkarılmıştır. Yapılan deneylerde haddeleme adımı, hızı, bilye çapı ve paso sayısı gibi değişkenler sabit tutulup haddeleme kuvvetinin etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre bu iki soğuk şekillendirme işleminde de metalin kabul edeceğinden daha fazla baskı kuvveti sonucunda plastik deformasyonlar oluşmakta, aşırı işlemeden dolayı metalik yüzeyde bozulmalar meydana gelmektedir. Yüzey sertliği kumlama ile %72 artan malzeme bunu takiben yapılan haddeleme işlemi ile %110 a ulaşmaktadır. Yorulma dayanımında ise kumlama ile ulaşılan %54 lük iyileşme bunu takiben yapılan haddeleme ile %65 seviyelerine çıktığı gözlemlenmiştir. Korozyon dayanıklılığı ise darbeli çekiçleme ile düşerken haddeleme işleminin de yapılması ile arttığı deneyler sonucunda ortaya çıkmıştır [14].

Hassan, döküm alüminyum-bakır alaşım malzemeler üzerinde haddeleme ile ilgili araştırmalar yapmıştır. Alaşımlarda farklı haddeleme parametreleri (Haddeleme kuvveti, hızı ve adımı) kullanarak bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği üzerine etkilerini incelemiştir. Yapılacak deneyler için döküm alaşım metal kalıpta 30 mm çapında üretilmiştir. Haddeleme aparatı seçiminde bilyeli aparat kullanılmış. Aparatın bilyesi 10 mm çapında tek kullanımlık karbon krom çelik malzemeden imal edilmiştir [15].



Şekil 3.3. Hassan'ın deneylerinde kullandığı haddelerme aparatı [15].

Deneyler için torna tezgahı kullanılmış ve döküm iş parçası yüksek hız çeliği kesici takım ile 25 mm. çapa düşürülmüş ve kesici takım çıkarılarak yerine haddelerme aparatı takılmıştır. Hem kesici takım kullanımında hem de haddelerme aparatının kullanımında soğutma sıvısı ya da yağ kullanılmamıştır. Haddelerme aparatı tek paso olarak haddelerme işlemi yapmıştır. Deneyler sonucunda sırasıyla üç işleme (döküm, tornalama, haddelerme) tabi tutulan iş parçasının yüzey profili incelenmiş ve döküm sonrası yapılan tornalamanın yüzey pürüzlülüğünde çok az etki göstermesine rağmen tornalama ardından yapılan haddelermenin yüzey pürüzlülüğünü çok büyük oranda azalttığı gözlenmiştir. Haddelerme deneylerinde haddelerme kuvvetinin hızının ve adımın artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir. Belirli bir limite kadar haddelerme kuvvetinin artması ile yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır bu limit aşıldığında tekrar iş parçasının yüzey pürüzlülüğünde artma meydana gelmektedir. Haddelerme hızının artması da benzer bir etkiye neden olmaktadır sınır değer aşılmca iş parçasının yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelmektedir. Haddelerme adımının da test edilen diğer değişkenler gibi sınır aşıldığında yüzey pürüzlülüğünde bozulmalar meydana gelmektedir. Yüzey sertliği ile ilgili yapılan ölçümlerde yüzey sertliği haddelerme kuvvetinin artması ile artmakta diğer parametreler olan haddelerme adımı ve hızının artması ile de azaldığı tespit edilmiştir [15].

Black ve arkadaşları, haddelerme operasyonu için matematiksel analizler ile deneysel çalışmalar yapmıştır. Öngörülen sonuçları ile deney sonuçları detaylı olarak

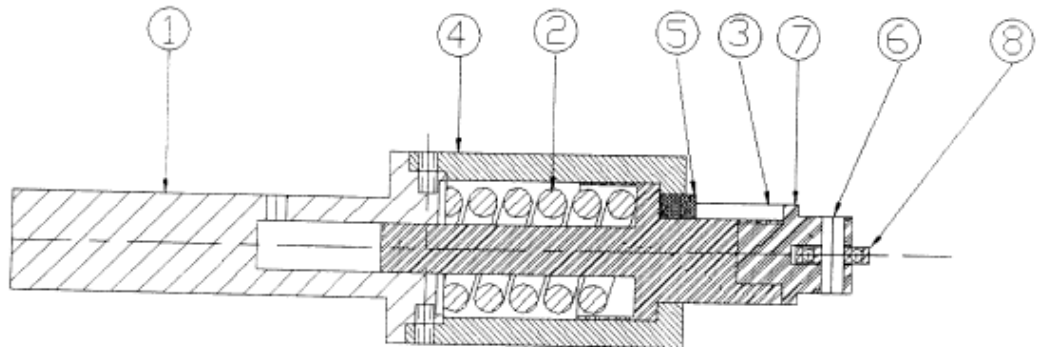
incelenmiştir. Matematiksel analizlerde haddeleme kuvveti, haddeleme katmanı derinliği ve katmandaki plastik zorlanmayı hesaplayabilmek için kayma çizgisi alan modeli ile eşitlikler elde etme yoluna gidilmiştir. Deneysel çalışmalarda ise hidrolik akışkan kuvvetiyle iş parçasına dikey baskı oluşturan aparat kullanılmış iş parçası hareketli makine tablasına bağlanarak iş parçası yatay düzlemde hareket ettirilmiştir. İş parçası olarak alüminyum magnezyum alaşımı kullanılmıştır. Yapılan deneylerde iş parçasına yağlama farklı yağlar kullanılmıştır. Kuvvet oranı ile ilgili yapılan analizler ve testler arasında iyi bir ilişki oluşmuştur. Matematiksel analiz ile kuvvet oranı hassas şekilde tahmin edilebilmiştir. Haddeleme katmanındaki zorlama ve derinlik değerleri analizler ve deneyler de birbiriyle örtüşmüştür. Yüzey pürüzlülüğü araştırmalarında safir ve yüksek hız çeliği takozlar kullanılmıştır. İş parçasında yapılan ölçümlerde iş parçasını kayma hızına paralel konumda ulaşılan değerler kayma hızına dik konumda ulaşılan değerlere göre daha iyi sonuç vermiştir. Bu iki konumda yapılan araştırmalarda da safir ezici yüksek hız çeliğinden imal edilmiş eziciye göre daha iyi pürüzlülük değerlerine ulaşmıştır [16].

Hassan ve arkadaşları, haddeleme kuvveti ve paso sayısının optimize edilmesini araştırmışlardır. Haddeleme 10 mm' lik bilyeli aparat ile torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği tepki yüzey modeline göre şekillendirilmiştir. Beş farklı haddeleme kuvveti ve yine beş farklı paso sayısı kullanarak on farklı deney grubu hazırlamıştır ve sonuç olarak haddeleme kuvveti arttıkça iş parçasının yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ve paso sayısının ortalama değerlerde daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Pirinç malzemeler üzerinde yapılan bu deneyde matematiksel modelleme göre teorik olarak en uygun pürüzlülük değeri olan 0,172 μm değerine ulaşabilmek için en uygun haddeleme kuvveti 203 N ve en uygun paso sayısı iki paso olarak tespit edilmiştir [17].

Yu ve Wang, alüminyum malzeme üzerinde küresel yüzeyli polikristal haddeleme aparatı ile yaptıkları deneylerde farklı parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin incelemiştir. Mevcut problem için en uygun haddeleme parametreleri ile bazı haddeleme mekanizmaları tartışılmıştır. Deneyler sırasında otomatik ilerlemeli torna tezgahı özel hazırlanmış küresel haddeleme aparatı ile kuru haddeleme

Yapılan deneyler sonucu ilk kez tasarlanan haddeleme aparatının hem düzlemsel haddeleme hem de serbest yüzey haddeleme de kullanılabileceği belirtilmiştir. Düzlemsel haddeleme için optimum parametreler Taughci'nin L18 matrix hesaplamalarıyla tespit edilmiştir. Serbest yüzey haddeleme için kullanılan plastik enjeksiyon kalıbında haddeleme hızı 200 mm/dk, haddeleme kuvveti 300 N ve haddeleme adımının 40 μ m olduğu tespit edilmiştir. İş parçasının düzlem haddeleme için yüzey pürüzlülüğü 1 μ m den 0,07 μ m kadar iyileştirilmiştir. Deneyler sonucunda düzlem yüzey haddelemede %62 serbest yüzey haddelemede %77,8' lik bir yüzey pürüzlülüğü iyileşmesi görülmüştür [19].

Hassan, demir içermeyen alüminyum ve pirinç malzemeler üzerinde bilyeli ve makaralı haddeleme aparatlarıyla haddeleme deneyleri yapmış. Yaptığı deneylerde haddeleme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğinin gibi değişken haddeleme parametrelerinin iki farklı alaşımın üzerinde yaptığı etkileri incelemiştir. Çalışmalar sırasında her iki aparatta da kullanılacak olan numuneler torna tezgahında 32 mm'den 28 mm'ye talaş kaldırılarak işlenmiş daha sonra haddeleme aparatı kesici takım ile yer değiştirilerek yine aynı tezgahta haddeleme operasyonu tabi tutulmuştur. Haddeleme operasyonu sırasında yağlama kullanılmamış fakat numune haddeleme operasyonu öncesinde alkol ile temizlenmiştir. Aparat için ise partiküllerin iş parçası ile aparat arasına girerek haddeleme yüzeyine zarar vermemesi için temizleme işlemine sürekli devam edilmiştir [20].



Şekil 3.5. Makaralı (Dönel) haddeleme aparatı [20].

Yapılan çalışmalar sonucunda hem bilyeli haddeleme aparatının hem de makaralı haddeleme aparatının yüzey pürüzlülüğünü en küçük değerine çekmek için haddeleme kuvvetini ve paso sayısının artırmak gerekliliğini ortaya koymuştur. Yüzey sertliği ise her iki aparatta haddeleme kuvveti ile paso sayısının artırılmasıyla geliştirilmiştir. İki aparatın kıyaslanması sırasında bilyeli haddeleme aparatının makaralı haddeleme aparatına göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve daha iyi yüzey sertliği verdiği gözlenmiştir [20].

Stodolnik, fizik ve sürtünme bilimiyle ilgili parametreleri kullanarak NV206 tip bilyeli yatak iç halkası için haddelemenin etkilerini incelemiştir. İç halka LH15 çelikten imal edilmiş ve çok ince işçilikle son işlem operasyonu sonlandırılmıştır. İşlem parametreleri çevresel hız $v=9,5$ m/dk, adım 0,04 mm/dev ve paso sayısı sabit 1 olarak deneyler yapılmıştır. Yağlama için plastik yağlayıcı LT4 kullanılmıştır. Halka parçaları 4,62 mm ye haddelenmiş, 200-1300 N kuvvetle 63 HRC sertlik değerine ulaştırılmıştır. Hertz temas gerilimi 4700-8800 MPa dır. Haddeleme sonrası pürüzlülük $Ra=0,12$ den $0,06 \mu m$ 'ye düşmüştür. Kayan haddelenmiş halkalarda $3 \mu m$ aşağıda %1,5-2,5 mikro sertlik artışı olmuştur. Yüzeyde daha derinlere inildikçe orantılı olarak F kuvveti gözlenmiştir. 1200 N'luk haddeleme kuvveti ile baskı kuvvetinin düştüğü gözlenmiştir. Halkanın kayma ve yuvarlanma karşısındaki dayanımı $F=1200$ N ile %38 artarak oldukça dikkat çekici bir artış oluşmuştur [21].

Basak ve Goktas, haddeleme işlemi için ile alüminyum alaşım Al 7075 T6 malzemeler üzerinde elde edilen deneysel verileri Fuzzy Logic (Bulanık Mantık) yöntemiyle değerlendirmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde %2,55 yüzey sertliğinde %0,62 hata ile bu yöntemin haddeleme için uygun olduğuna dikkat çekmişlerdir [22].

4. HADDELEME APARATI TASARIMI

4.1. Haddeleme İşlemlerinde Kullanılacak Malzeme

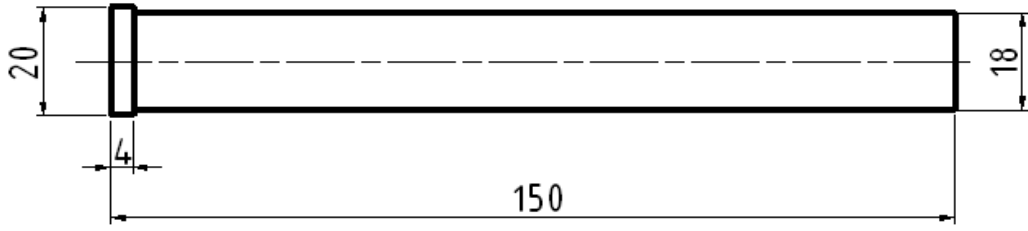
Haddeleme işlemi parça üzerinde deformasyon oluşturduğu ve ezerek şekillendirdiği için haddeleme deneylerinde bu niteliklere sahip malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Haddeleme işlemi özellikle yumuşak malzemeler de daha işlevsel olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin ezilmesi sert malzemelere göre daha kolay olduğu için ileride yapılacak ölçümler için daha belirgin sonuçlar elde edilmesi sağlanır. Böylelikle haddeleme işleminde kullanılacak olan baskı kuvveti, ilerleme hızı, paso sayısı ve aparat türü parametrelerinin birbirine kıyaslanması daha kolay yapılabilecektir.

Al-Mg alaşımları, mekanik özelliklerinin çok geniş bir aralıkta değişmesi, yumuşak temperlerde çok iyi şekillendirilebilme kabiliyeti, özellikle deniz atmosferinde, korozyona karşı yüksek direnç, düşük ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılık ve çok iyi kaynak yapılabilme, hafiflik, balistik özellikleri, gibi pek çok özelliği bünyesinde toplaması, bu alaşımların çok değişik sahalarda yaygın olarak kullanılmasına imkan sağlar. Deneyler için Al 6061 –T6 tip alaşım kullanılmıştır. Bu alaşıma ait kimyasal bileşim Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Al 6061 –T6 ait kimyasal bileşimi

Al %97,92	Mg %1,00	Si %0,65	Fe %0,35	Cu %0,30	Cr %0,23	Zn %0,08
Mn %0,05	Ni %0,05	Ti %0,04	Ga %0,02	V %0,01	Diğer Elementler en çok %0,0195	

Haddeleme işleminde kullanılan malzeme Şekil 4.1’de görülmektedir. Bu malzeme önce Şekil 4.1’de görülen ebatlara CNC torna tezgahında getirilmiş ve haddeleme işlemine hazır hale getirilmiştir.

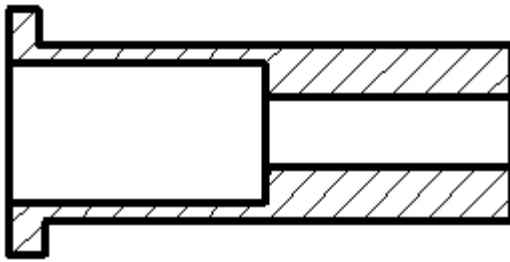


Şekil 4.1. Haddelene işleme tabi tutulacak parça

4.2. Haddelene Aparatının Tasarımı ve İmalatı

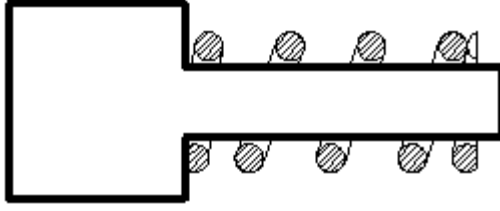
4.2.1. Haddelene aparatının kavramsal tasarımı

Haddelene aparatının tasarımı için öncelikle literatürde yer alan ve dönel parçalar için kullanılan haddelene aparatlarının çalışma prensipleri göz önünde bulundurulmuştur. Haddelene işlemlerinin yapılacağı deneyler için kavramsal olarak farklı ezici özellikleri olan ve aynı altyapı üzerinde çalışabilecek aparat tasarımları yapılmıştır. Haddelene işleminin klasik torna tezgahında yapılabilmesi için haddelenecek parçanın torna aynasına bağlanması haddelene aparatının da torna tezgahının kalemlik bölümüne takılması gerekir bu nedenle aparatın kalemlige uygun ve kater tarzında bir yapıda olması gerekir.

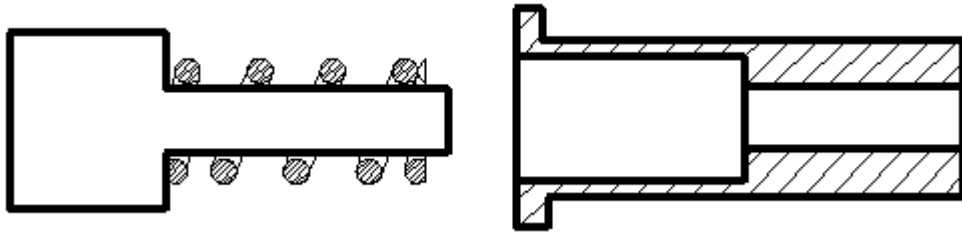


Şekil 4.2. Kavramsal bağlantı elemanı

Torna tezgahında haddelenecek parça için baskı kuvvetinin oluşturulması için ise yay mekanizması kullanılmalıdır. Böylelikle klasik torna tezgahının spot'undan verilen ilerleme ile yay sıkışacak ve daha büyük baskı kuvveti verebilecektir. Bu sayede değişken baskı kuvvetleri oluşturmak mümkün olacaktır.

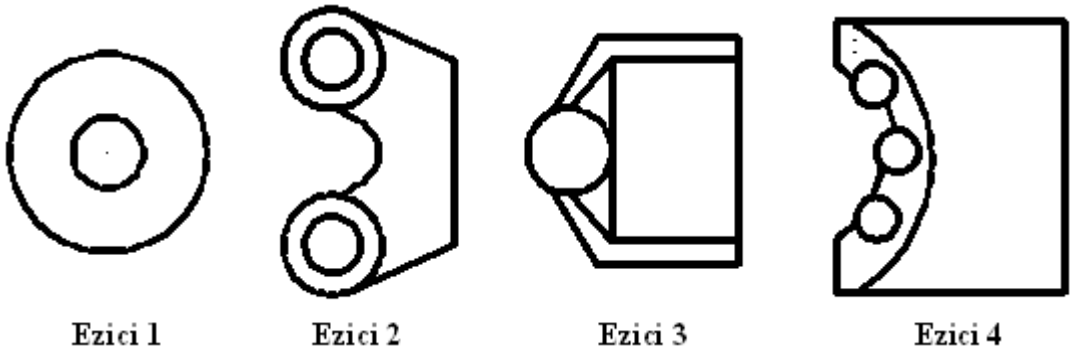


Şekil 4.3. Kavramsal baskı yapısı

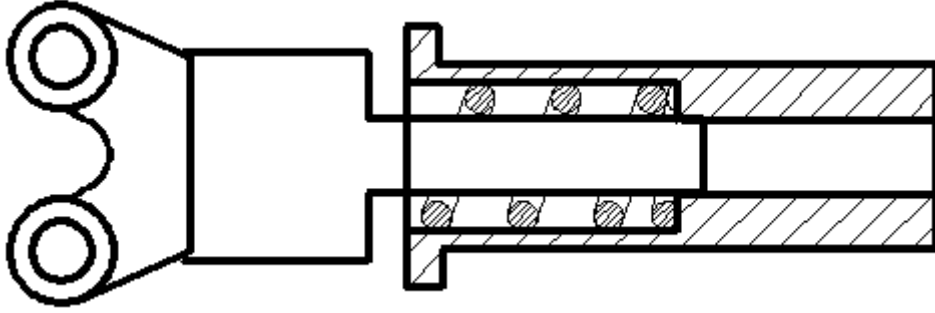


Şekil 4.4. Kavramsal montaj modeli

Haddeleme işlemi için farklı eziciler kullanılacaktır. Bu noktadan ezme işleminin yapılabilmesi için ezici uçun dönme hareketi yapabilecek nitelikte küresel yada dairesel olması gerekir. Kavramsal ezici modelleri şekilde verilmiştir.



Şekil 4.5. Kavramsal ezici modelleri



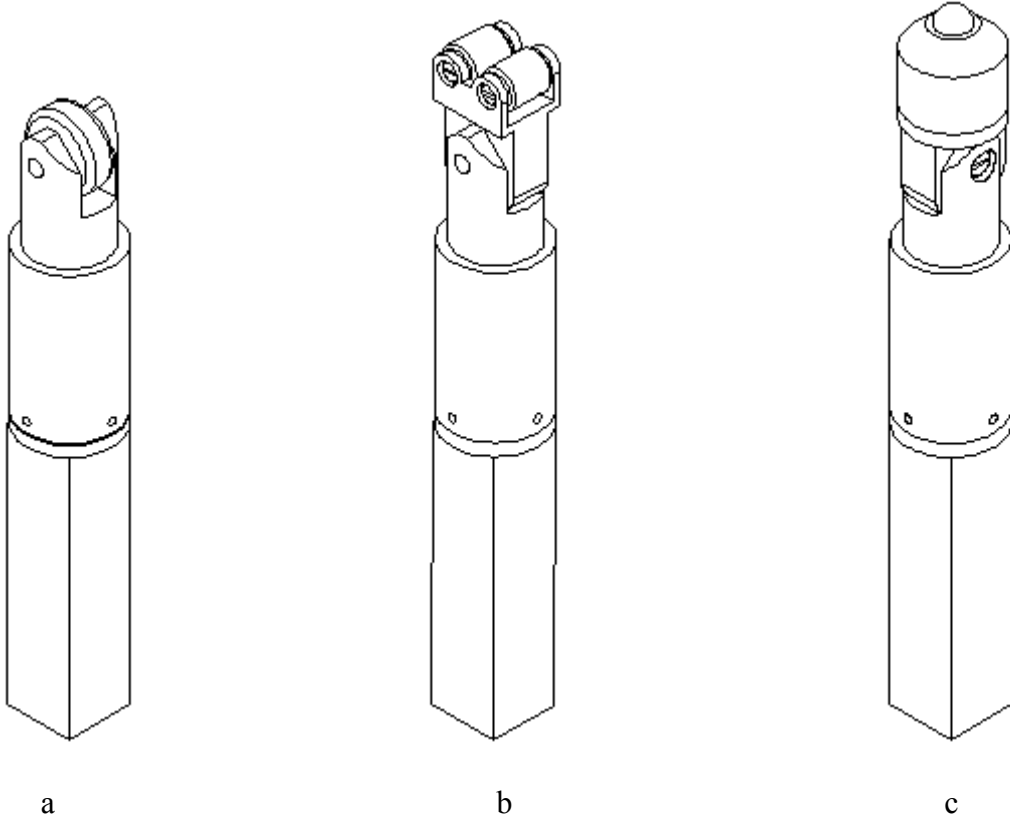
Şekil 4.6. Kavramsal aparat modeli

4.2.2. Haddeleme aparatının detay resimlerinin hazırlanması ve imalatı

Kavramsal tasarım aşamasının ardından haddeleme aparatına ait yapım resimleri yüzey toleransları sertlik değerleri ve şekil konum toleransları dikkate alınarak aparatın ve aparata ait olan üç farklı başlığın imalatı gerçekleştirilmiş ve imalat sonrasında parçaların birbirleriyle olan hareketinin kolaylaştırılması amacı ile alıştırma işlemleri yapılmıştır.

Aparatın tüm montajı ve alıştırma işlemlerinin tamamlanmasının ardından yumuşak malzemelerin üstünde birkaç deneme ile aparatın kavramsal tasarım sonrasında gerçek ortamda kullanılması test edilmiştir. İmalatı yapılan aparatın bu malzemeler üzerinde yapılan deneylerde amacına uygun işlem yaptığı ve tez konusunu oluşturan metal alaşımlar üzerinde etkili olacağı görülmüştür.

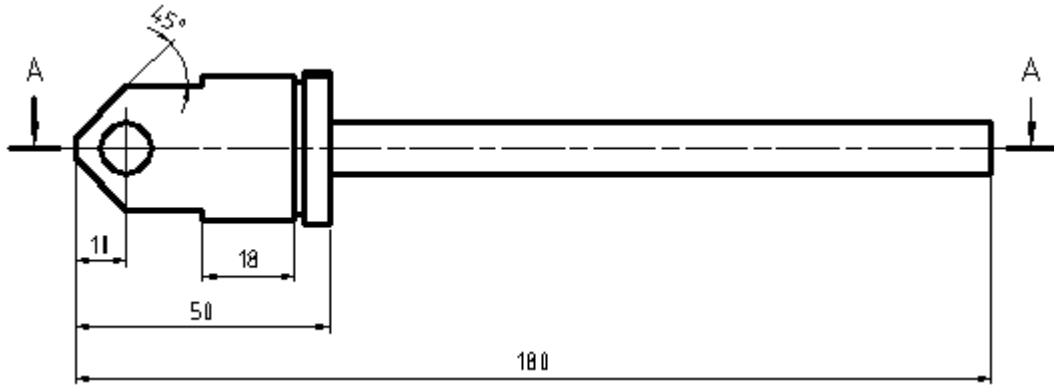
Aparatlar sonraki bölümlerde ifade edilebilmek için sınıflandırılmıştır. Bu bölümden sonra aparat1 tek makaralı aparat olarak, aparat 2 çift makaralı aparat olarak ve aparat 3, bilyeli aparat olarak belirtilecektir.



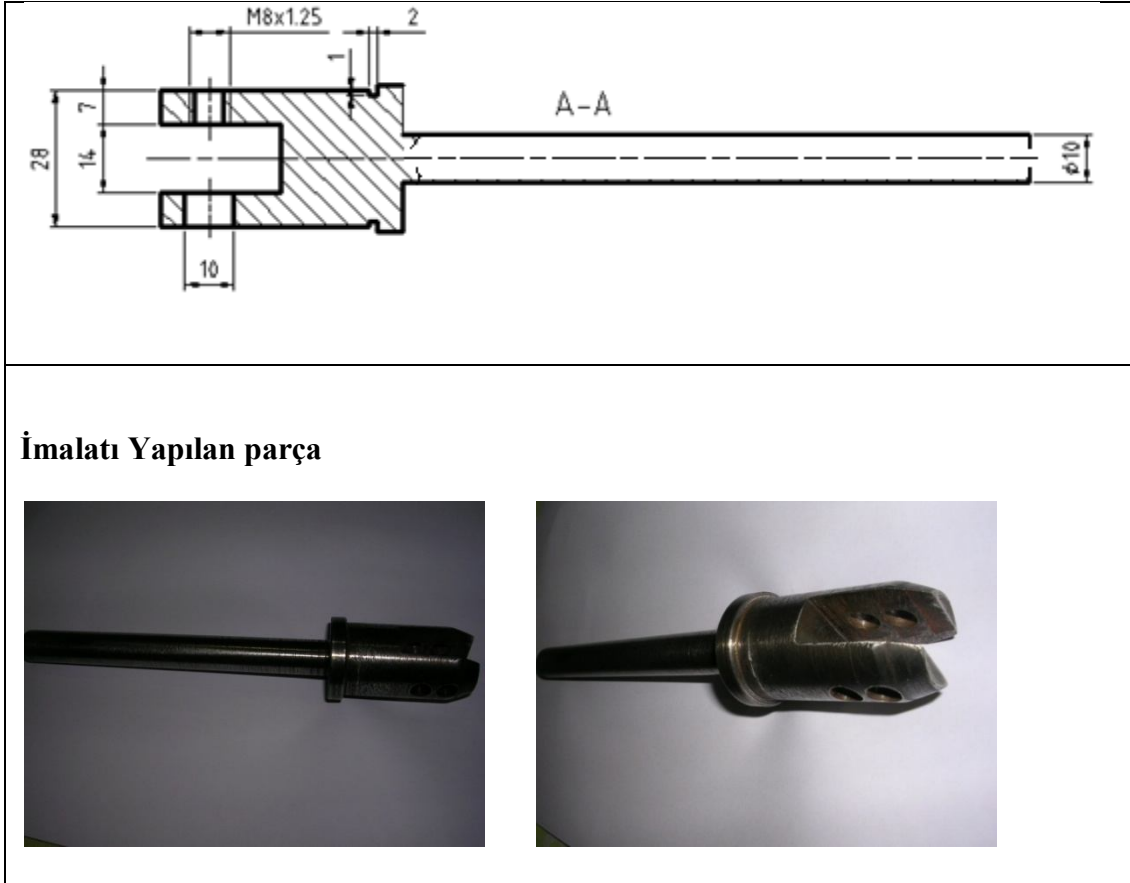
Şekil 4.7. İsimlendirme yapılan aparatlar a)Makaralı aparat b)Çift makaralı aparat c)Bilyeli aparat

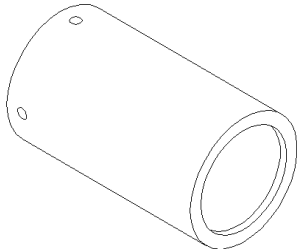
Çizelge 4.1.(Devam) İmalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı parçaları

Parça No	Parça Adı	Malzeme
2	Haddeleme aparatı mili	Ç1060 çelik malzemeden imal edilmiştir. Ç1060 miller, dişli çarklar, Kanca gibi elemanların imalatında kullanılan malzemedir.

Parça Yapım Resmi

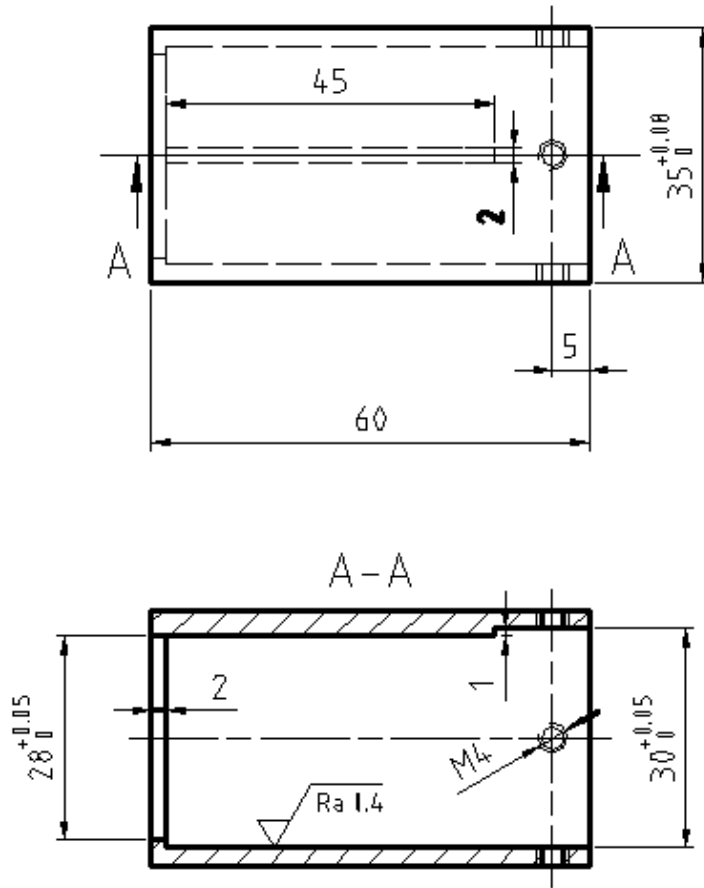
Çizelge 4.1.(Devam) İmalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı parçaları



Parça No	Parça Adı	Malzeme
3	Dış Halka 	Ç1060 çelik malzemedен imal edilmiştir. Ç1060 miller, dişli çarklar, Kanca gibi elemanların imalatında kullanılan malzemedir.

Çizelge 4.1.(Devam) İmalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı parçaları

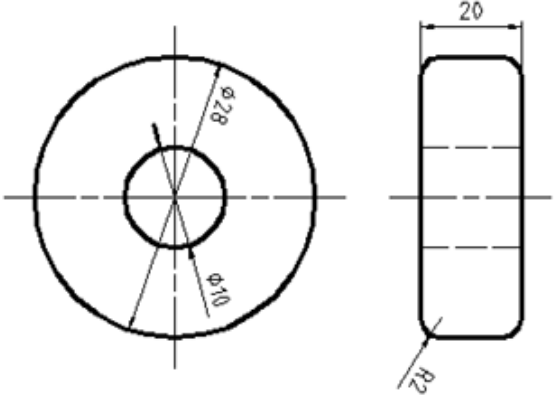
Parça Yapım Resmi



İmalatı Yapılan parça

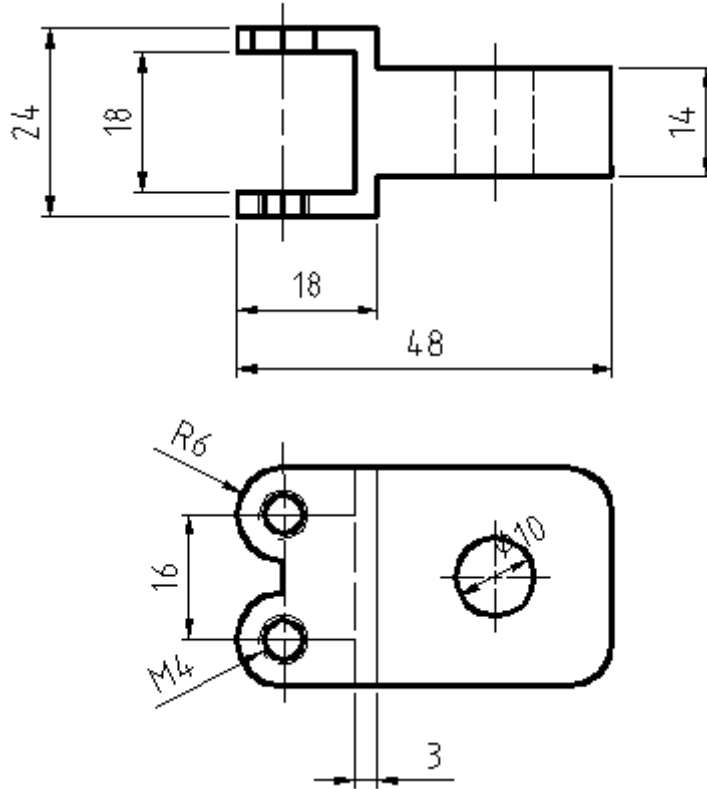


Çizelge 4.1.(Devam) İmalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı parçaları

Parça No	Parça Adı	Malzeme
4	Ezici	100Cr6 krom çelik
Parça Yapım Resmi 		
İmalatı Yapılan parça 		

Çizelge 4.1.(Devam) İmalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı parçaları

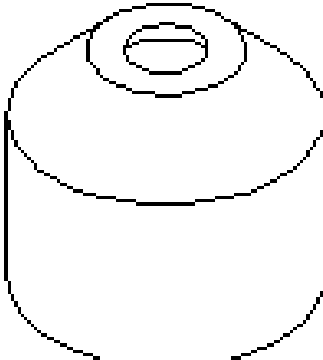
Parça No	Parça Adı	Malzeme
4	Haddeleme aparatı ezici tutma gövdesi	Ç1060 çelik malzemeden imal edilmiştir. Ç1060 miller, dişli çarklar, Kanca gibi elemanların imalatında kullanılan malzemedir.

Parça Yapım Resmi

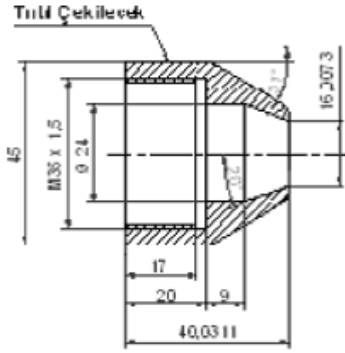
Çizelge 4.1.(Devam) İmalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı parçaları

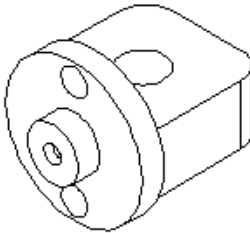
İmalatı Yapılan parça



Parça No	Parça Adı	Malzeme
5	Haddeleme aparatı bilye tutucu 	Ç1060 çelik malzemeden imal edilmiştir. Ç1060 miller, dişli çarklar, Kanca gibi elemanların imalatında kullanılan malzemedir.

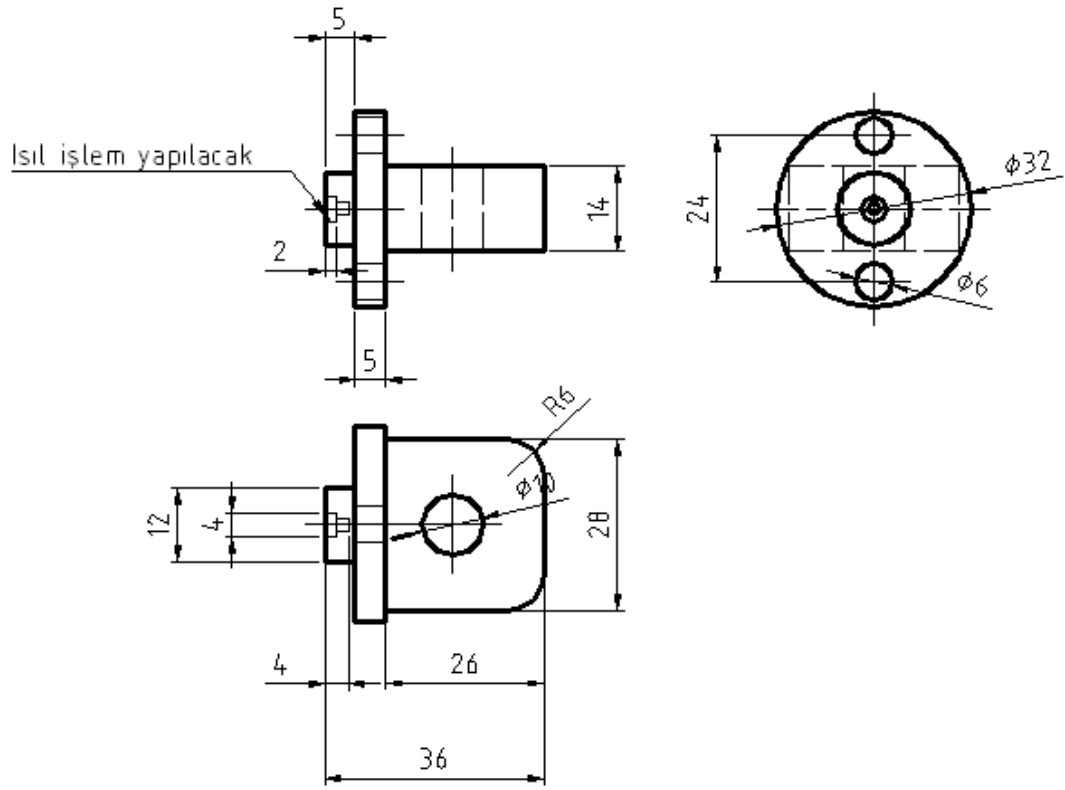
Çizelge 4.1.(Devam) İmalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı parçaları

Parça Yapım Resmi**İmalatı Yapılan parça**

Parça No	Parça Adı	Malzeme
6	Haddeleme aparatı bağlantı parçası 	Ç1060 çelik malzemeden imal edilmiştir. Ç1060 miller, dişli çarklar, Kanca gibi elemanların imalatında kullanılan malzemedir.

Çizelge 4.1.(Devam) İmalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı parçaları

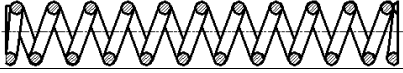
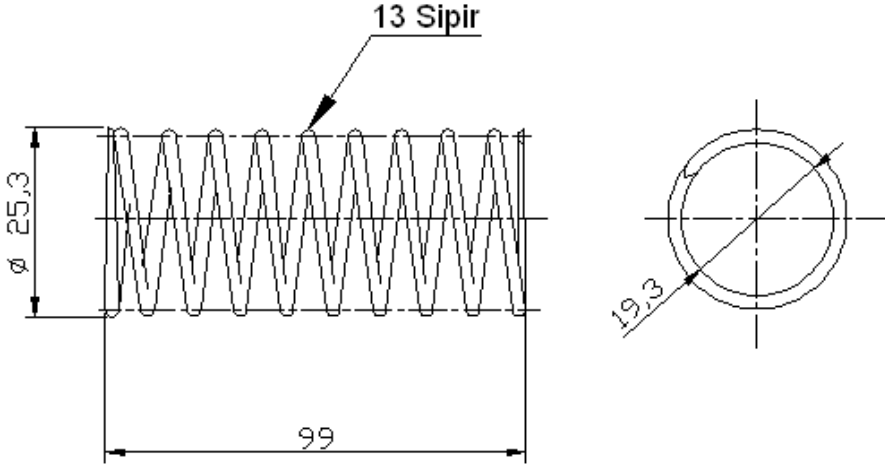
Parça Yapım Resmi



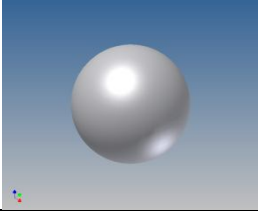
İmalatı Yapılan parça



Çizelge 4.1.(Devam) İmalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı parçaları

Parça No	Parça Adı	Malzeme
6	Haddeleme aparatı basıkı yayı 	Yay Çeliği.
Parça Yapım Resmi Piyasadan hazır olarak alınacaktır. 		
İmalatı Yapılan parça Piyasadan hazır olarak alınmış ve aparata uygun hale getirilmiştir. 		

Çizelge 4.1.(Devam) İmalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı parçaları

Parça No	Parça Adı	Malzeme
6	Haddeleme aparatı bilye 	Hazır.
Parça Yapım Resmi* Piyasadan hazır olarak alınacaktır.		
İmalatı Yapılan parça Piyasadan 16 mm çapında hazır olarak alınmış ve aparata uygun hale getirilmiştir. 		

Aparatın Montajı



Resim 4.1. Çift makaralı aparatın montajı



Resim 4.2. Bilyeli aparatın montajı

4.3. Haddeleme İşleminde Kullanılan Tezgâh Tipi

Haddeleme işlemi için kullanılan torna tezgahı klasik bir universal tornadır. Deneylerde Muş Endüstri Meslek Lisesine ait TOS üniversal torna tezgahı kullanılmıştır.

4.4. Ham Parçaların Yüzey Pürüzlülük ve Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi

Haddeleme işleminin yapılmasından önce haddeleme işleminin etkisini belirleyebilmek için ham parçalarının yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğü değerleri tespit edilmiştir. Bu işlem için parçadan hem yüzey pürüzlülüğü için hemde yüzey sertliği için 5'er adet ölçüm yapılmış ve ortalama yüzey pürüzlülüğü ile ortalama yüzey sertliği değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.2 de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Haddeme işlemine tabi tutulmamış parçalar için yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerleri

	Yapılan Ölçümler					Ortalama Değer
Yüzey pürüzlülüğü (μm)	3,15	3,24	3,16	3,25	3,20	3,20
Yüzey Sertliği (HB30)	139,1	139,3	139,5	139,2	138,9	139,2

4.5. Haddeme (Burnishing) İşleminin Yapılması

Haddeme işleminin yüzey karakteristiklerine olumlu etki yaptığı bilinen bir gerçektir. Bu olumlu etkinin hangi parametrelerin değiştirilmesi ile daha iyi sonuç vereceğine dair yapılan bu çalışmada ilerleme hızı, baskı kuvveti, paso sayısı ve aparat tipi gibi değişkenlerinin etkileri incelenmiştir. Bu parametreler Çizelge 4.3 de görülmektedir. Tablodan da anlaşılacağı gibi bu parametrelerin her seferinde sadece bir tanesi değiştirilerek deneyler yapılacaktır.

Toplam Deney Sayısı: $4 \times 3 \times 3 \times 3 = 108$ 'dir.

Çizelge 4.4. Haddeme işleminde kullanılacak olan parametreler

Baskı Kuvveti (N)	30—50—65—80
İlerleme (mm/dev)	0,12—0,24—0,36
Paso sayısı	1—2—3
Aparat Türü	Aparat 1—Aparat 2—Aparat 3

Torna tezgâh üzerinde yapılacak haddeme deneyleri öncesinde, haddelenecek parçalara uygulanacak baskı kuvvetini (N) ayarlamak için yük ölçer kullanılmıştır. Haddelenecek parça için 30-50-65-80 N baskı kuvvetine eşit olan torna tezgâhı spot ilerleme tespit edilmiştir. Bu değerler tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.5. Haddeme işleminde kullanılacak olan parametreler

Elde Edilecek Kuvvet	Yapılması Gereken Spot İlerlemesi
30 N için	6 mm
50 N için	10 mm
65 N için	12,5 mm
80 N için	15 mm

Torna tezgâhında spot ilerlemesi torna tezgâhının yapısal özelliği dolası ile normal değerin yarısı kadardır diğer bir ifade ile torna tezgâhında spot'dan verilen 1 mm lik ilerleme 0,5 mm'lik ilerlemeye denk gelmektedir. Bu özellikten dolayı spotdan verilen ilerlemeyi Çizelge 4.4 de görülen değerlerin iki katı kadar alınması gerekmektedir.

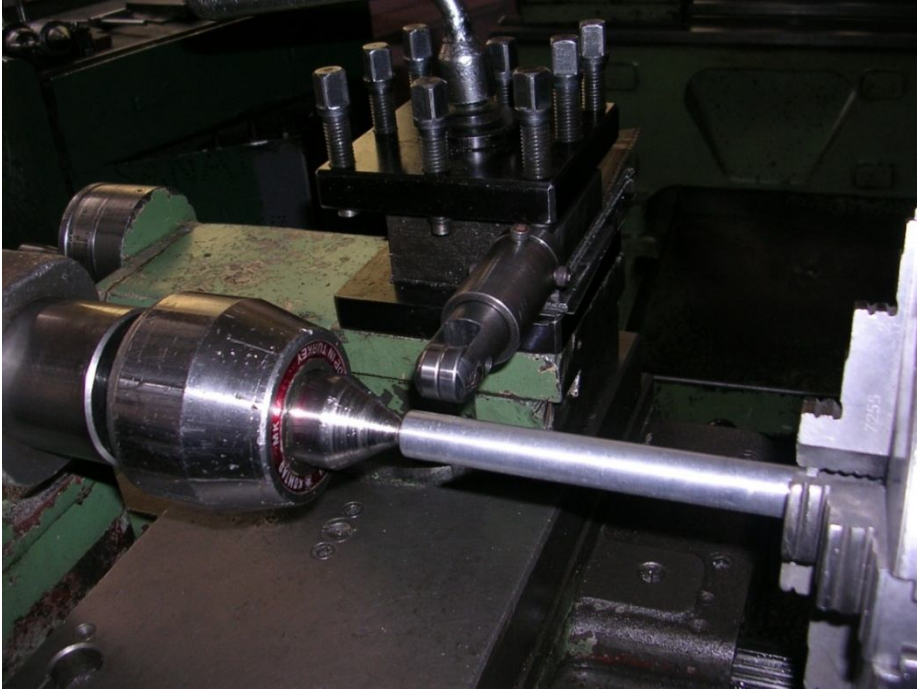
Torna tezgahı üzerinde haddeme işleme geçilerek, kullanılan tüm numuneler kendilerine ait parametrelere göre haddeme (burnishing) işleme tabi tutulmuştur. Torna tezgahının devir sayısı tüm deneylerde 500 dev/dk olarak alınmıştır. Çizelge 4.5 de görüldüğü gibi sırayla haddeme işleme tabi tutulmuştur.

Çizelge 4.6. Haddemelele işleminde kullanılacak parametreler

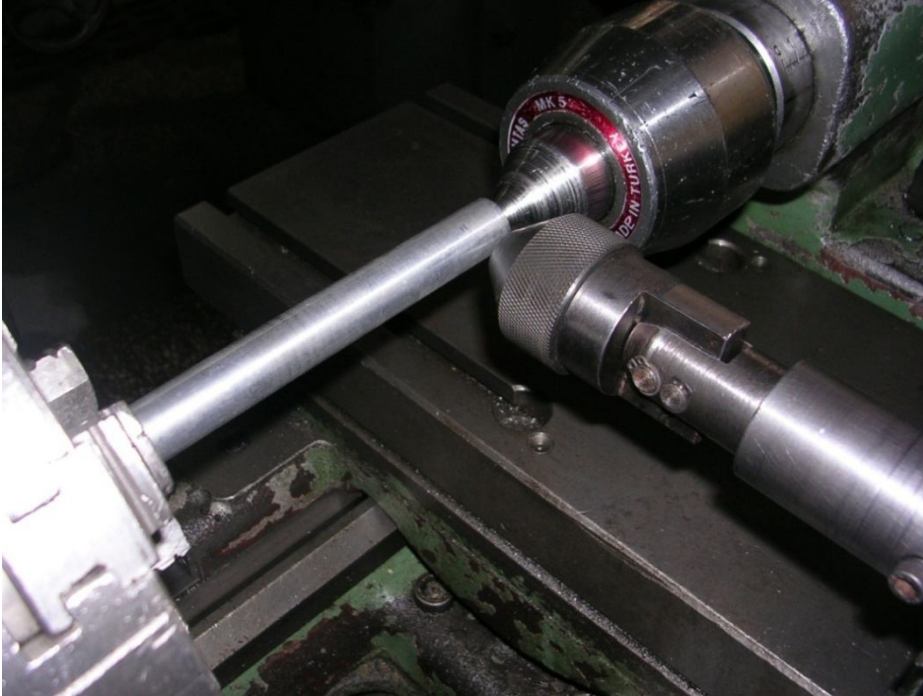
Deney No	İlerleme Miktarı	Baskı Kuvveti Newton	Paso Sayısı
1	0,12	30	1
2	0,12	30	2
3	0,12	30	3
4	0,12	50	1
5	0,12	50	2
6	0,12	50	3
7	0,12	65	1
8	0,12	65	2
9	0,12	65	3
10	0,12	80	1
11	0,12	80	2
12	0,12	80	3
13	0,24	30	1
14	0,24	30	2
15	0,24	30	3
16	0,24	50	1
17	0,24	50	2
18	0,24	50	3

Deney No	İlerleme Miktarı	Baskı Kuvveti Newton	Paso Sayısı
19	0,24	65	1
20	0,24	65	2
21	0,24	65	3
22	0,24	80	1
23	0,24	80	2
24	0,24	80	3
25	0,36	30	1
26	0,36	30	2
27	0,36	30	3
28	0,36	50	1
29	0,36	50	2
30	0,36	50	3
31	0,36	65	1
32	0,36	65	2
33	0,36	65	3
34	0,36	80	1
35	0,36	80	2
36	0,36	80	3

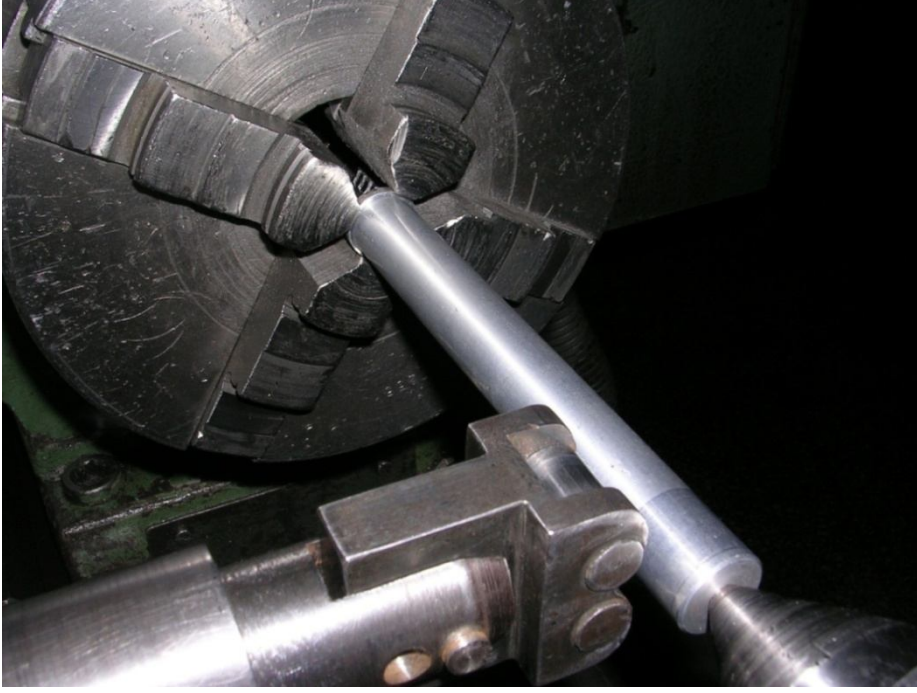
Haddemelele işleminin yapılmasına ait resimler Resim 4.3 ,Resim 4.4 ve Resim 4.5 de gösterilmiştir.



Resim 4.3. Haddemele operasyonunda kullanılan aparat 1 (Makaralı aparat) ile yapılan haddemele işlemi



Resim 4.4. Haddemele operasyonunda kullanılan aparat 3 (Bilyeli aparat) ile yapılan haddemele işlemi



Resim 4.5. Haddeleme operasyonunda kullanılan aparat 3 (Çift Makaralı aparat) ile yapılan haddeleme işlemi

5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE YÜZEY SERTLİĞİ DENEYLERİ

5.1. Deney Kartları

Haddeleme işleminin etkileri için yapılacak deneylere ait parametreler Çizelge 5.1 'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan parametreler

Kuvvet (N)	10—20—30—40
İlerleme (mm/dev)	0,12—0,24—0,36
Paso sayısı	1—2—3
Aparat Türü	Aparat 1—Aparat 2—Aparat 3

Deneyler için yapılacak olan farklı kombinasyon sayısı 108'dir. Bu deneylerin sonucunda yüzeylerde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerleri ölçülerek hazırlanan deney kartlarına işlenmiştir. Her deney numunesinden 3 adet yüzey pürüzlülüğü ve 3 adet yüzey sertliği ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu ölçülen değerlerin ortalaması alınarak o deney numunesinin belirlenen işleme şartlarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerlerine ulaşılmıştır. Dolayısıyla 108 deney için 324 yüzey pürüzlülük değeri ve 324 yüzey sertliği değeri ölçümü yapılmıştır. Bu sonuçların değerlendirmesi yapılarak deney parametresi olarak kullanılan değişkenlerin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğine hangi oranlarda ve ne şekilde etki ettikleri sonucuna yorumlama aşamasında ulaşılmaya çalışılmıştır.

Deneyler gerçekleştirilirken her deney için ayrı olarak oluşturulan deney numune kartlarından faydalanılmıştır. Deney numune kartlarına örnek Çizelge 5.2'de verilmiştir. Bu kartlar deneyler esnasında kullanılacak parametreleri üzerlerinde taşımaktadırlar. Her numune tezgahta haddeleme işlemine tabi tutulduktan sonra deney numune no olarak anılan rakam o deney malzemesine işlenmiştir. Sonrasında o deney malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerleri gerekli ölçüm aletleri ile ölçüldükten sonra yine bu kartlara işlenmiştir.

Çizelge 5.2. Örnek deney kartı

Deney Numune No	-	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Yüzey Sertliği (HB30)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	Ortalama Yüzey Sertliği
İlerleme Hızı (mm/dev)	-	---	---	---	---
Kuvvet (N)	-	---	---		
Paso Sayısı :	-	---	---		
Aparat No :	-	---	---		

5.2. Yüzey Sertliği ve Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Tespiti İçin Ölçümlerin Yapılması

Haddeleme işleminin etkisinin ve bu etkinin parametrelerce hangi yönde etkilendiğinin tespiti için yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğünde haddeleme işlemi öncesi ve sonrası ölçümler yapılmıştır. Haddeleme işlemi öncesinde yapılan ölçümler ham verileri oluşturmaktadır. Haddeleme sonrası veriler ise değişimi gösterecektir.

Yüzey pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliği ölçümlerinde kullanılan ölçüm cihazları Şekil 5.2 de görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için MITUTOYO SURFTEST SJ-201 taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey sertliği ölçümleri için ise üniversite bünyesindeki ölçüm laboratuvarında bulunan DIGIROCK-RBOV Digital Sertlik Ölçme Cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde R_a μm değeri kullanılmıştır. Yüzey sertliği ölçümlerinde sertlik ölçüm cihazının ölçtüğü sertlik değerleri değiştirilmeden kullanılmıştır. Bu yüzey sertlik değerleri Rockwell sertlik türünde Superficial Modta 1/16" küresel batma tipinde ve 15 T işlem türünde yapılmıştır. Yapılan ölçümler Brinell (HB30) sertlik birimine çevirilmiştir.



Şekil 5.2. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği ölçüm cihazları

5.3. Deney Sonuçlarından Elde Edilen Yüzey Pürüzlülüğü Ve Yüzey Sertliği Değerlerinin Ölçümü Ve Kartlara İşlenmesi

Deneyler sonrasında ölçüm cihazlarıyla yapılan ölçümlerin deney sonuçlarının deney kartlarına nasıl işlendiğine dair örnekler Çizelge 5.3-5.8’ de verilmiştir. Burada tüm deney kartlarını vermek yerine örnek altı deney kartı gösterilmiştir. Tüm deney sonuçları Çizelge 5.9 de görülebilir.

Çizelge 5.3. Bir numaralı parça için ölçüm sonuçları

Deney Numune No	1	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Yüzey Sertliği (HB30)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	Ortalama Yüzey Sertliği
İlerleme Hızı (mm/dev)	0,12	1,48	173,6	1,503	173,6
Kuvvet (N)	30	1,49	173,7		
Paso Sayısı :	1	1,54	173,5		
Aparat No :	1				

Çizelge 5.4. İki numaralı parça için ölçüm sonuçları

Deney Numune No	2	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Yüzey Sertliği (HB30)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	Ortalama Yüzey Sertliği
İlerleme Hızı (mm/dk)	0,12	0,81	183,2	0,823	188,3
Kuvvet (N)	30	0,87	183,6		
Paso Sayısı :	2	0,79	183,1		
Aparat No :	1				

Çizelge 5.5. Üç numaralı parça için ölçüm sonuçları

Deney Numune No	3	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Yüzey Sertliği (HB30)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	Ortalama Yüzey Sertliği
İlerleme Hızı (mm/dk)	0,12	0,70	171	0,733	171,4
Kuvvet (N)	30	0,79	171,6		
Paso Sayısı :	3	0,71	171,6		
Aparat No :	1				

Çizelge 5.6. Beş numaralı parça için ölçüm sonuçları

Deney Numune No	4	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Yüzey Sertliği (HB30)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	Ortalama Yüzey Sertliği
İlerleme Hızı (mm/dev)	0,12	1,11	170,9	1,147	171,2
Kuvvet (N)	50	1,14	171,3		
Paso Sayısı :	1	1,19	171,4		
Aparat No :	1				

Çizelge 5.7. Beş numaralı parça için ölçüm sonuçları

Deney Numune No	5	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Yüzey Sertliği (HB30)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	Ortalama Yüzey Sertliği
İlerleme Hızı (mm/dev)	0,12	0,83	195,4	0,867	195,3
Kuvvet (N)	50	0,86	195,1		
Paso Sayısı :	2	0,91	195,4		
Aparat No :	1				

Çizelge 5.8. Altı numaralı parça için ölçüm sonuçları

Deney Numune No	6	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Yüzey Sertliği (HB30)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	Ortalama Yüzey Sertliği
İlerleme Hızı (mm/dev)	0,12	0,53	195,3	0,587	195,3
Kuvvet (N)	50	0,61	195,1		
Paso Sayısı :	3	0,62	195,5		
Aparat No :	1				

Çizelge 5.9. Deneyler sonucunda elde edilen ölçüm değerleri

Deney No	İlerleme Miktarı	Baskı Kuvveti	Paso Sayısı	Aparat No	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Ortalama Yüzey Sertliği (HB30)
1	0,12	30	1	1	1,503	173,60
2	0,12	30	2	1	0,823	188,33
3	0,12	30	3	1	0,733	171,40
4	0,12	50	1	1	1,147	171,20
5	0,12	50	2	1	0,867	195,33
6	0,12	50	3	1	0,587	195,33
7	0,12	65	1	1	0,713	181,00
8	0,12	65	2	1	0,867	171,80
9	0,12	65	3	1	0,703	198,00
10	0,12	80	1	1	0,750	201,33
11	0,12	80	2	1	1,043	194,33
12	0,12	80	3	1	0,760	197,00
13	0,24	30	1	1	1,793	172,00
14	0,24	30	2	1	1,193	174,13
15	0,24	30	3	1	1,743	162,93
16	0,24	50	1	1	1,873	176,27
17	0,24	50	2	1	1,403	182,00
18	0,24	50	3	1	1,467	160,00
19	0,24	65	1	1	2,130	157,00
20	0,24	65	2	1	1,260	171,60
21	0,24	65	3	1	1,487	184,67
22	0,24	80	1	1	1,427	175,73
23	0,24	80	2	1	1,557	180,67
24	0,24	80	3	1	1,563	175,73
25	0,36	30	1	1	1,873	166,20
26	0,36	30	2	1	1,210	182,00
27	0,36	30	3	1	1,273	173,07
28	0,36	50	1	1	1,630	175,20
29	0,36	50	2	1	1,420	165,73
30	0,36	50	3	1	1,307	160,00
31	0,36	65	1	1	1,560	153,80
32	0,36	65	2	1	1,150	169,80
33	0,36	65	3	1	1,407	174,13
34	0,36	80	1	1	1,303	169,80
35	0,36	80	2	1	1,487	183,67
36	0,36	80	3	1	2,110	180,67
37	0,12	30	1	2	1,923	172,00

Çizelge 5.9. (Devam) Deneyler sonucunda elde edilen ölçüm değerleri

38	0,12	30	2	2	1,683	192,00
39	0,12	30	3	2	1,100	163,13
40	0,12	50	1	2	1,533	168,53
41	0,12	50	2	2	0,907	165,73
42	0,12	50	3	2	1,187	171,40
43	0,12	65	1	2	1,173	161,00
44	0,12	65	2	2	1,710	166,67
45	0,12	65	3	2	1,730	153,80
46	0,12	80	1	2	2,260	165,27
47	0,12	80	2	2	1,633	164,80
48	0,12	80	3	2	1,703	168,07
49	0,24	30	1	2	2,120	171,80
50	0,24	30	2	2	1,783	169,00
51	0,24	30	3	2	2,050	167,60
52	0,24	50	1	2	1,937	161,60
53	0,24	50	2	2	1,873	161,60
54	0,24	50	3	2	1,583	161,20
55	0,24	65	1	2	1,847	156,60
56	0,24	65	2	2	1,777	172,00
57	0,24	65	3	2	2,003	168,07
58	0,24	80	1	2	1,957	163,40
59	0,24	80	2	2	1,637	170,60
60	0,24	80	3	2	2,003	174,13
61	0,36	30	1	2	2,643	159,80
62	0,36	30	2	2	2,037	169,00
63	0,36	30	3	2	1,930	161,40
64	0,36	50	1	2	1,750	170,60
65	0,36	50	2	2	1,980	170,40
66	0,36	50	3	2	1,997	168,07
67	0,36	65	1	2	1,947	168,53
68	0,36	65	2	2	2,530	160,60
69	0,36	65	3	2	2,620	170,40
70	0,36	80	1	2	1,843	155,80
71	0,36	80	2	2	2,143	163,40
72	0,36	80	3	2	2,060	169,60
73	0,12	30	1	3	1,613	200,00
74	0,12	30	2	3	1,877	171,80
75	0,12	30	3	3	0,630	184,67
76	0,12	50	1	3	0,750	181,67
77	0,12	50	2	3	0,733	180,33
78	0,12	50	3	3	0,733	187,00

Çizelge 5.9. (Devam) Deneyler sonuçunda elde edilen ölçüm değerleri

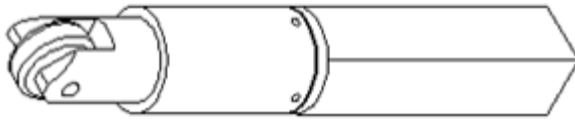
79	0,12	65	1	3	0,423	188,33
80	0,12	65	2	3	0,660	188,33
81	0,12	65	3	3	0,517	185,67
82	0,12	80	1	3	0,777	182,67
83	0,12	80	2	3	0,743	197,67
84	0,12	80	3	3	0,463	200,67
85	0,24	30	1	3	1,290	172,53
86	0,24	30	2	3	1,450	165,27
87	0,24	30	3	3	1,603	171,40
88	0,24	50	1	3	0,990	191,00
89	0,24	50	2	3	0,700	190,33
90	0,24	50	3	3	0,773	193,67
91	0,24	65	1	3	0,953	183,33
92	0,24	65	2	3	0,913	183,67
93	0,24	65	3	3	0,743	195,33
94	0,24	80	1	3	0,823	199,67
95	0,24	80	2	3	0,847	202,00
96	0,24	80	3	3	0,697	196,00
97	0,36	30	1	3	1,827	177,33
98	0,36	30	2	3	0,887	177,87
99	0,36	30	3	3	0,740	163,87
100	0,36	50	1	3	0,977	182,33
101	0,36	50	2	3	1,047	183,33
102	0,36	50	3	3	0,933	182,00
103	0,36	65	1	3	1,057	180,33
104	0,36	65	2	3	0,680	181,00
105	0,36	65	3	3	0,867	191,00
106	0,36	80	1	3	0,953	191,67
107	0,36	80	2	3	0,753	184,00
108	0,36	80	3	3	0,717	185,00

6. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN GENEL DEĞERLENDİRMESİ

Deney sonuçlarını yorumlarken veriler gruplandırılarak yapılması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Tasarımı farklı şekilde yapılmış üç aparatta aynı şartlar ve parametreler altında farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır bu durum aparatlarının önce tüm parametreler için teker teker yorumlanmasını daha sonra aparatlarının kendi aralarında kıyaslanmasının gerekliliğini göstermektedir. Deneylerde kullanılan üç farklı aparat için üç farklı parametre uygulanmıştır. Bu parametreler İlerleme Hızı, Baskı Kuvveti ve Paso sayısıdır. Üç farklı değişkenin yüzey pürüzlülüğüne ve yüzey sertliğine olan etkisini daha iyi görebilmek için ikili gruplara ayrılmış ve bu ikili gruplardan çıkan veriler hem yüzey pürüzlülüğü hem de yüzey sertliği açısından değerlendirilmiştir. Bu sonuç bizi her aparat için 6 farklı değerlendirme yapılmasının zorunluluğuna götürmektedir.

Her aparat için İlerleme hızı ve Baskı kuvvetinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliği üzerindeki etkisi, İlerleme hızı ve Paso Sayısının Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliği üzerindeki etkisi, Baskı Kuvveti ve Paso Sayısının Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliği üzerindeki etkisinin değerlendirmeleri yapılacaktır. Parametrelerinin gruplanarak değerlendirilmesinin ardından aparatların kendi aralarında aynı şartlar altındaki deneylerin Yüzey Pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ve Yüzey Sertliği üzerindeki etkisi de incelenecektir. Deneylerin tamamı 500 dev/dk devir hızında yapılmıştır.

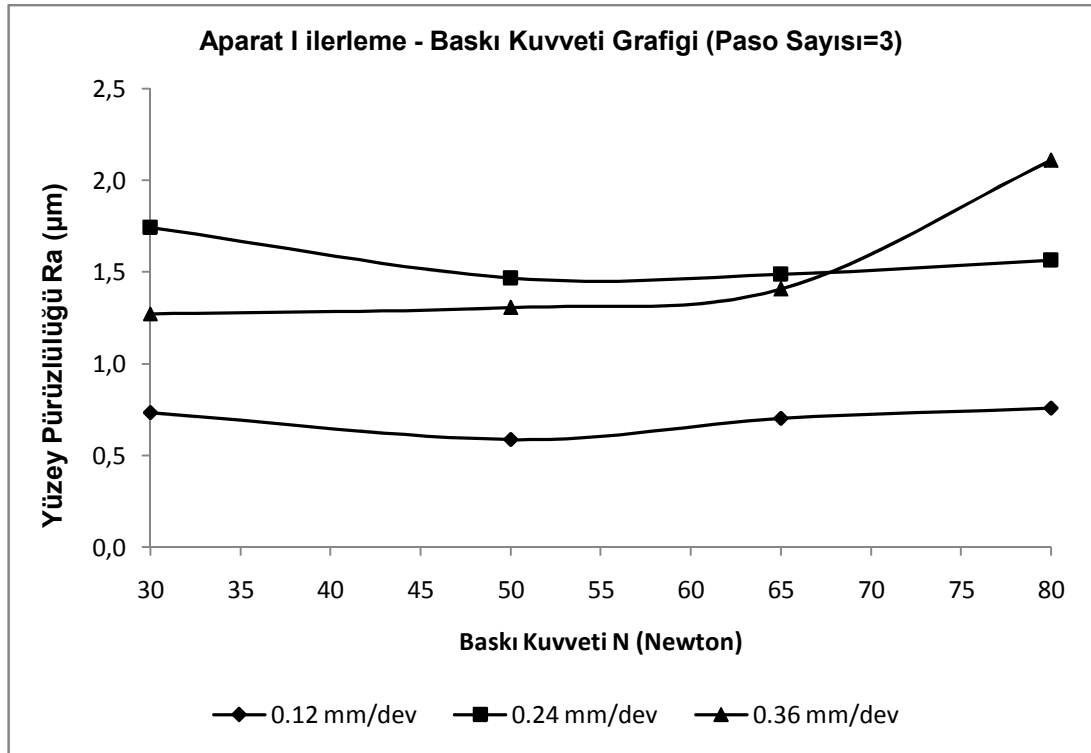
6.1. Makaralı Aparat İçin Sonuçların Değerlendirilmesi



Şekil 6.1. Makaralı aparat

6.1.1. İlerleme ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri

Bu inceleme sırasında makaralı aparat için ilerleme hızı ve Baskı kuvveti değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve diğer değişken olan paso sayısı sabit tutulmuştur. Şekil 6.2’de paso sayısı=3 iken yüzey pürüzlülüğü etkisi gözlenmektedir. Şekilde 3 farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler kullanılmıştır.



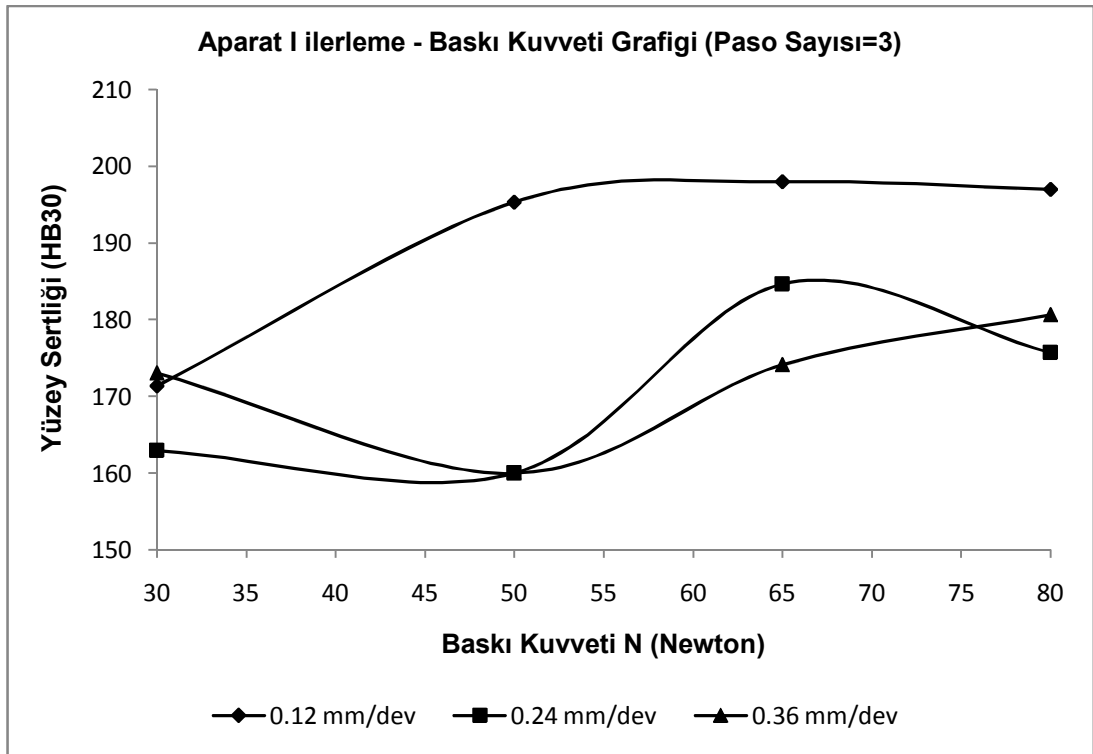
Şekil 6.2. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Paso sayısının üç paso olarak alındığı bu deney ölçümlerinde malzeme yüzeyindeki esas etkiyi ilerleme miktarının verdiği görülmektedir. Tabloda yüksek ilerleme hızlarının bazı noktalarda daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu durumun yüksek ilerleme hızlarında aparatın sıvama işlemi de yapmasının bir nedeni olduğu düşünülmektedir. Şekil 6.2’de baskı kuvvetlerinin etkisi incelendiğinde ise genel olarak belirli bir baskı kuvveti değerine kadar malzemenin yüzeyinin iyileştiği ve yüzey kalitesinin arttığı görülmektedir. Bu deney seti için 50-65 N baskı kuvvetinden

sonra ise deney parçalarının yüzeylerinde bozulmalar meydana gelmektedir. Bu sonuç literatürle’de örtüşmektedir.

6.1.2 İlerleme ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğinin üzerindeki etkisi

Bu inceleme sırasında makaralı aparat için ilerleme hızı ve Baskı kuvveti değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve diğer değişken olan paso sayısı sabit alınmıştır. Grafikte paso sayısı=3 iken yüzey sertliğindeki etkisi gözlenmektedir. Şekil 6.3’de görülmekte olan 3 farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.



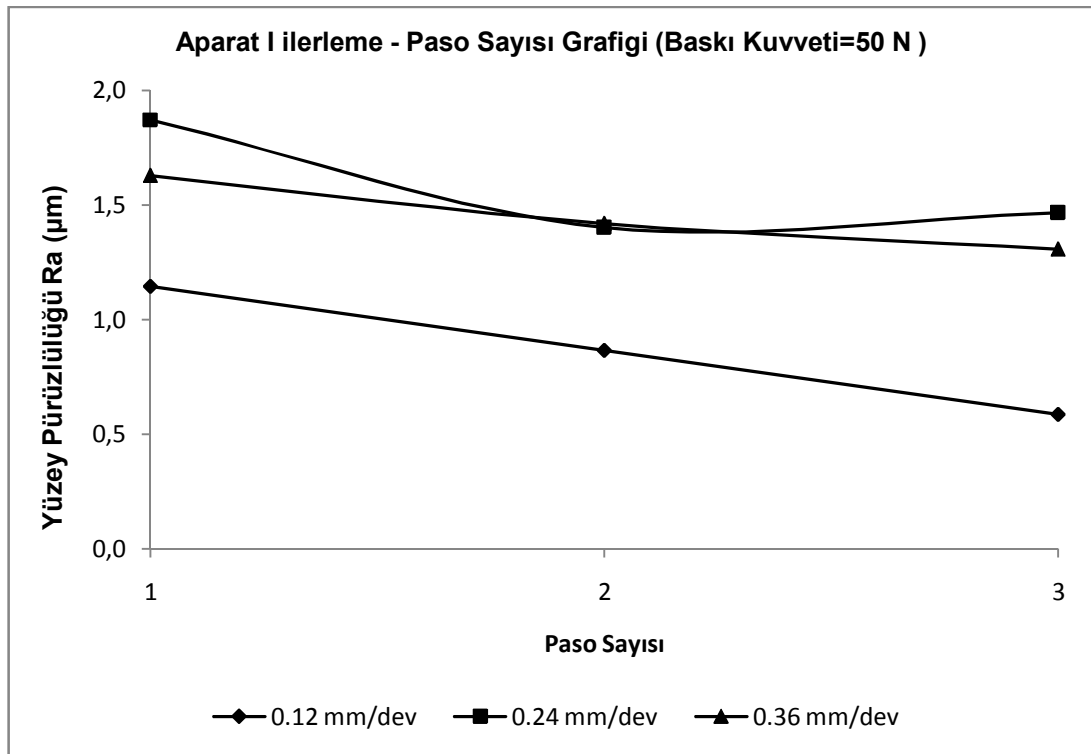
Şekil 6.3. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

Paso sayısının 3 paso olarak uygulandığı bu deney setinde düşük ilerleme hızlarının yüzey sertliğine etkisi tekrar gözlenmektedir. Düşük ilerleme hızlarında malzemenin yüzey sertliği belirgin şekilde artarken daha yüksek ilerleme hızlarında malzeme yüzeyindeki sertlik artışı sınırlı kalmaktadır. Baskı kuvveti temel alınarak yapılan

incelemelerde ise baskı kuvvetinin artmasının yüzey sertliğini artırdığı görülmektedir.

6.1.3 İlerleme ve paso sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Bu inceleme sırasında makaralı aparat için ilerleme hızı ve Paso sayısı değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve diğer değişken olan baskı kuvveti sabit alınmıştır. Şekil 6.4’de baskı kuvveti 50 N alınmış ve bu durumda parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir.



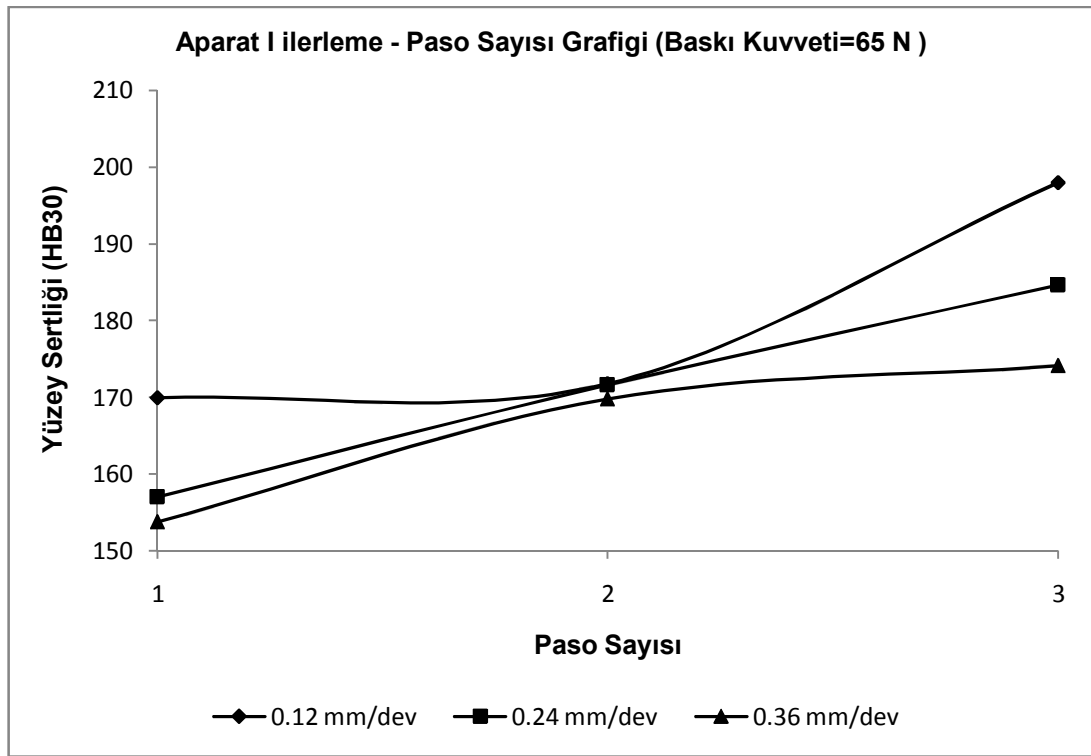
Şekil 6.4. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Baskı kuvvetinin sabit olarak belirlendiği bu deney setinde paso sayısının artmasının yüzey pürüzlülüğünü kademeli olarak düşürdüğü gözlenmektedir. Artan paso sayısının yüzey kalitesini arttırdığı öngörülmektedir. İlerleme hızının ise düşük olduğu deneylerde daha iyi sonuçların alınması düşük ilerleme hızının daha iyi yüzey kalitesine ulaştırdığı düşünülmektedir. Yüksek ilerleme hızlarında aparatının sıvama

işlemi yaptığı ve bunun sonucunda daha iyi yüzey kalitesine ulaşıldığı düşünülmektedir.

6.1.4 İlerleme hızı ve paso sayısının yüzey sertliğine etkisi

Bu inceleme sırasında makaralı aparat için ilerleme hızı ve Paso sayısı değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve diğer değişken olan baskı kuvveti değeri sabit alınmıştır. Şekil 6.5’de baskı kuvveti 65 N alınmış ve bu durumdaki yüzey sertliğindeki etkisi gözlenmektedir.

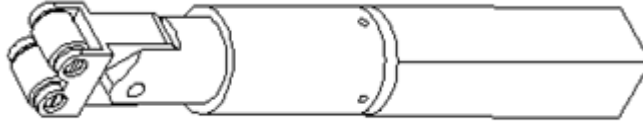


Şekil 6.5. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

Baskı kuvvetinin sabit olarak belirlendiği bu deney setinde paso sayısının artmasının yüzey sertliğine olumlu etki yaptığı gözlenmektedir. Artan paso sayısının yüzey sertliğini arttırdığı öngörülmektedir. İlerleme hızının küçük olduğu deneylerde ilerleme hızının yüksek olduğu deneylere kıyasla daha iyi sonuçlar alınmıştır. Bu

durumda düşük ilerleme hızının daha iyi yüzey kalitesine ulaştırdığı öngörülmektedir.

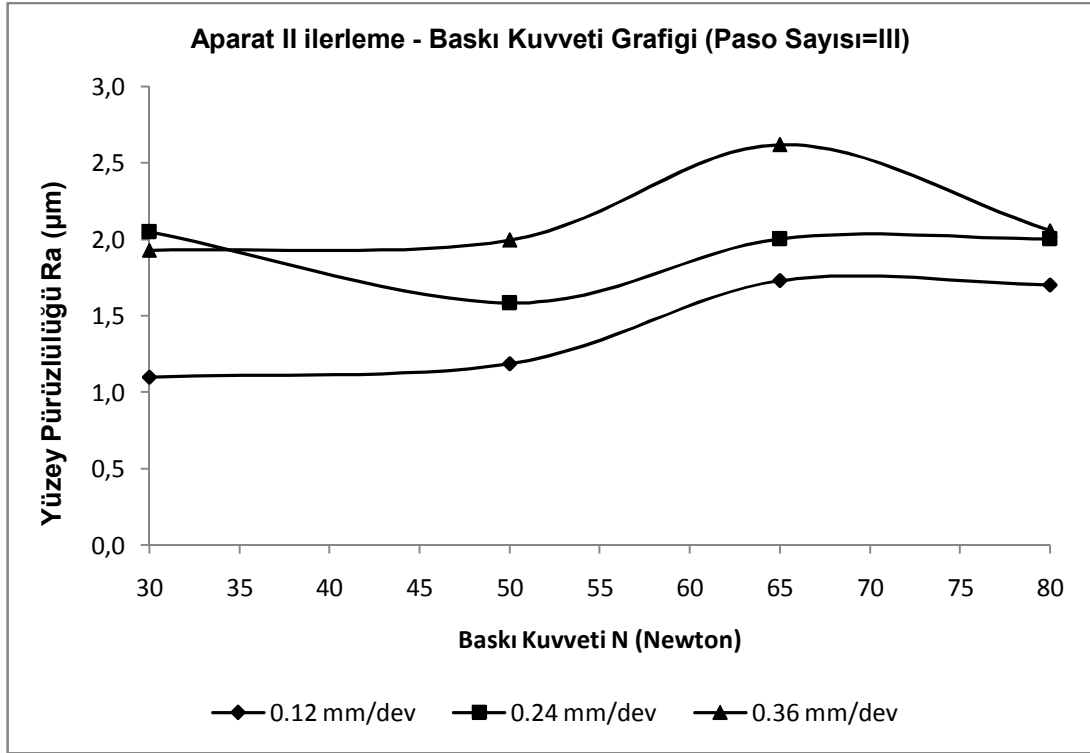
6.2. Çift Makaralı Aparat İçin Sonuçların Değerlendirilmesi



Şekil 6.6. Çift makaralı aparat

6.2.1. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Bu inceleme sırasında çift makaralı aparat için ilerleme hızı ve Baskı kuvveti değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve diğer değişken olan paso sayısı sabit tutulmuştur. Şekil 6.7’de paso sayısı 3 iken yüzey pürüzlülüğü etkisi gözlenmektedir. Şekil 6.7’de görülmekte olan 3 farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.

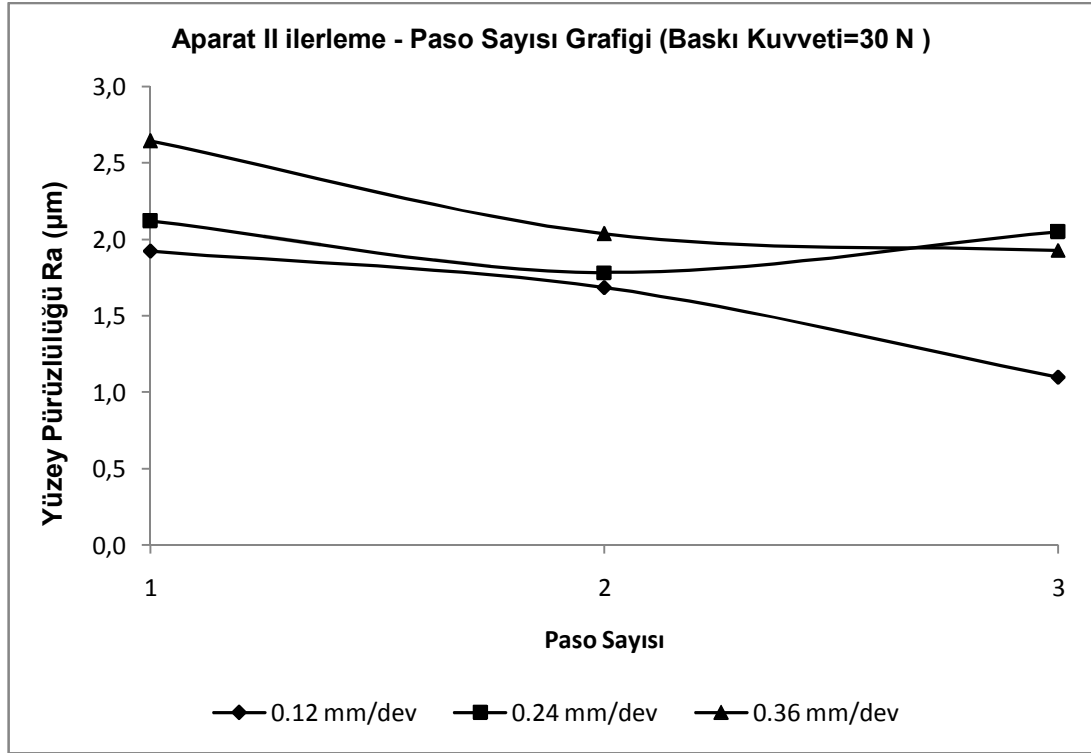


Şekil 6.7. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Paso sayısının sabit olarak belirlendiği bu deney setinde baskı kuvvetinin artmasının yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki yaptığı gözlenmektedir. Artan baskı kuvvetinin yüzey kalitesini arttırdığı görülmektedir. İlerleme hızının ise küçük olduğu deneylerde daha iyi sonuçların alınması düşük ilerleme hızının daha iyi yüzey kalitesine ulaştırdığı söylenebilir. Bu sonuçlar literatürde bulunan bilgilerle paralellik göstermektedir.

6.2.2. İlerleme hızı ve paso sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Bu inceleme sırasında çift makaralı aparat için ilerleme hızı ve Paso sayısı değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve diğer değişken olan baskı kuvveti sabit tutulmuştur. Şekil 6.8’de baskı kuvveti 30 N iken yüzey pürüzlülüğü etkisi gözlenmektedir.

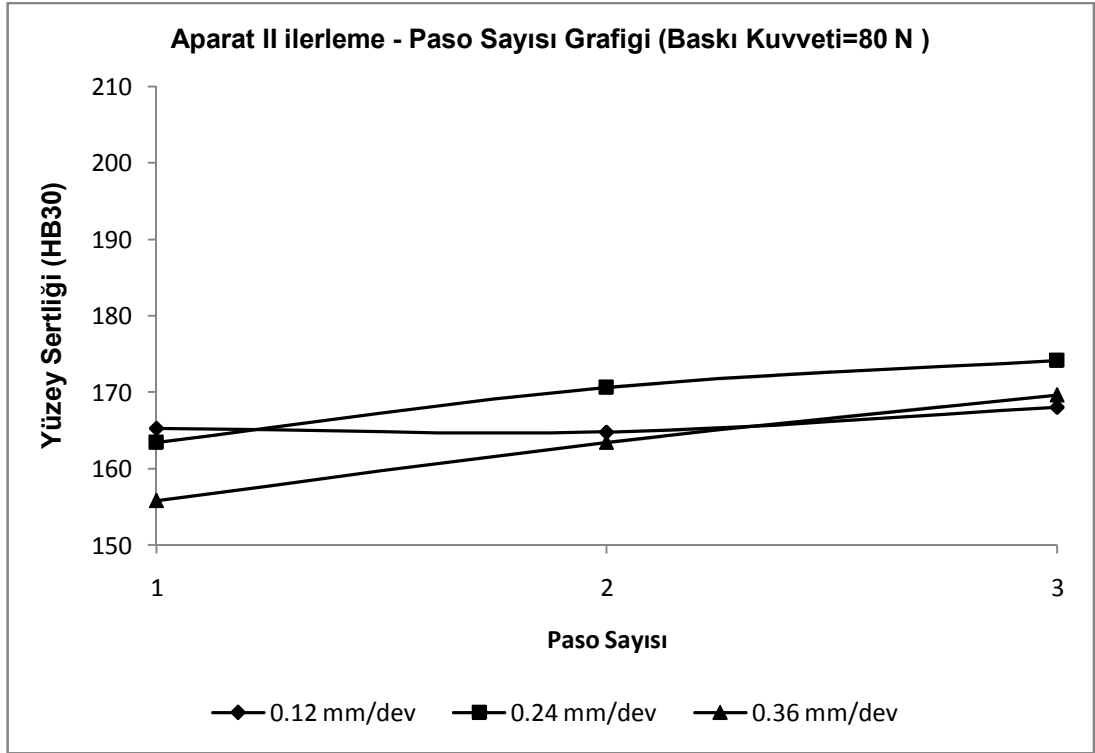


Şekil 6.8. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Baskı kuvvetinin sabit olarak alındığı deneylerde paso sayısının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğünde azalma olduğu gözlenmektedir. Bu durumda paso sayısının arttığı deneylerde daha iyi yüzey pürüzlülüğüne ulaşıldığı görülmektedir. İlerleme hızının ise küçük olduğu deneylerde daha iyi sonuçların alınması düşük ilerleme hızının daha iyi yüzey kalitesine ulaştırdığı ortaya çıkmaktadır.

6.2.3. İlerleme hızı ve paso sayısının yüzey sertliğine etkisi

Bu inceleme sırasında çift makaralı aparat için ilerleme hızı ve Paso sayısı değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve diğer değişken olan baskı kuvveti sabit tutulmuştur. Grafikte baskı kuvveti 80 N iken yüzey pürüzlülüğü etkisi gözlenmektedir. Şekil 6.9'da görülmekte olan 3 farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.

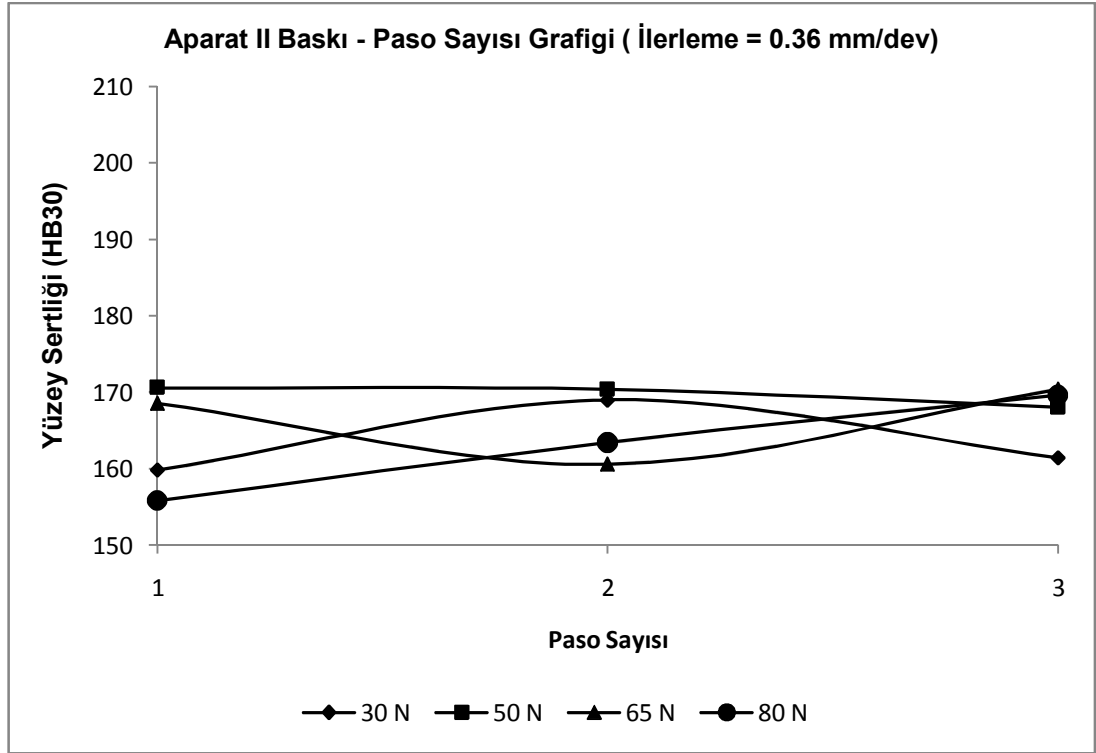


Şekil 6.9. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

Deneylerin oluşturduğu grafikler incelendiğinde baskı kuvvetinin sabit olarak alınmıştır. Deneylerde paso sayısının artması ile birlikte yüzey sertliğinde artış olduğu gözlenmektedir. Bu durumda paso sayısının arttığı deneylerde daha iyi yüzey sertliğine ulaşıldığı öngörülmektedir. İlerleme hızının ise deneylerde kullanılan baskı kuvveti değerinde doğrudan sonucu etkilemediği söylenebilir.

6.2.4. Baskı kuvveti ve paso sayısının yüzey sertliğine etkisi

Bu inceleme sırasında çift makaralı aparat için baskı kuvveti ve Paso sayısı değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve diğer değişken olan ilerleme hızı sabit tutulmuştur. Şekil 6.10'da ilerleme hızı 0,36 mm/dev iken yüzey sertliğine etkisi gözlenmektedir. Şekil 6.10'da görülmekte olan 3 farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.



Şekil 6.10. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

Grafiklerde ilerleme hızı sabit tutulmuş ve artan baskı kuvvetlerinde yüzey sertliğine etkisi incelenmiştir. Deneylerde paso sayısının artması ile birlikte baskı kuvvetinin deney parçaları üzerinde belirgin etki oluşturmadığı düşünülmektedir. Burada uygulanan baskı kuvvetinin de parça yüzeyine etkisinin az olduğu ve daha büyük baskı kuvvetlerinde yüzey sertliğinin artabileceği düşünülmektedir.

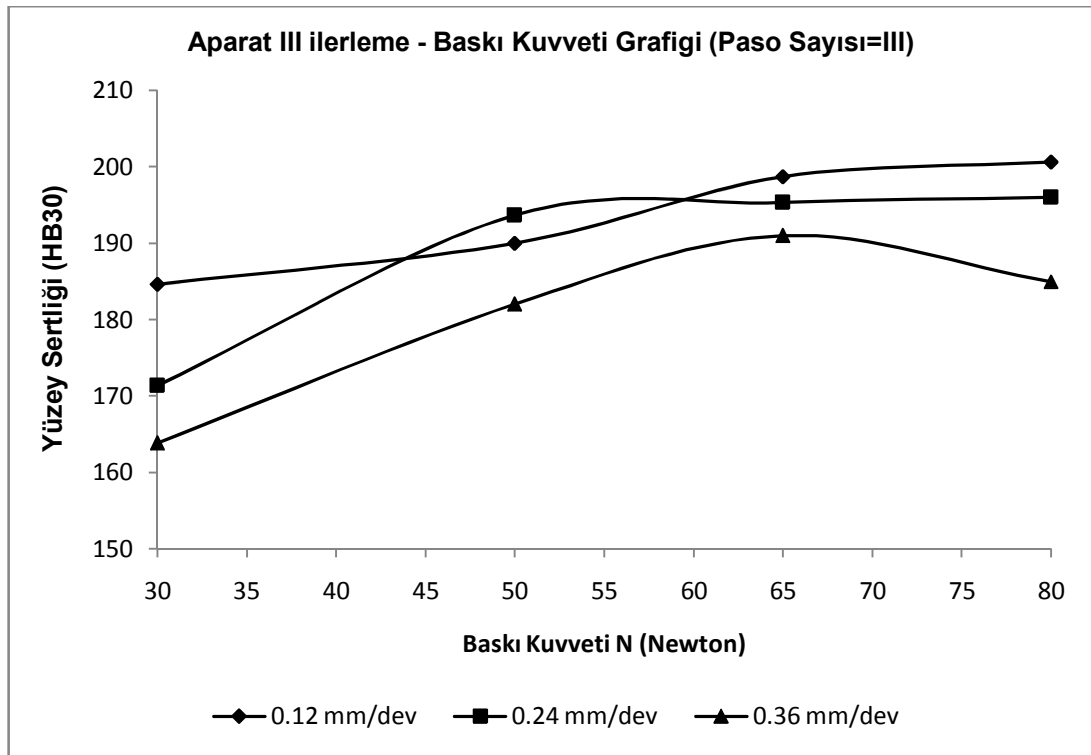
6.3. Bilyeli Aparat İçin Sonuçların Değerlendirilmesi



Şekil 6.11. Bilyeli haddeleme aparatı

6.3.1. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Bu inceleme sırasında Bilyeli aparat için ilerleme hızı ve Baskı kuvveti değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve diğer değişken olan paso sayısı sabit tutulmuştur. Şekil 6.12’de paso sayısı=3 iken yüzey pürüzlülüğü etkisi gözlenmektedir. Şekil 6.12’de görülmekte olan 3 farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.

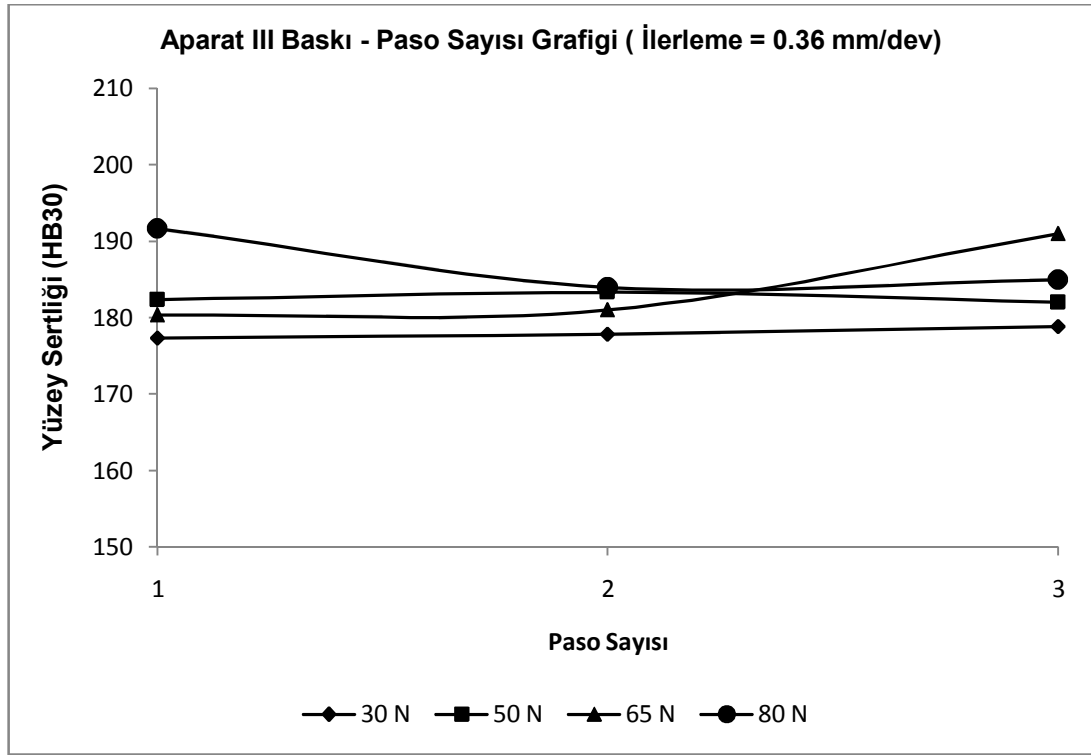


Şekil 6.12. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

Deneyler incelendiğinde baskı kuvvetinin artmasının yüzey sertliğinin artmasına böylelikle yüzey kalitesinin iyileşmesine etkisi olduğu düşünülmektedir. Grafiklerde ilerleme hızının düşük olmasının da yüzey sertliğine olumlu etkisinin olduğu düşünülmektedir. Artan ilerleme hızlarında ise yüzey sertliğindeki iyileşme sınırlı olduğu öngörülmektedir.

6.3.2. Baskı kuvveti ve paso sayısının yüzey sertliğine etkisi

Bu inceleme sırasında bilyeli aparat için Baskı kuvveti ve Paso sayısı değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve diğer değişken olan ilerleme hızı sabit tutulmuştur. Şekil 6.13’de ilerleme hızı 0,36 mm/dev seçilerek yapılan bu deneyde deney parametrelerinin malzemenin yüzey sertliğine etkisi gözlenmektedir. Şekil 6.13’de görülmekte olan 3 farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.

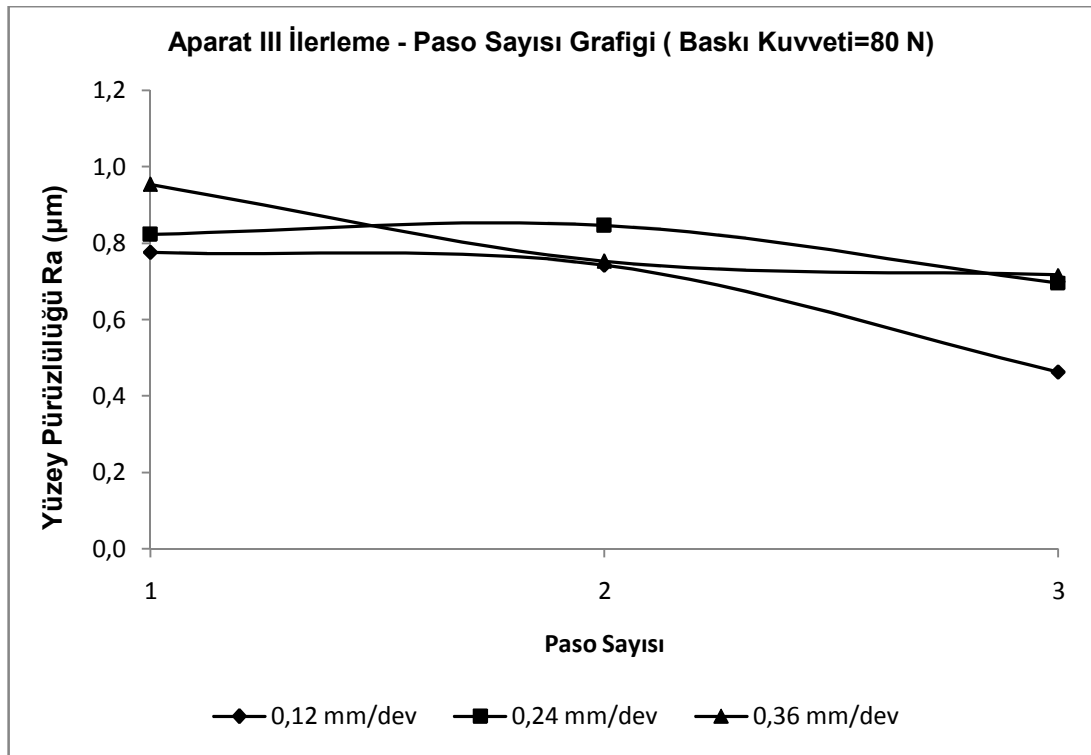


Şekil 6.13. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

Deneyler incelendiğinde baskı kuvvetinin artmasının yüzey sertliğinin artmasına böylelikle yüzey kalitesinin iyileşmesine etkisi olduğu düşünülmektedir. Grafiklerde baskı kuvvetinin düşük olmasının da yüzey sertliğinde olumlu etkisinin az olduğu düşünülmektedir. Paso sayısının değişmesinin ise sonuçlara doğrudan etkisi olmadığı düşünülmektedir. Artan ilerleme hızlarında ise yüzey sertliğindeki iyileşme sınırlı olduğu söylenebilir.

6.3.3. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Bu inceleme sırasında bilyeli aparat için ilerleme hızları ve Paso sayısı değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve baskı kuvveti parametresi sabit tutulmuştur. Şekil 6.14’de baskı kuvveti=80 mm/dev iken yüzey pürüzlülüğü etkisi gözlenmektedir. Şekil 6.14’de görülmekte olan 3 farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.

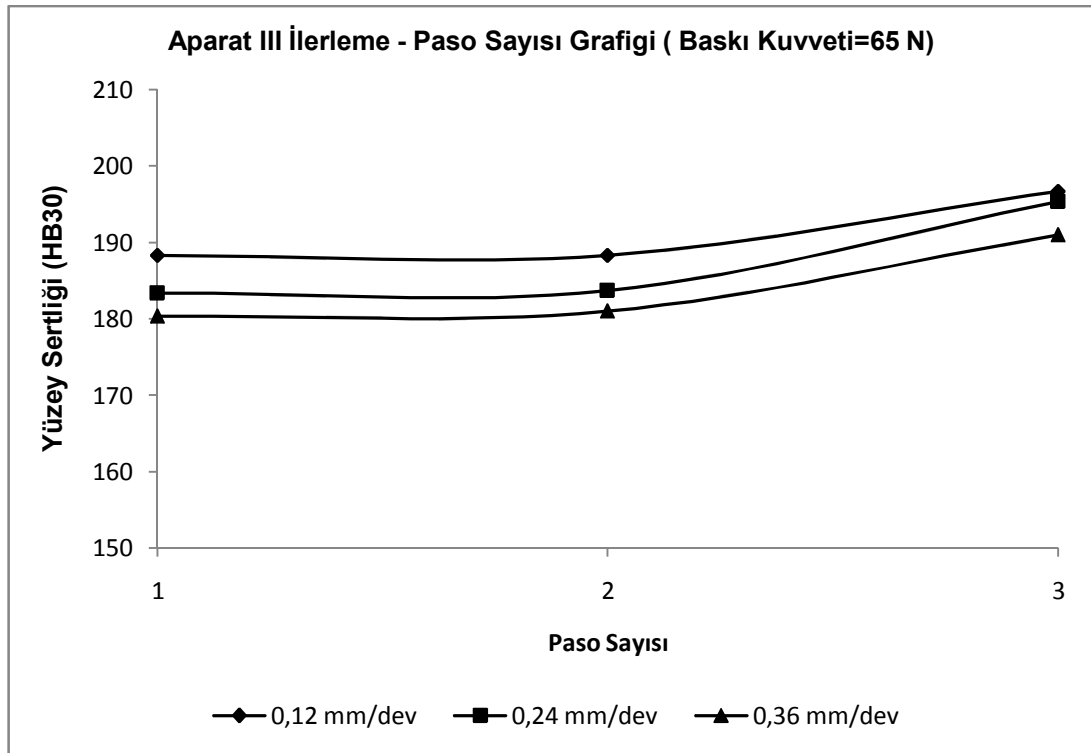


Şekil 6.14. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Deneyler incelendiğinde paso sayısının artmasının yüzey pürüzlülüğünü düşürdüğü ve böylelikle yüzey kalitesinin iyileşmesine etkisi olduğu düşünülmektedir. Grafikler incelendiğinde paso sayısının artmasının yüzey pürüzlülüğünü düşürdüğü düşünülmektedir. İlerleme hızının düşük olması da paso sayısında olduğu gibi yüzey kalitesine olumlu etkisi olduğu düşünülmektedir. Bazı deney değerlerinde ilerleme hızı yüksek olmasına rağmen yüzey pürüzlülüğünün daha olumlu çıkmasının nedeni ise aparatın yüksek ilerleme hızlarında sıvama işlemi yapıyor olması olabilir.

6.3.4. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

Bu inceleme sırasında bilyeli aparat için ilerleme hızları ve Paso sayısı değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve baskı kuvveti parametresi sabit tutulmuştur. Grafikte baskı kuvveti 65 N iken yüzey pürüzlülüğü etkisi gözlenmektedir.

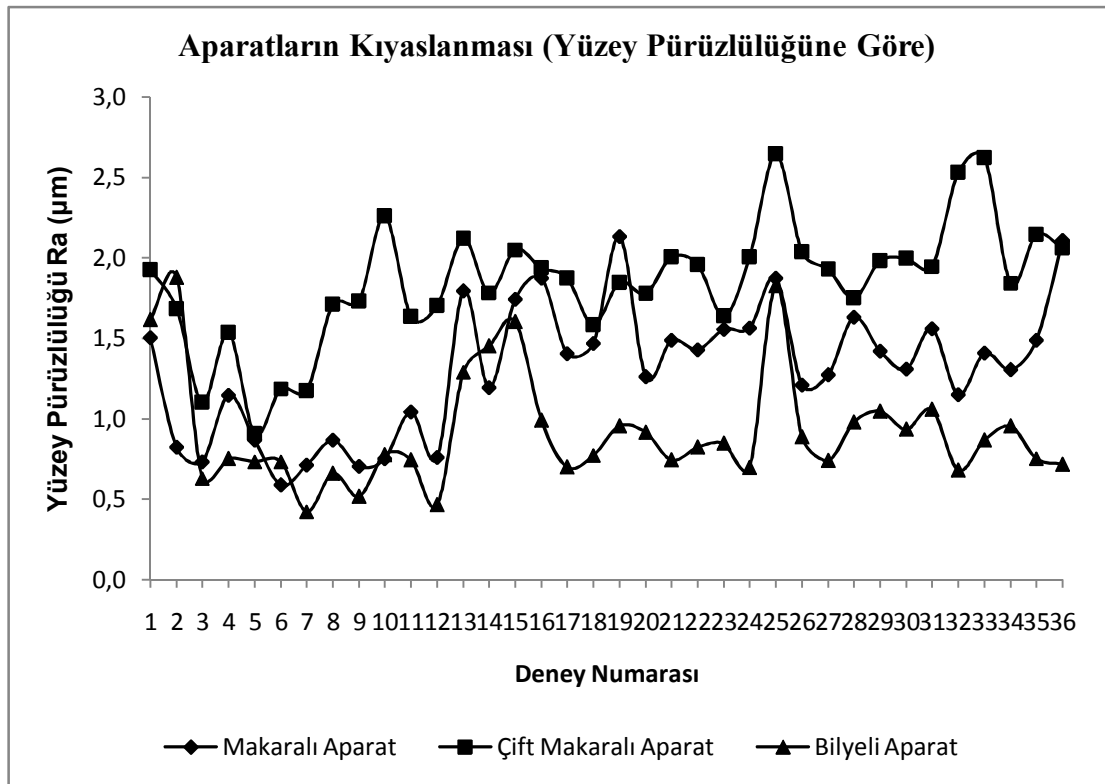


Şekil 6.15. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

Deneyler incelendiğinde paso sayısının artmasının yüzey sertliğini artırdığı görülmektedir. Grafikler incelendiğinde paso sayısının artmasının yüzey sertliğini düşürdüğü düşünülmektedir. Bu etki sınırlı kalmıştır. İlerleme hızının düşük olması durumunda da yüzey sertliğine olumlu etkisi olduğu düşünülmektedir.

6.4. Aparatların Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Aparatlar içinde en iyi şartları hangi aparatın kullanılması durumunda ortaya çıkacağı ile ilgili yapılan bu deneyde aparatlar yüzey pürüzlülük değerlerinin tamamına göre birbiriyle kıyaslanmıştır. Şekil 6.16'da görülmekte olan farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.



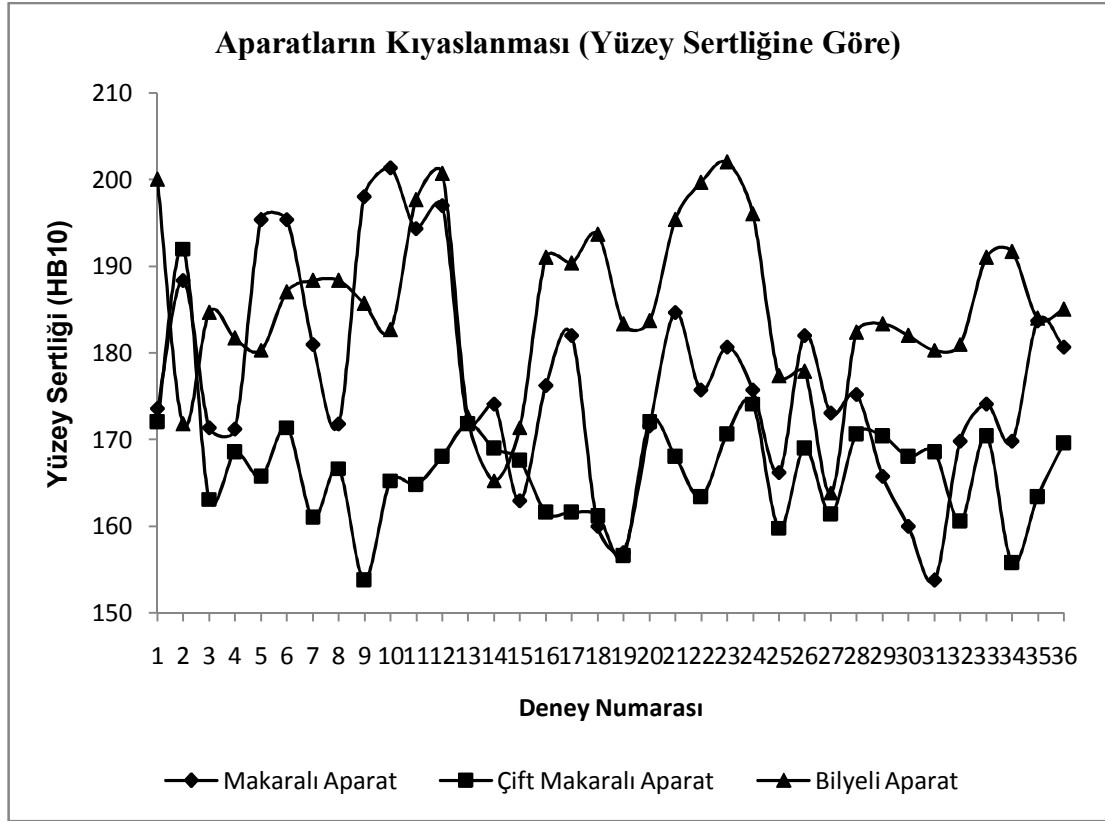
Şekil 6.16. Aparatlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Bu deneylere ait grafiklerde tüm aparatlarının yüzey pürüzlülüğünü azaltmaya diğer bir deyişle yüzey kalitesini artırmaya katkısı olduğu gözlenmektedir. Her aparat için eğrilerinin her noktasında aynı şartlar denenmiştir. Her aparat aynı ilerleme miktarı aynı baskı kuvveti ve aynı paso sayısı altında test edildikten sonra bu grafik ortaya çıkmıştır. Grafikte her aparat için yapılan toplam 36 adet deney vardır. Toplam veri sayısı ise 108 veridir. Aparatlarının hangisinin daha iyi şartlar sağladığını ise grafikten net bir şekilde görülebilmektedir. Bilyeli aparat ile alınan sonuçlar hem ham değerle karşılaştırıldığında hem de diğer aparatlarla kıyaslandığında en iyi

yüzey pürüzlülük değerlerini vermektedir. Yüzey kalitesine en etkin şekilde iyileştirmenin Bilyeli aparat ile yapılacağı belirlenmiştir. Makaralı aparat ile çift makaralı aparat ise bilyeli aparat kadar etkin olmasa da sonuca olumlu katkı sunmaktadır bu iki aparat arasından ise makaralı aparatın diğerine göre daha olumlu sonuçlar aldığı ve yüzey pürüzlülüğünün düşmesine daha etkin şekilde yardımcı olduğu gözlenmektedir. Bu üç aparattan etkisi en az olan çift makaralı aparat da dahi ham yüzey pürüzlülüğünün altında sonuçlar elde edilmiştir. Bu değerlendirmede her üç aparat da başarılı görülmüş ancak yüzey pürüzlülüğünün daha iyi elde edilebilmesinde bilyeli aparat ile yapılan çalışmaların daha uygun olacağı görülmektedir. Tüm aparatlar ham pürüzlülük değerini olan 3,2 μm seviyesinden oldukça düşük değerlere getirmiştir. En iyi iyileşme 0,423 μm seviyesinde olmuş ve % 750'lik bir iyileşme meydana gelmiştir. En az yüzey iyileşmesi ise 2,643 μm olarak görülmektedir. Yapılan deneylerde en az yüzey iyileşmesinde dahi % 121'lik bir yüzey pürüzlülüğü iyileşmesi olduğu gözlemlenmektedir.

6.5. Aparatların Yüzey Sertliği Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Aparatlar içinde en iyi şartları hangi aparatın kullanılması durumunda ortaya çıkacağı ile ilgili yapılan bu deneyde aparatlar yüzey sertlik değerlerinin tamamına göre birbiriyle kıyaslanmıştır. Şekil 6.17'de görülmekte olan farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.



Şekil 6.17. Aparatlarının yüzey sertliğine etkisi

Bu deneylere ait grafiklerde tüm aparatlarının yüzey sertliğini artırmaya katkısı olduğu gözlenmektedir. Tüm aparatlar ham sertlik değeri olan 139,2 HB30 sertlik değerinin üstünde yüzey sertlik değerlerine seviyesine getirmiştir. Deneyler de kullanılan parametreler her aparat için aynı tutulmuştur. Aparatların ilerleme miktarı değerleri, baskı kuvveti değerleri ve paso sayısı deneyleri birbiri üzerinde örtüşürülerek deney çalışmasının yorumlanmasına çalışılmıştır. Şekil 6.17’de her aparat için yapılan toplam 36 adet deney vardır. Toplam veri sayısı ise 108 veridir. Aparatlarının hangisinin daha iyi yüzey sertliğine ulaştığı ise grafiklerden kolay bir şekilde tespit edilebilmektedir. Yüzey pürüzlülüğüne ait değerlerde olduğu gibi yüzey sertliğine ilişkin verilerde de bilyeli aparat yüzey sertliğinin artmasına diğer aparatlara oranla daha çok yardımcı olmuştur. Şekil 6.17 incelendiğinde aslında tüm aparatların başarılı olduğu ve yüzey sertliğinin ham değerin üstüne taşıdığı görülmektedir. Bu aparatlar arasında bilyeli aparatın etkisi ise diğer aparatlara nazaran daha iyi görülmektedir. Makaralı aparat ise bilyeli aparat kadar etkin

olamasa da yüzey sertliğinin artmasında etkili bir diğer ayardır. Çift makaralı ayarat ise her ne kadar yüzey sertliğini olumlu yönde artırsa da diğer ayaratlarının yanında etkisi sınırlı kalmıştır. En iyi yüzey sertleşme değeri 202 Brinell (HB30) olarak ölçülmüştür. Yüzey sertliğinin en az iyileştiğı deneyde ise 153,8 Brinell (HB30) değeri elde edilmiştir bu durumda her deneyin olumlu etki oluşturduğu öngörülmüştür.

7. YAPAY SİNİR AĞLARI

Son yıllarda 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, adına Yapay Zeka dedikleri, 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 [23].

YSA modelleme tekniği günümüzde birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Basit bir şekilde insan beyninin çalışma şeklini taklit eden YSA'lar Yapay Zeka çalışmaları içinde önemli bir yere sahiptir. “Evrensel Fonksiyon Yakınsayıcı Yöntem (Universal Function Approximators)” olarak tanımlanan YSA metodolojisi veriden öğrenebilme, genelleme yapabilme, sınırsız sayıda değişkenle çalışabilme vb. birçok önemli özelliğe sahiptir. Bu özellikleri sayesinde oldukça önemli avantajlar sağlayan YSA metodolojisi diğer alanlarda olduğu gibi öngörü modellemesi alanında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [24].

7.1. YSA'nın Tanımı ve Tarihçesi

YSA, beyindeki sinirlerin çalışmasını taklit ederek sistemlere öğrenme, genelleme yapma, hatırlama gibi yetenekler kazandırmayı amaçlayan bilgi işleme sistemidir. Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece, Yapay Sinir Ağları denen günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yöntemlerinden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır.

Genel anlamda YSA, beynin bir işlevini yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. Bir YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde başlanmasında oluşur. YSA'lar öğrenme algoritmaları ile öğrenme sürecinden geçtikten sonra, bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip olurlar. YSA' lar yapılarına göre farklı öğrenme yaklaşımları kullanırlar.

Yapay sinir ağının genel bir tanımı yapılması gerekirse, Yapay Sinir Ağı, insan beyninin çalışma ve düşünebilme yeteneğinden yola çıkılarak oluşturulmuş bir bilgi işlem teknolojisidir. Yapay sinir ağının işleyiş özelliklerine dayanan ikinci tür tanımı ise ilk ticari yapay sinir ağının geliştiricisi olan Dr. Robert HECHT-NIELSEN'e ait bir tanımdır: "Yapay sinir ağı dışarıdan gelen girdilere dinamik olarak yanıt oluşturma yoluyla bilgi işleyen, birbiriyle bağlantılı basit elemanlardan oluşan bilgi işlem sistemidir. Bu tanıma yakın bir tanımda yapay sinir ağı yazınında çok tanınan Teuvo KOHONEN'e ait bir tanımdır : " Yapay sinir ağları paralel olarak bağlantılı ve çok sayıdaki basit elemanın, gerçek dünyanın nesneleriyle biyolojik sinir sisteminin benzeri yolla etkileşim kuran olan, hiyerarşik bir organizasyondur [23,25].

Yapay sinir ağlarının dayandığı ilk hesaplama modelinin temelleri; 1940'ların başında araştırmalarına başlayan W.S. McCulloch ve W.A. Pitts'in, 1943 yılında yayınladıkları bir makaleyle atılmıştır. Daha sonra 1954 yılında B.G. Farley ve W.A. Clark tarafından bir ağ içerisinde uyarılara tepki veren, uyarılara adapte olabilen model oluşturulmuştur. 1960 yılı ise ilk neural bilgisayarın ortaya çıkış yılıdır. 1963 yılında basit modellerin ilk eksiklikleri fark edilmiş, ancak başarılı sonuçların alınması 1970 ve 1980'lerde termodinamikteki teorik yapıların doğrusal olmayan ağların geliştirilmesinde kullanılmasına kadar gelinmiştir. 1985 yapay sinir ağlarının oldukça tanındığı, yoğun araştırmaların başladığı yıl olmuştur [26].

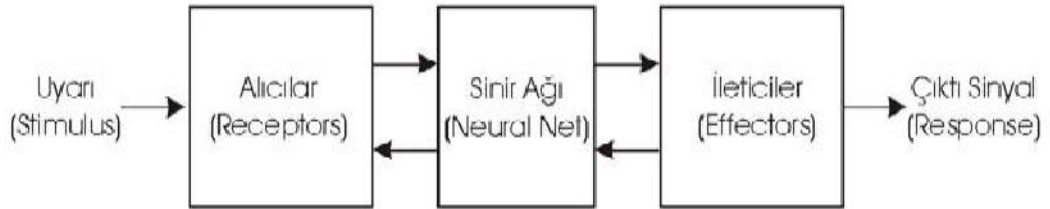
Bir YSA, birbirlerine paralel olarak çalışan birçok basit işlem elemanından oluşan ve fonksiyonu, ağın yapısı, bağlantı ağırlıkları ve elemanlarda gerçekleştirilen işlemler tarafından belirlenen bir sistemdir.

Daha kapsamlı ve genel kabul gören tanım ise Haykin, Alexander ve Morton tarafından verilmektedir: “Bir sinir ağı, basit işlem birimlerinden oluşan deneyimsel bilgileri biriktirmeye yönelik doğal bir eğilimi olan ve bunların kullanılmasını sağlayan yoğun bir şekilde dağıtılmış bir işlemcidir. Bu işlemci iki şekilde beyin ile benzerlik göstermektedir [27,28].

1. Bilgi, ağ tarafından bir öğrenme süreciyle çevreden elde edilir.
2. Elde edilen bilgileri biriktirmek için sinaptik ağırlıklar olarak bilinen nöronlar arası bağlantı güçleri kullanılır.”

7.2. Biyolojik Sinir Sistemi

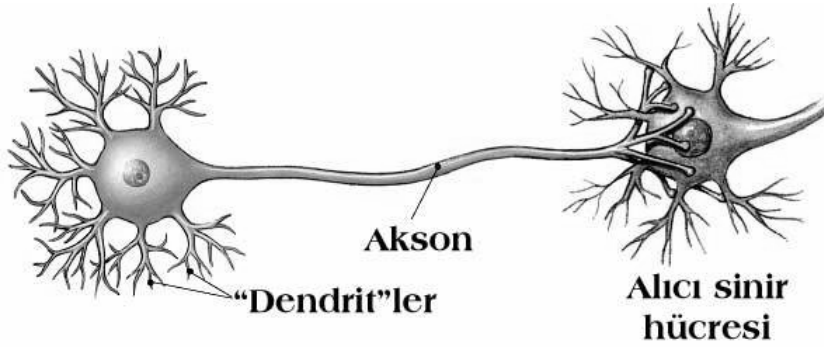
Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beyin [merkezi sinir ağı] bulunduğu 3 katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler (receptor) organizma içerisinden ya da dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri (effector) ise, beyinin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 7.1 de bir sinir sisteminin blok gösterimi verilmiştir.



Şekil 7.1. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi

Biyolojik sinir ağının temel inşa bloğu olan basit bir sinir hücresi nöron olarak adlandırılır. Aşağıda Şekil 7.2’de şematik diyagramı gösterilen tipik sinir hücresi üç ana bölümden oluşur. Soma olarak adlandırılan hücre gövdesi, akson ve dendritler.

Dendritler dendritik ağaç biçimindedir, nöron gövdesi civarında uzun çalılar görünümündedir. Dendritler üzerinden girişler alınır, soma tarafından girişler işlenir. Nöron'daki sinyalleri taşıyan uzun bir sinirsel bağlantı halindeki akson ise işlenen girişleri çıkışa aktarır. Akson dendrit bağlantısı ise synapse olarak adlandırılır. Synapse nöronlar arasındaki elektrokimyasal bağlantıyı sağlamaktadır.

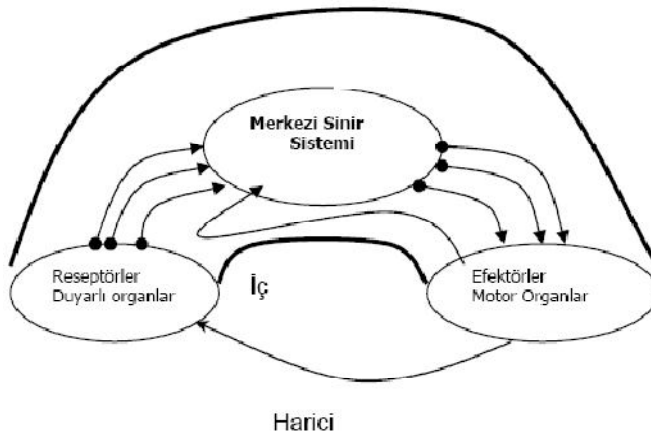


Şekil 7.2. Basit bir sinir hücresi

Bir insanın beyin korteksinde yaklaşık 10 milyar nöron ve yaklaşık 60 trilyon synapse veya bağlantısının bulunduğu tahmin edilmektedir. Sonuçta beyin son derece verimli bir yapıdır. Özellikle beynin enerji verimliliği, her saniyede her bir işlem için yaklaşık 10^{-16} Joule'dur, bu değer bugünün en iyi bilgisayarlarında yaklaşık 10^{-6} Joule'dur, beyin son derece kompleks, doğrusal olmayan ve paralel bir bilgisayardır. Beynin nöronları organize etme yeteneği böylece kesin hesaplamaları gerçekleştirmesi (örüntü tanıma, algılama gibi) bugünün en hızlı sayısal bilgisayarlarından daha hızlıdır. Diğer taraftan bir sinir hücresinin tepki hızı günümüz bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte duyuşal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir [24].

Bir hipoteze göre nöronlar birbirleriyle elektriksel sinyaller aracılığıyla haberleşmektedir. Ayrıca, nöronlar kimyasal bir ortamda çok yoğun beyinsel faaliyetleri yerine getirmektedirler. Böylece beyni, biyokimyasal işlemlerin

gerçekleştiği son derece yoğun bir elektriksel ağ gibi düşünebilir. Çok büyük sinir ağı çok karmaşık ve ayrıntılı bir yapıyla bir birine bağlıdır. Ağa giriş duyarlı algılayıcılar (reseptörler) ile sağlanır. Reseptörler uyarıyı gövdeye götürürler. Uyarım elektriksel sinyaller biçimindedir. Nöron ağının içine bilgi taşınması ve merkezi sinir sisteminde bilginin işlenmesi sonucu efektörler kontrol edilir. Bundan sonra insan cevabını çeşitli eylemler şeklinde verir. Yukarıda belirtildiği gibi sinir sisteminde bilgi akışı üç ana kısımda oluşmaktadır: reseptörler, merkezi sinir ağı ve efektörler (Şekil 7.3) [24].



Şekil 7.3. Sinir Sisteminde bilgi akışı

Şekil 7.3’de görüldüğü gibi bilgi işlenmekte, değerlendirilmekte ve merkezi sinir sisteminde depolanan bilgiyle karşılaştırılmaktadır. Gerekli olduğunda komutlar o yerde üretilir ve motor organlara iletilir. Motor organlar eylemi doğrulayan geri beslemeli bağlantılarla merkezi sinir sistemini yönetir ve denetlerler. İç ve dış geri beslemeli kontrolün ikisi de komutlarla gerçekleştirilir. Görüldüğü tüm sinir sisteminin yapısı kapalı-çevrim bir kontrol sistemini andırmaktadır.

7.3.YSA’nın yapısı

Sinir hücreleri bir grup halinde işlev gördüklerinde ağ [network] olarak adlandırılırlar ve böyle bir grupta binlerce nöron bulunur. Yapay nöronların birbirleriyle bağlantılar aracılığıyla bir araya gelmeleri yapay sinir ağını

oluşturmaktadır. Yapay sinir ağıyla aslında biyolojik sinir ağının bir modeli oluşturulmak istenmektedir. Nöronların aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmeleriyle katmanlar oluşmaktadır. Katmanların değişik şekilde bir birleriyle bağlanmaları değişik ağ mimarilerini doğurur. YSA lar üç katmadan oluşur. Bu katmanlar sırasıyla; girdi katmanı, ara katman ve çıktı katmanıdır.

7.3.1. Girdi katmanı

Bu katmandaki proses elemanları dış dünyadan bilgileri alarak ara katmanlara transfer ederler. Bazı ağlarda girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz.

7.3.2. Ara katman [Gizli katman]

Girdi katmanından gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanına gönderilirler. Bu bilgilerin işlenmesi ara katmanlarda gerçekleştirilir. Bir ağ içinde birden fazla ara katman olabilir.

7.3.3. Çıktı katmanı

Bu katmandaki proses elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanından sunulan girdi seti için üretmesi gereken çıktıyı üretirler. Üretilen çıktı dış dünyaya gönderilir.

7.3.4. Yapay nöron

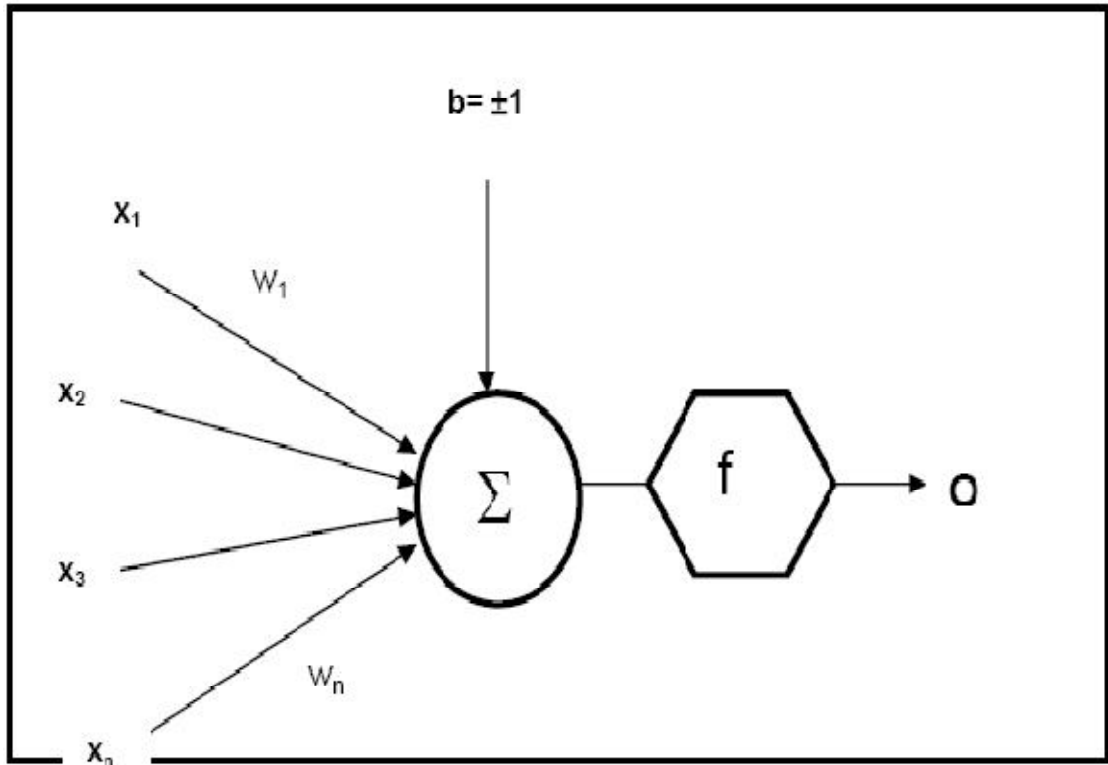
Yapay sinir ağlarının genel yapı olarak beyinden esinlenildiği daha önce belirtilmişti. Doğal olarak, YSA'ların temel elemanları da yapay nöronlardır [bundan sonra yapay nöron yerine sadece nöron kelimesi kullanılmaktadır]. Bu nöronlar, aralarındaki bağlantılar oluşturularak ve tabakalar halinde gruplandırılarak yapay sinir ağları oluşturulmaktadır.

İnsanın beyinsel gücünün bu yapı taşları birkaç genel işleve sahiptirler. Bir biyolojik nöron, temel olarak, diğer kaynaklardan girdiler alır, belirli bir şekilde bunları

birleştirir, sonuç üzerinde bir işlem (genelde doğrusal olmayan) uygular ve nihai sonucu üretir.

Yapay sinir ağlarının temel işlem elemanı olan yapay nöronlar, doğal nöronların dört temel fonksiyonunu simüle ederler. Bir yapay nöronun temel yapısı, genel haliyle, Şekil 7.4’de sunulmaktadır.

Şekil 7.4’de girdi değerler $x[i]$ matematiksel sembolü ile gösterilmiştir ve bu gösterimde $i = 0,1,2,\dots,n$ değerlerini almaktadır. Bu girdi değerlerin her biri bir bağlantı ağırlığıyla çarpılmaktadır. Bu ağırlıklar ise $w[i]$ ile gösterilmektedir. En basit yapıda, bu çarpımlar toplanır ve bir transfer fonksiyonuna gönderilerek sonuç üretilir. Bu sonuç daha sonra bir çıktıya dönüştürülür. Bu elektronik uygulama değişik toplama fonksiyonları ve transfer fonksiyonları kullanabilir ve farklı ağ yapılarında uygulanabilir.



Şekil 7.4. Temel yapay sinir ağı hücresi.

Çıkış, $o = f[W.X + b]$

şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki W ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir. n giriş sayısı olmak üzere;

$W = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$

$X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$

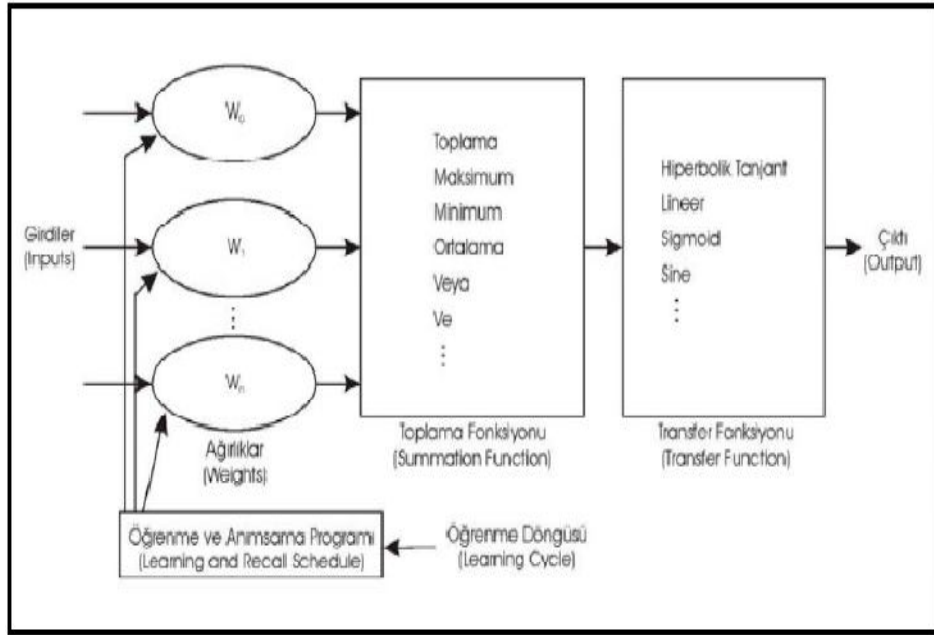
Şeklinde yazılabilir. Formülize edersek;

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad \text{ve} \quad o = f[net]$$

$$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right)$$

şeklinde de yazılabilir. Yukarıdaki formülde görülen f aktivasyon fonksiyonudur. Genelde nonlinear olan aktivasyon fonksiyonunun çeşitli tipleri vardır.

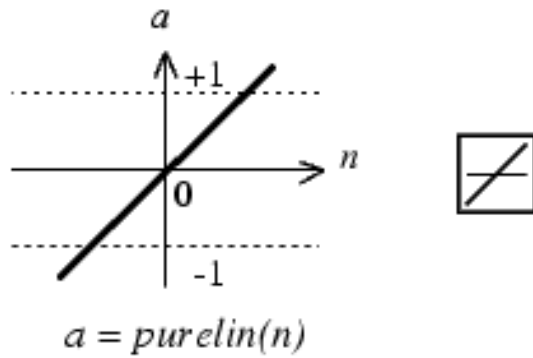
Şekil 7.4 'de, daha önce tanımlanan basit bir yapay nöron yapısının daha detaylı bir şeması sunulmaktadır. Şekilde, girdi değerler işlem elemanına üst sol bölümden girmektedir. İşlemde ilk adım, bu girdi değerlerin her birinin ilgili ağırlıklarla $w[i]$ ağırlıklandırılmalarıdır. Bir nöron genellikle, eşanlı olarak birçok sayıda girdi alır. Her girdinin kendi nispi ağırlığı vardır. Bu ağırlıklar, biyolojik nöronların değişen sinaptik etkililikleri ile aynı görevi üstlenirler. Her iki durumda da, bazı girdiler diğerlerine göre daha önemli hale gelirler. Bu sayede, işlem elemanının bir sinirsel tepki üretmesi işleminde daha fazla etkili olurlar. Ayrıca, ağırlıklar girdi sinyalin güçlülüğünü belirleyen adaptif katsayılardır. Yani, girdinin bağlantı gücünün bir ölçüsüdür. Bu bağlantı güçleri, çeşitli eğitim setlerine göre değiştirilebilirler [24].



Şekil 7.5. Yapay nöronun detaylı yapısı

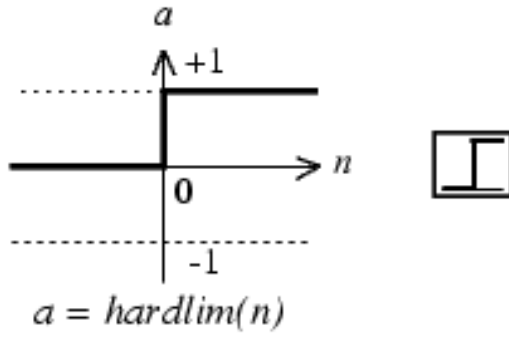
7.3.5. Aktivasyon fonksiyonları

Purelin fonksiyonu Şekil 7.6’da görülmektedir. Bu aktivasyon fonksiyonunda nöron girişlerinin değişimine göre nöron çıkışı lineer olarak değişmektedir. Dinamik değişim aralığı $[-1 \ 1]$ aralığıdır.



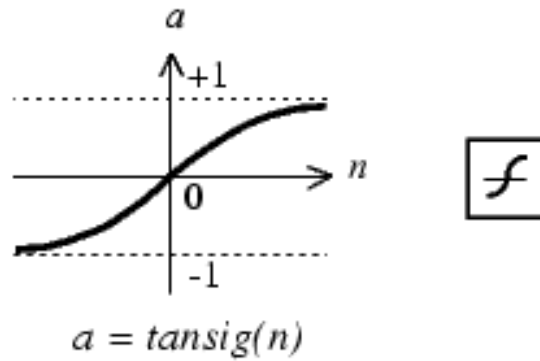
Şekil 7.6. Purelin fonksiyonu

Eşik fonksiyonu Şekil 7.7 görülmektedir. Eşik aktivasyon fonksiyonu eğer net değeri sıfırdan küçükse sıfır, sıfırdan daha büyük bir değer ise net çıkışında +1 değeri verir.



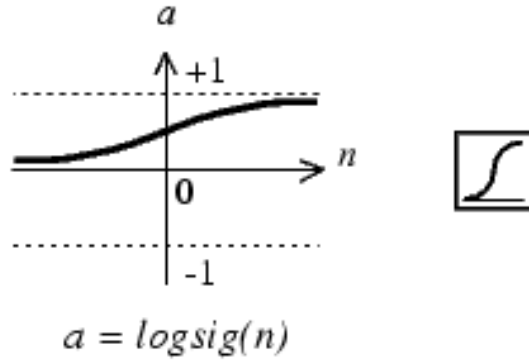
Şekil 7.7. Eşik fonksiyonu

Tansig fonksiyonu Şekil 7.8 görülmektedir. Fonksiyonun değişim aralığı $[-1 \ 1]$ aralığıdır ve fonksiyon nöron toplam girişe bağımlı olarak bu aralıkta lineer olmayan bir değişim gösterir. Bu fonksiyon literatürde hiperbolik-tangent fonksiyonu olarak da isimlendirilmektedir.



Şekil 7.8. Tansig fonksiyonu

Logaritma sigmoid fonksiyonu Şekil 7.9 görülmektedir. Lojistik fonksiyon olarak da adlandırılmaktadır. Fonksiyonun değişim aralığı $[0 \ 1]$ aralığıdır ve fonksiyon bu aralıkta lineer olmayan bir değişim sergiler. Bu fonksiyonunun lineer olmamasından dolayı türevi alınabilmektedir bu özelliğinden dolayı geri yayımlı ağlarda kullanmak mümkün olabilmektedir.



Şekil 7.9. Logsig fonksiyonu

Yukarıda verilen fonksiyonlar en genel aktivasyon fonksiyonlarıdır. Yukarıda anlatılan transfer fonksiyonları dışında da transfer fonksiyonları bulunmaktadır. Yapay sinir ağında hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı probleme bağlı olarak değişmektedir.

7.4. Yapay Sinir Ağları Modelleri

YSA'ların çok sayıda farklı çeşitleri vardır. Bu farklılıkların kaynağı mimarisi, öğrenme yöntemi, bağlantı yapısı vb. olabilmektedir. Genel olarak, YSA'lar üç ana kritere göre sınıflandırılmaktadırlar. Bu kriterlerden biri öğrenme yöntemidir. Önceki bölümde belirtildiği gibi, temel olarak iki çeşit öğrenme algoritması vardır: yönlendirmeli öğrenme ve yönlendirmesiz öğrenme. Her yöntemin kullandığı öğrenme kuralı değişebilmekteyse de, YSA'lar bu iki algoritmaya göre sınıflandırılırlar.

Eğitme işlemi için “yönlendirmeli (supervised)” ve “yönlendirmesiz (unsupervised)” olmak üzere iki yaklaşım vardır. Yönlendirmeli eğitim, ağın çıktısı için istenilen veri değerleri verebilmesi için girdi-çıkışı ilişkisini elde edebilmesini sağlayacak bir mekanizma içermektedir. Yönlendirmesiz eğitim ise dış müdahale olmaksızın, girdilerin ağ tarafından analiz edilmesi ve bu analiz sonucunda bağlantıların oluşturulmasıdır.

Kullanılan ağların büyük çoğunluğu yönlendirmeli eğitmeyi kullanır. Yönlendirmesiz eğitime, girdiler için bazı karakter belirleme durumlarında kullanılır. Bununla beraber, kendi kendine öğrenme kavramı parlak bir gelişme potansiyeli taşısa da günümüzde tam olarak çalışmamaktadır. Yönlendirmeli eğitimde hem girdi hem de çıktı veriler kullanılır. Öncelikle, ağ rassal olarak belirlenen başlangıç ağırlıklarını kullanarak girdileri işler ve çıktıyı istenilen çıktı ile karşılaştırır. Elde edilen hatalar sistem içinde geriye gönderilir ve bu hatalar kullanılarak ağı kontrol eden bağlantı ağırlıkları güncellenir. Bu işlem defalarca tekrarlanır ve bağlantı ağırlıkları sürekli olarak ayarlanır (tweaked). Eğitim sırasında kullanılan veri seti “eğitim veri kümesi (training set)” olarak adlandırılır. Bir ağın eğitilmesi sırasında, aynı veri seti bağlantı ağırlıkları belirleninceye kadar defalarca işleminden geçirilir [24].

İkinci bir sınıflandırma, ağın kullandığı veriye göre yapılmaktadır. Temel olarak, kalitatif ve kantitatif olmak üzere iki tür veri vardır. Kalitatif verilerle çalışan ağlar, ister yönlendirmeli ister yönlendirmesiz öğrenme kullansın, sınıflandırma ağları olarak bilinirler. Kantitatif veriler kullanan yönlendirmeli eğitim ise regresyon olarak adlandırılmaktadır.

Son sınıflandırma kriteri ise ağın yapısıdır. Bazı ağlar ileri besleme şeklinde yapılandırılırken, bazı ağlar ise geri besleme yapısı içermektedir. İleri besleme sinir ağlarında, işlem elemanları arasındaki bağlantılar bir döngü oluşturmazlar ve bu ağlar girdi veriye genellikle hızlı bir şekilde karşılık üretirler. Geri beslemeli ağlarda (Recurrent Networks) ise bağlantılar döngü içerirler ve hatta her seferinde yeni veri kullanabilmektedirler. Bu ağlar, döngü sebebiyle girdinin karşılığını yavaş bir şekilde oluştururlar. Bu yüzden, bu tür ağların eğitim süreci daha uzun olmaktadır. Ayrıca, hem ileri besleme hem de geri yayılma olarak tanımlanabilecek ağ yapıları da mevcuttur.

En basit ve en genel yapay sinir ağları tek yönlü sinyal akışını kullanırlar. Yapay sinir ağı modelleri temel olarak iki grupta toplanmaktadır. İleri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli yapay sinir ağları. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında

gecikmeler yoktur, işlem girişlerden çıkışlara doğru ilerler. Çıkış değerleri öğreticiden alınan istenen çıkış değeriyle karşılaştırılarak bir hata sinyali elde edilerek ağırlıkları güncellenir [24].

7.5. Geliştirilen Yapay Sinir Ağı

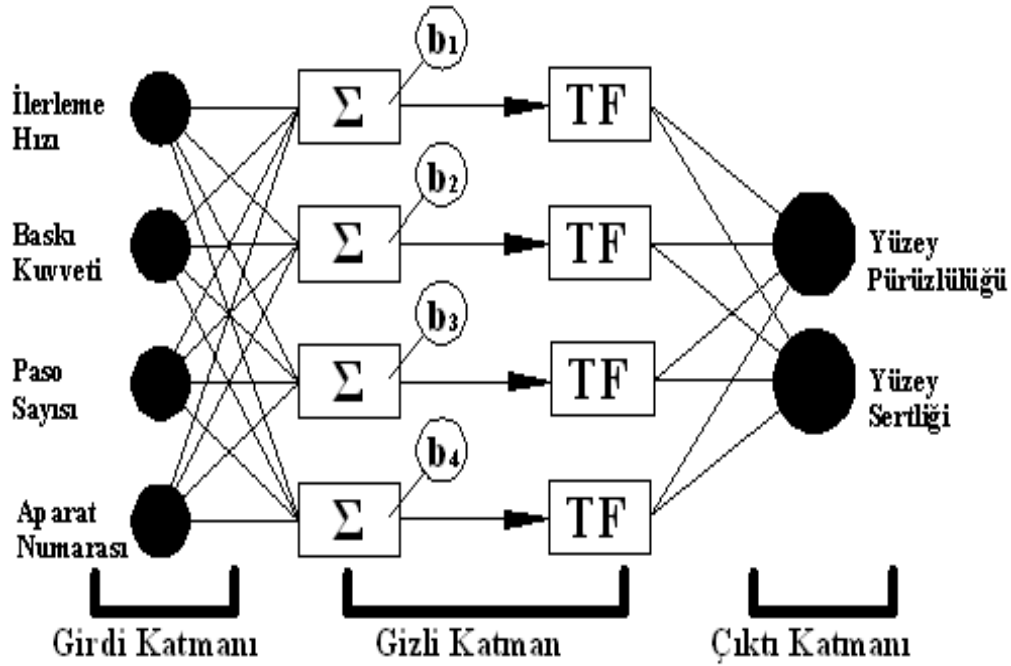
Deneyler sonucunda elde edilen deneysel datalar Çizelge 5.9’da verilmiştir. Bu tabloda Haddeleme çalışmaları sırasında gerçekleştirilen deneylerde iş parçaları üzerinde çeşitli parametreler kullanılarak elde edilmiş olan yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği verileri bulunmaktadır. Bu verilerden deney parametresi olarak kullanılan İlerleme miktarı, baskı kuvveti, paso sayısı ve aparat numarası parametreleri değişken parametreler olarak yapay sinir ağları modelinde giriş verisi olarak kullanılacaktır.

Deneyler sonucunda parametrelere bağlı olarak elde edilen farklı yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ise yapay sinir ağları modelinde çıkış verisi olarak kabul edilecektir.

Yapay sinir ağları modelinde haddeleme deneyleri sırasında kullanılan İlerleme miktarı, baskı kuvveti, paso sayısı ve aparat numarası parametreleri girdi katmanını oluşturmaktadır. Girdi katmanında parametre sayısı olan 4 adet giriş nöronuna sahip bir girdi katmanı olması düşünülmüştür.

Haddeleme deneylerinde çıktı katmanını ise yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği değerleri oluşturacaktır. YSA ile en az hata ile öğrenme amaçlandığı için gizli katman sayısı 1 veya 2 gizli katman olarak kullanılacaktır. Sonuçların 1 gizli katmanda tatminkâr olmaması durumunda ya da 2 gizli katman ile sonuçların ne derce değişiklik göstereceği merak edildiğinde 2 gizli katman kullanılacaktır.

Haddeleme deneyleri için hazırlanan yapay sinir ağları modeli Şekil 7.10’da verilmiştir.



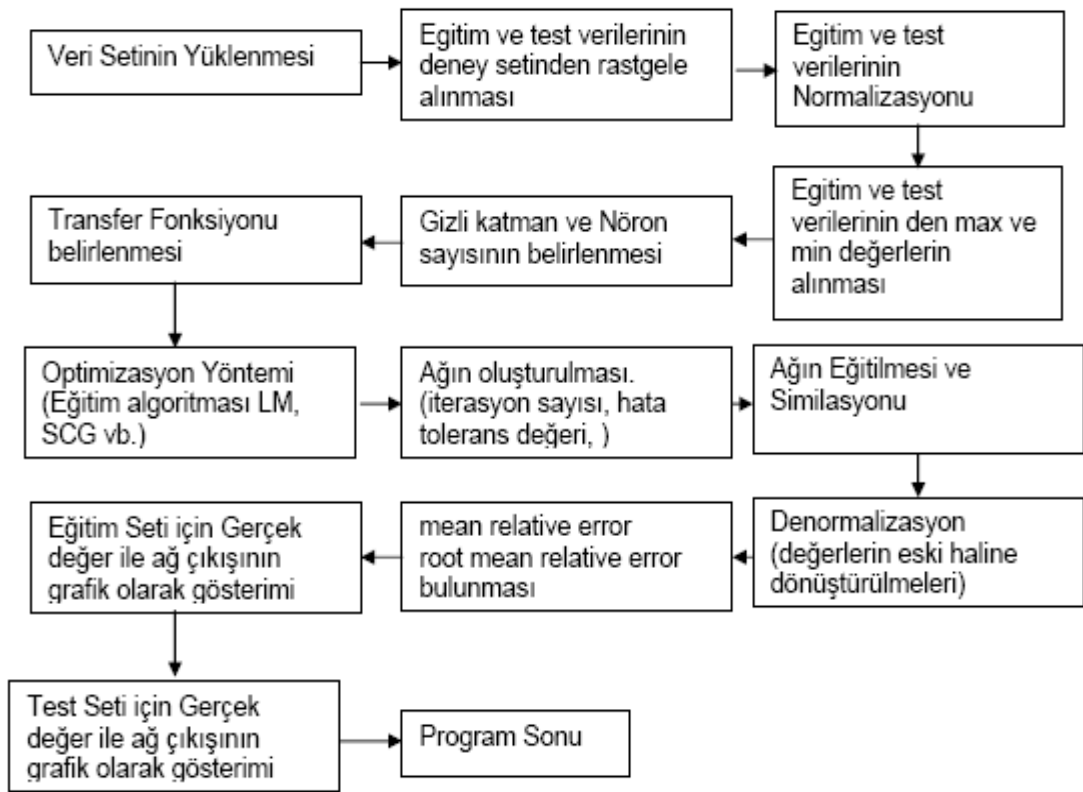
Şekil 7.10. Oluşturulan yapay sinir ağı

YSA yapısının oluşturulmasında ağda kullanılacak algoritmanın büyük önemi vardır. Oluşturulan ağda “hatayı geri yayma” algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma genel olarak birçok alanda ve mühendislik problemlerinin çözümünde en sık kullanılan algoritma türüdür. Şekil 7.10 de gizli katman sayısı 1 olarak oluşturulmuş ağa ait şekil vardır. Gizli katman sayısının değişmesi ile birlikte ağın yapısı da değişiklik gösterecektir.

Matlab programının YSA modülünde kullanılacak olan girdi değerlerini $[-1 \ 1]$ değer aralığında ya da $[0 \ 1]$ değer aralığında olmalıdır. Deney girdilerinin bu aralığa çevirme işlemi de normalizasyon olarak isimlendirilmektedir. Deney sonuçları bir normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. YSA modülünün kurgulanması MATLAB programı içerisinde “m file” oluşturularak deney seti verileri her sütun kendi içerisinde $(-1 \ 1)$ aralığına getirilerek kullanılmıştır.

YSA yapısında tüm deney seti içinde bir veriler test verileri ve eğitim verileri olarak ayrılmalıdır. Bu ayırma işlemi gerçekleştirilmezse ve deney setinin tümü eğitim için kullanılırsa YSA sadece eğitim verilerini tanır. Bu da aşırı eğitim (ezberleme) ile

sonuçlanacaktır. Bu durum YSA da istenmeyen bir durumdur. Kullanılan YSA programında tüm deney verilerinin %70 eğitim ve % 30 test olarak sınıflandırılmıştır.. Bu oranlar programın içerisinde deney setinden rastgele olarak alınan deney sonuçları ile yapılmaktadırlar. YSA programı çalıştırıldığında tüm veriler içinden %70'i rastgele olarak alınmakta ve eğitim için kullanılmaktadır. Geri kalan %30 luk kısım ise test verilerini oluşturmaktadır. Geliştirilen YSA modelinin akış diyagramı Şekil 7.11 verilmiştir.



Şekil 7.11. Geliştirilen YSA modelinin akış diyagramı

7.5.1. YSA'da eğitime / öğrenme

Yapay sinir ağlarında öğrenmenin anlamı, sinir ağının sunulan probleme ait giriş ve çıkış verileri arasında doğru bağlantıları kurarak doğru çıktıları üretmesini sağlamaktır. Bu işlem öngörülen çıkış ile istenilen çıkış arasındaki hata belli bir değerin altına düşene ya da eğitime işlemi belli bir tekrar sayısına ulaşana kadar

devam eder. Girdi ve çıktı katmanlarındaki işlem elemanları bilindiğine göre, YSA'nın en iyi performans gösterdiği, yani ağ hatasını minimum, öğrenme hızını maksimum yapan optimum veya optimuma yakın gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki işlem elemanı sayıları deneme yanılma yöntemi kullanılarak belirlenir.

7.5.2. Geriye yayılma (Hatanın ağırlıklara dağıtılarak minimize edilmesi)

Geriye yayılma algoritmasında hata çıktı katmanından başlayarak geriye doğru bağlantı ağırlıklarına dağıtılır. Katmanlardaki işlem elemanlar arasında ve bir katmandan önceki katmana geriye doğru bağlantı yoktur. Hata en küçük olacak şekilde (istenen seviyeye düşene kadar), ağ ağırlıklarını ayarlar ve işlem durdurulur.

Bir geri yayılım ağındaki öğrenme aşağıdaki basamaklardan oluşur:

- Eğitim kümesinden bir sonraki örneği seçme ve ağ girişine giriş vektörü uygulama.
- Ağıın çıkışını hesaplama.
- Ağıın çıkışı ile istenen vektör (hedef vektör) arasındaki hatayı hesaplama.
- Hatayı küçültecek şekilde ağıın ağırlıklarını ayarlama.

Hatayı geriye yaymada kullanılan birçok eğitim algoritması vardır.

Yapılan çalışmada, hatayı geriye yayma algoritmasında en yaygın kullanılan üç eğitim algoritması dikkate alınacaktır. Bu algoritmalar;

- Polak-Ribiere conjugate gradient [CGP] hatayı geriye yayma algoritması,
- Scaled conjugate gradient [SCG] hatayı geriye yayma algoritması
- Levenberg-Marquardt [LM] hatayı geriye yayma algoritmasıdır.

7.6. Test

YSA'nın iyi eğitilip eğitilmediğini anlamak için, YSA'ya eğitim verilerinden başka daha önce hiç görmediği veriler [test verileri] sunulur ve doğru sonuçlar verip vermediği kontrol edilir. Karşılaştırma amacıyla, istatistiksel hata RMS (root-mean-squared), mutlak değişim yüzdesi R^2 , ortalama % hata gibi istatistiksel değerler kullanılmıştır. Bu değerler aşağıdaki eşitliklerle verilir;

$$RMS = \left(\frac{1}{p} \sum_j |t_j - o_j|^2 \right)^{1/2} \quad R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right) \quad Ort. \% Hata = \frac{\sum_j \left(\frac{t_j - o_j}{t_j} \times 100 \right)}{p}$$

Burada t hedef değer, o çıkış değeri, p örnek adedidir. En az istatistiksel hataya sahip, yani veriler arasındaki bağlantıyı en iyi kurmuş olan YSA modeli kullanılmak üzere seçilir ve artık YSA'nın güvenilirliği onaylanmış olur. Eğer büyük bir hata oluşuyorsa, deneme-yanılma yoluyla değişik eğitime algoritmaları, ağ yapısı (gizli katman sayısı, gizli katman işlem elemanları) değiştirilir. Eğitim ve test işlemleri tekrarlanır.

7.7. YSA sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapay sinir ağının kurulmasından sonra hatayı geriye yayma algoritmalarından bu deney seti için en uygun olan eğitim algoritması tespit edilmek istenmiştir. Bu amaçla 1 ve 2 gizli katmandan oluşan ve farklı nöron sayısına sahip olan ağlar farklı eğitim algoritmaları ile denenmiştir.

Geliştirilen bilgisayar programı ile 1 gizli katman için nöron sayısı 1-12 arası tutulmuş 2 gizli katman kullanılan sinir ağında ise sırasıyla 5-5, 6-6, 7-7, 8-8, 9-9, 10-10, 11-11, 12-12, 13-13, 14-14, 15-15, 16-16, 17-17, 18-18, 19-19, 20-20 nöron yapıları kullanılmıştır. Bu öğrenme ve eğitime işleminden sonra da en uygun RMS değeri ve R^2 değerine göre bu deney seti için öğrenme metodu, katman sayısı ve katmanda kullanılacak nöron sayısına karar verilmiştir. Bu yapı bozulmadan program

içerisinden kullanılan transfer fonksiyonları, eğitim algoritmaları, döngü sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısı bu yapıda değiştirilebilecek parametreler olarak öngörülmektedir. Bu parametrelerle oynayarak ağı yapısı değiştirilebilmektedir.

Denemeler neticesinde epoch(döngü) sayısı 500 olarak tespit edilmiştir. Epoch sayısının 500 olarak tespiti çeşitli denemeler sonucunda 400-500 döngüden sonra artık sistemin öğrenmediği ve düz bir çizgiye yöneldiği gözlemlenmiştir. Bu da ağ yapısında artık öğrenme değil ezberleme riskini ortaya çıkarmaktadır. Çizelge 7.1 de oluşturulan YSA modelinin farklı algoritmalar ve farklı nöron yapılarındaki hata oranları gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Farklı algoritma ve nöron yapılarında elde edilen sonuçlar

Kullanılan Algoritma Tipi	Gizli Katman Sayısı	Nöron Sayısı	Eğitim Seti Hata Oranı RMSE		Test Seti Hata Oranı RMSE	
			Yüzey Sertliği	Yüzey Pürüzlülüğü	Yüzey Sertliği	Yüzey Pürüzlülüğü
LM	1	1	0,42	7,33	0,61	9,32
		2	0,27	7,53	0,29	6,13
		3	0,22	0,59	0,40	0,84
		4	0,27	4,92	0,37	6,76
		5	0,21	4,85	0,41	6,63
		6	0,25	4,19	0,31	7,94
		7	0,21	3,34	0,44	8,67
		8	0,2	3,36	0,46	12,23
		9	0,15	3,66	0,33	6,7
		10	0,16	2,82	0,46	8,92
		11	0,17	3,22	5,24	68,07
		12	0,16	3,44	0,46	9,19
	2	5-5	0,14	2,94	46,26	132,84
		6-6	0,18	2,44	0,62	14,76
		7-7	0,16	2,67	0,62	9,08
		8-8	0,03	0,36	0,85	35,96
		9-9	0,01	0,13	0,45	19,07
		10-10	0,01	0,12	0,66	20,31
		11-11	0,01	0,09	0,87	19,07

Çizelge 7.1(Devam) Farklı algoritma ve nöron yapılarında elde edilen sonuçlar

LM	2	12-12	0,01	0,16	0,48	10,12
		13-13	0	0,06	0,72	12,94
		14-14	0,01	0,13	0,66	12,99
		15-15	0,01	0,12	0,44	9,59
		16-16	0	0,04	0,55	9,66
		17-17	0,01	0,15	0,5	12,47
		18-18	0	0,19	0,54	11,91
		19-19	0	0,01	0,44	1,44
		20-20	0	0,03	0,43	9,72
SCG	1	1	0,4	6,52	0,46	8,26
		2	0,42	0,83	0,52	0,89
		3	0,27	5,32	0,26	6,62
		4	0,26	4,86	0,37	7,75
		5	0,25	4,18	0,33	6,59
		6	0,2	3,93	0,36	6,79
		7	0,2	3,68	0,38	11,11
		8	0,2	3,9	0,32	8,87
		9	0,17	3,12	0,41	7,04
		10	0,16	2,57	0,69	9,74
		11	0,18	3,15	0,43	7,53
		12	0,16	1,64	0,46	12,39
	2	5-5	0,21	3,9	0,38	7,42
		6-6	0,18	2,23	0,36	9,18
		7-7	0,13	2,28	0,53	10,97
		8-8	0,11	1,87	0,6	12,61
		9-9	0,08	1,06	0,6	15,29
		10-10	0,09	1,23	0,35	19,45
		11-11	0,02	0,35	0,64	15,6
		12-12	0,04	0,36	0,68	12,54
		13-13	0,02	0,24	0,54	12,12
		14-14	0,01	0,02	0,50	1,26
		15-15	0,02	0,17	0,52	13,42
		16-16	0,01	0,17	0,8	9,62
		17-17	0,01	0,13	0,54	9,37
		18-18	0,01	0,12	0,47	11,44
		19-19	0,01	0,18	0,49	10,54
		20-20	0,01	0,17	0,46	9,37
CGP	1	1	0,44	7,68	0,51	8,48
		2	0,26	5,09	0,45	7,45

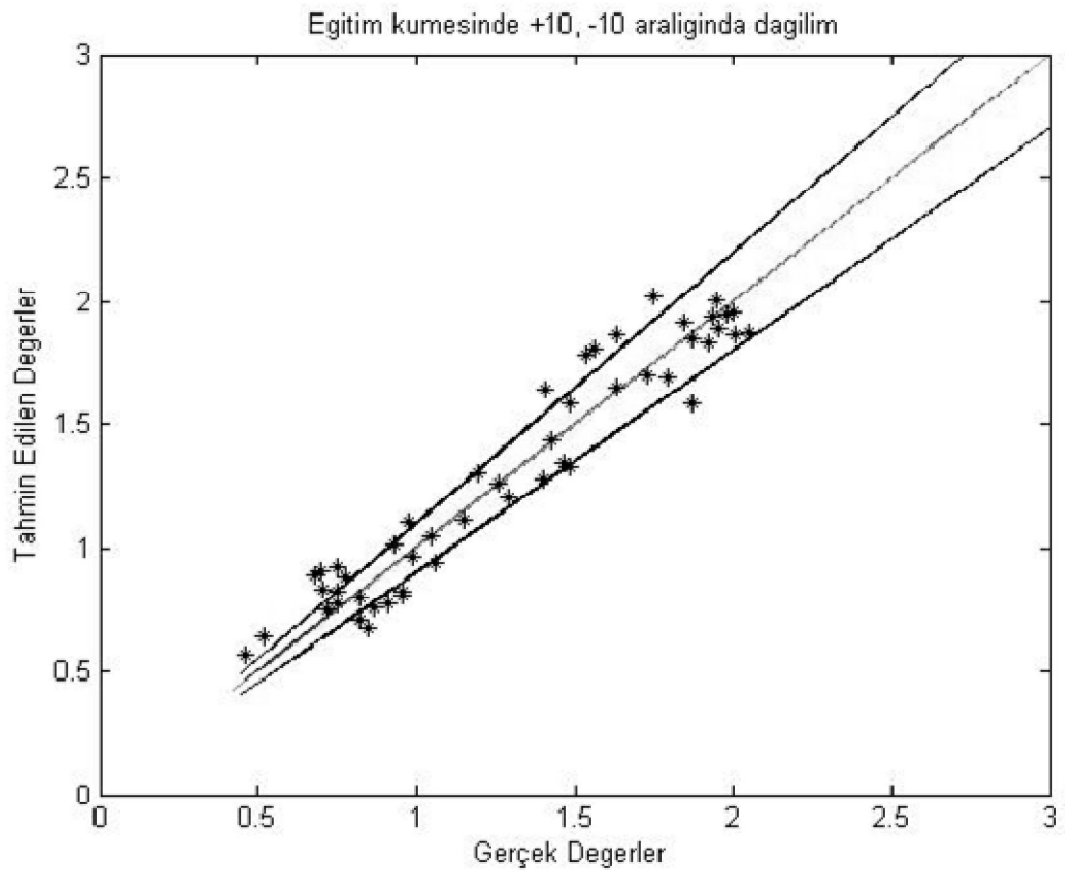
Çizelge 7.1(Devam) Farklı algoritma ve nöron yapılarında elde edilen sonuçlar

		3	0,28	0,59	0,31	0,75
		4	0,45	4,93	0,43	5,67
		5	0,24	4,49	0,38	7,43
		6	0,21	3,66	0,36	8,04
		7	0,22	3,7	0,34	8,22
		8	0,19	3,56	0,43	9,45
		9	0,18	3,34	0,39	8,24
		10	0,16	3,25	0,41	9,16
		11	0,19	2,59	0,37	11,18
		12	0,16	2,66	0,38	7,92
	2	5-5	0,19	4,02	0,34	9,8
		6-6	0,17	3,13	0,49	11,8
		7-7	0,11	3,41	0,47	12,03
		8-8	0,14	2,99	0,89	15,37
		9-9	0,09	1,76	0,93	20,97
		10-10	0,07	0,08	0,68	1,97
		11-11	0,07	0,79	0,89	19,54
		12-12	0,02	0,29	0,72	13,56
		13-13	0,01	0,18	0,58	10,61
		14-14	0,01	0,09	0,46	10,2
		15-15	0,01	0,11	0,47	9,91
		16-16	0,01	0,15	0,46	12,84
		17-17	0,01	0,19	0,65	16,93
		18-18	0,01	0,17	0,56	8,23
		19-19	0,01	0,09	0,45	8,1
		20-20	0,01	0,17	0,38	9,27

Çizelge 7.1 incelendiğinde test verilerinden elde edilen hata oranı açısından en iyi performansı Polak-Ribiere conjugate gradient [CGP] algoritması 1 gizli katman ve 3 nöronlu ağ modeli gerçekleştirmektedir.

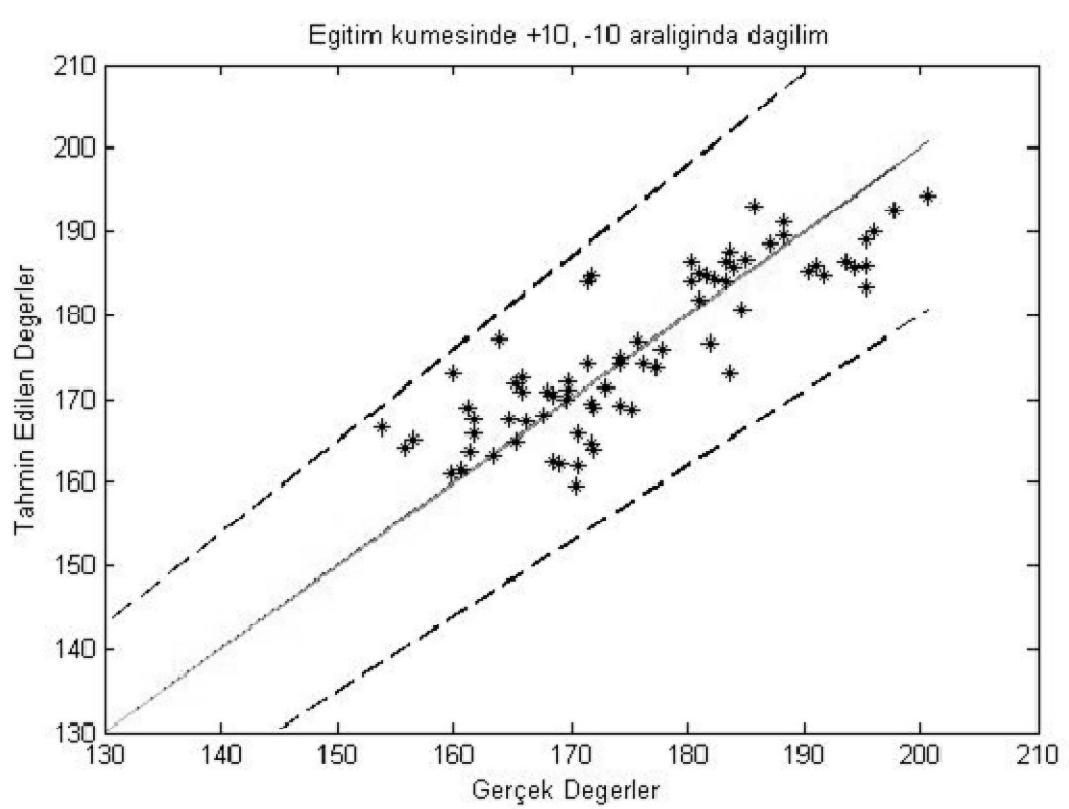
7.7.1. Polak-Ribiere conjugate gradient [CGP] algoritması kullanılarak yapılan 1 gizli katman 3 neron yapılı ağ sonuçları

Çizelge 7.1.'de birçok YSA denemesi yapılmış ve CGP algoritması ile en az hata oranına ulaşılabilmektedir. En iyi performansı veren CGP algoritması ile yapılan YSA modeline ait şekiller verilmiştir.



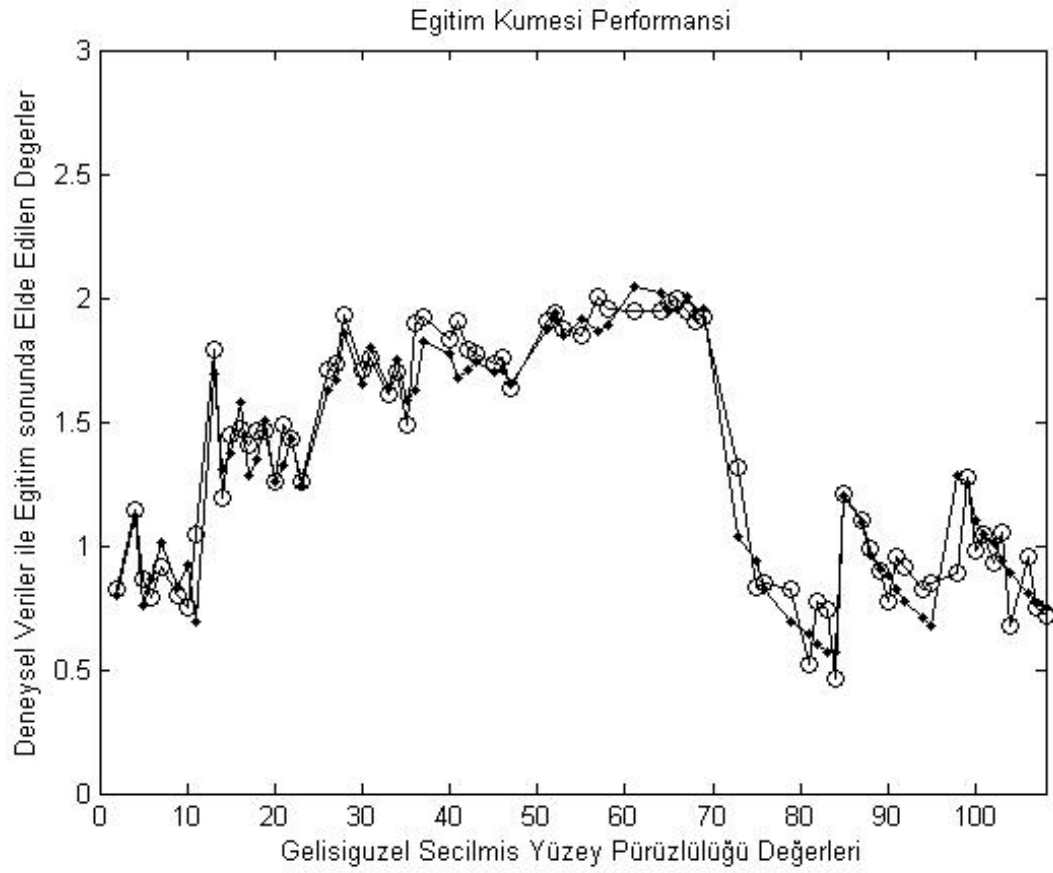
Şekil 7.12. Eğitim kümesi yüzey pürüzlülüğü dağılımı

Şekil 7.12'de yüzey pürüzlülüğü verilerinden oluşan eğitim kümesinin %10 hata payı sınırları içinde kalma durumu görülmektedir. Şekil 7.12'de görülen noktalar deney verilerini siyah çizgiler ise hata payı sınırlarını göstermektedir. Eğitim verilerinin kabul edilebilir hata sınırlarında olduğu görülmektedir.



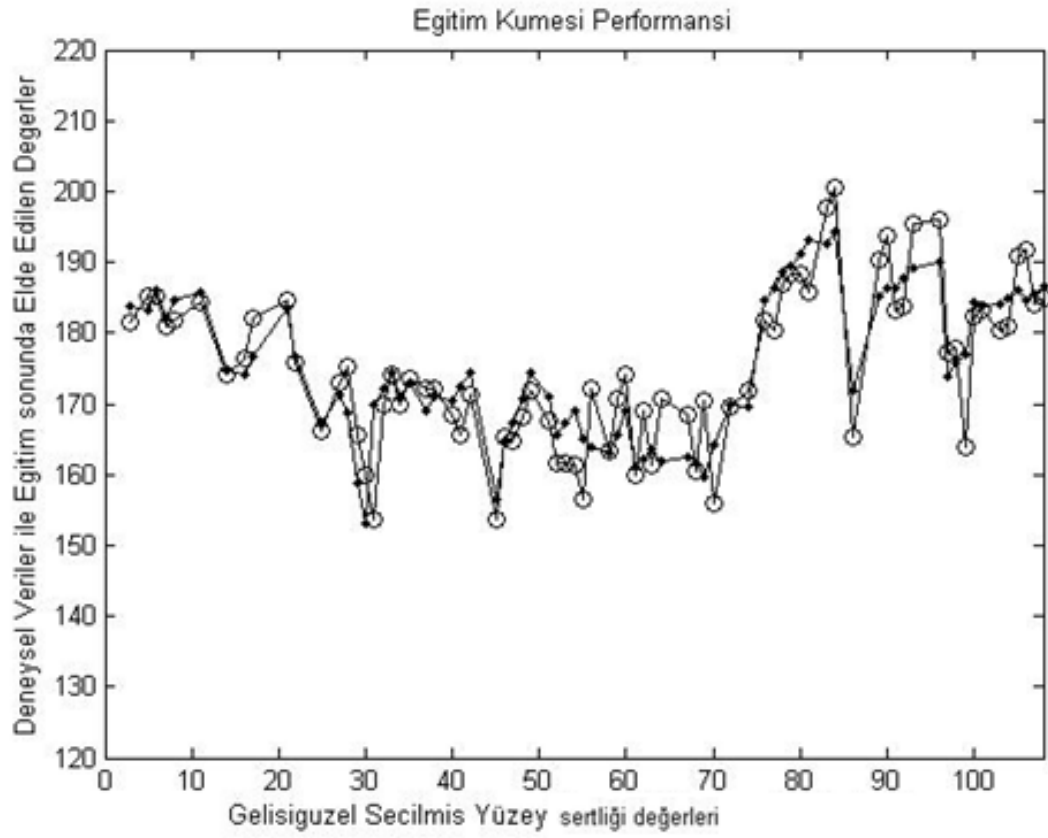
Şekil 7.13. Eğitim kümesi yüzey sertliği dağılımı

Şekil 7.13’de yüzey sertliği eğitim kümesinin %10 hata payı sınırları içinde kalma durumu görülmektedir. Şekil 7.13’de görülen noktalar deney verilerini siyah çizgiler ise hata payı sınırlarını göstermektedir. Yüzey sertliği verilerinin gerçek değerlerle oldukça iyi örtüştüğü ve kabul edilebilir hata sınırlarında olduğu görülmektedir.



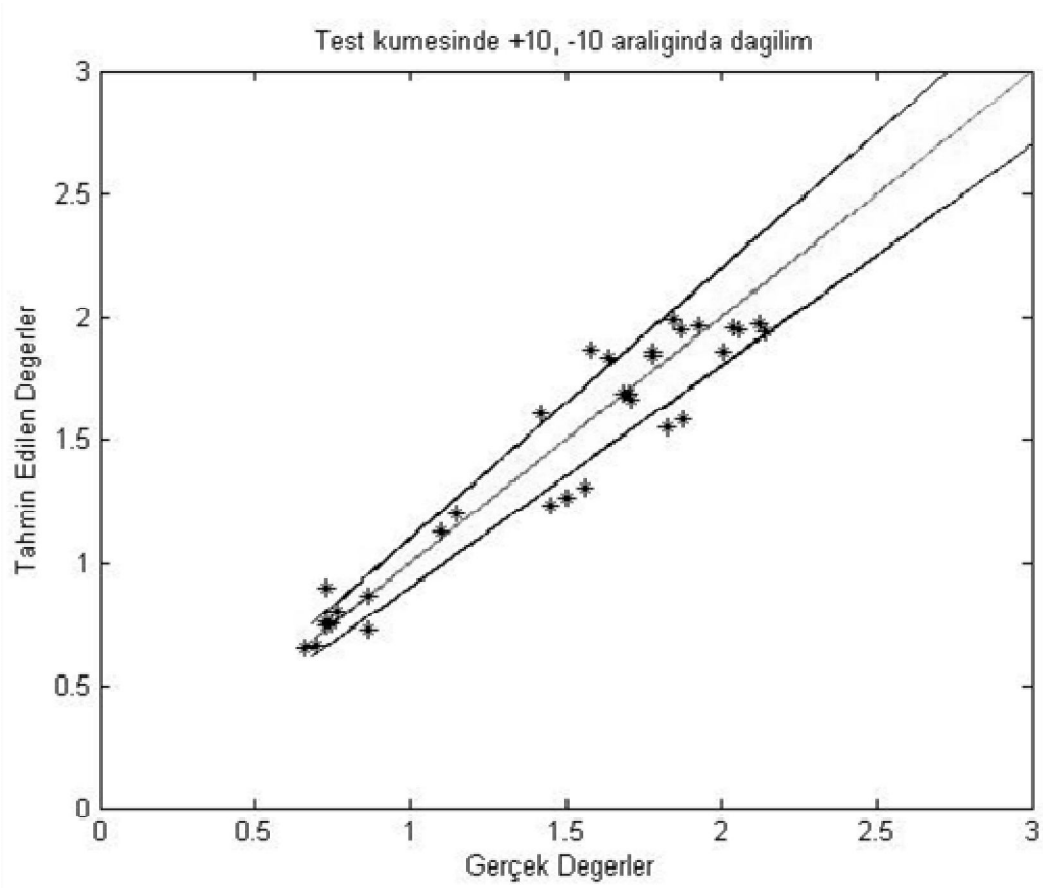
Şekil 7.14. Eğitim kümesinin yüzey pürüzlülüğü bakımından performansı

Şekil 7.14’de yüzey pürüzlülüğü eğitim kümesinin gerçek değerlerle örtüşme payı durumu görülmektedir.Şekil 7.14’de görüldüğü gibi eğitim verileri ile gerçek veriler neredeyse üst üste binmiş durumdadır.Yüzey pürüzlülüğü eğitim verilerinin düzenli bir dağılım sergiledikleri görülmektedir.



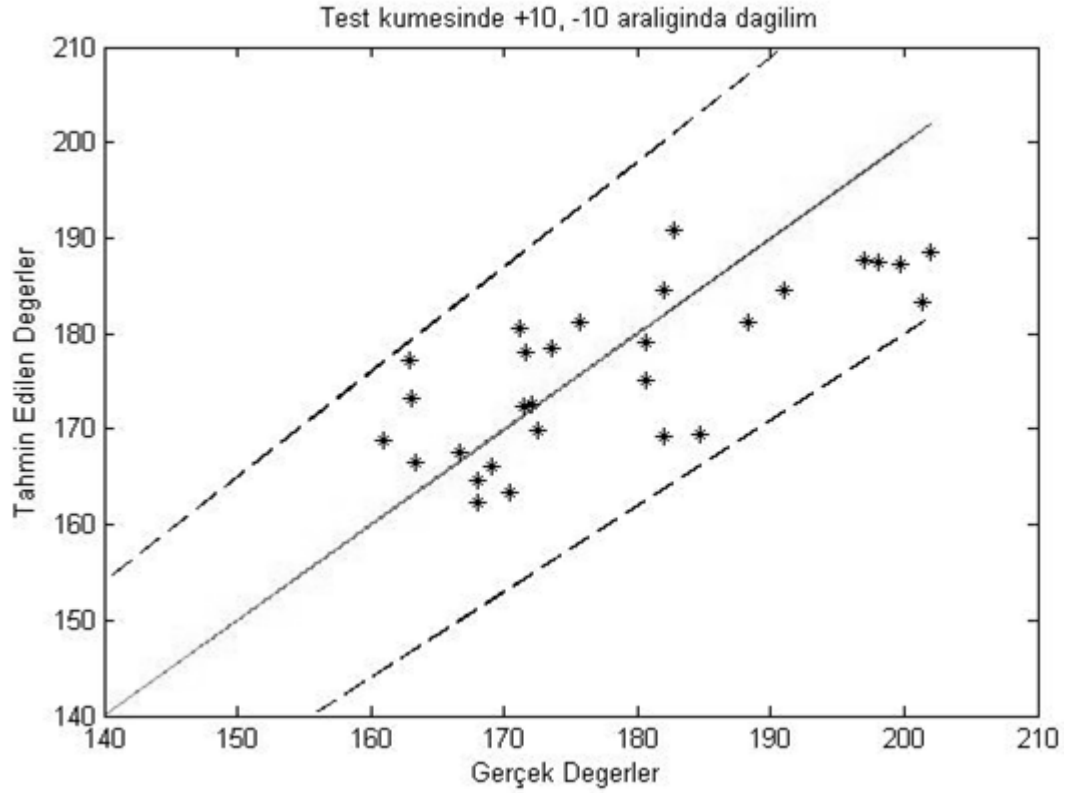
Şekil 7.15. Eğitim kümesinin yüzey sertliği bakımından performansı

Şekil 7.15’de yüzey pürüzlülüğü eğitim kümesinin gerçek verilerle uyuşma durumu görülmektedir.Şekil 7.15’de eğitim verilerinin gerçek verilerle oldukça yakın sonuçlar aldığı görülmektedir.



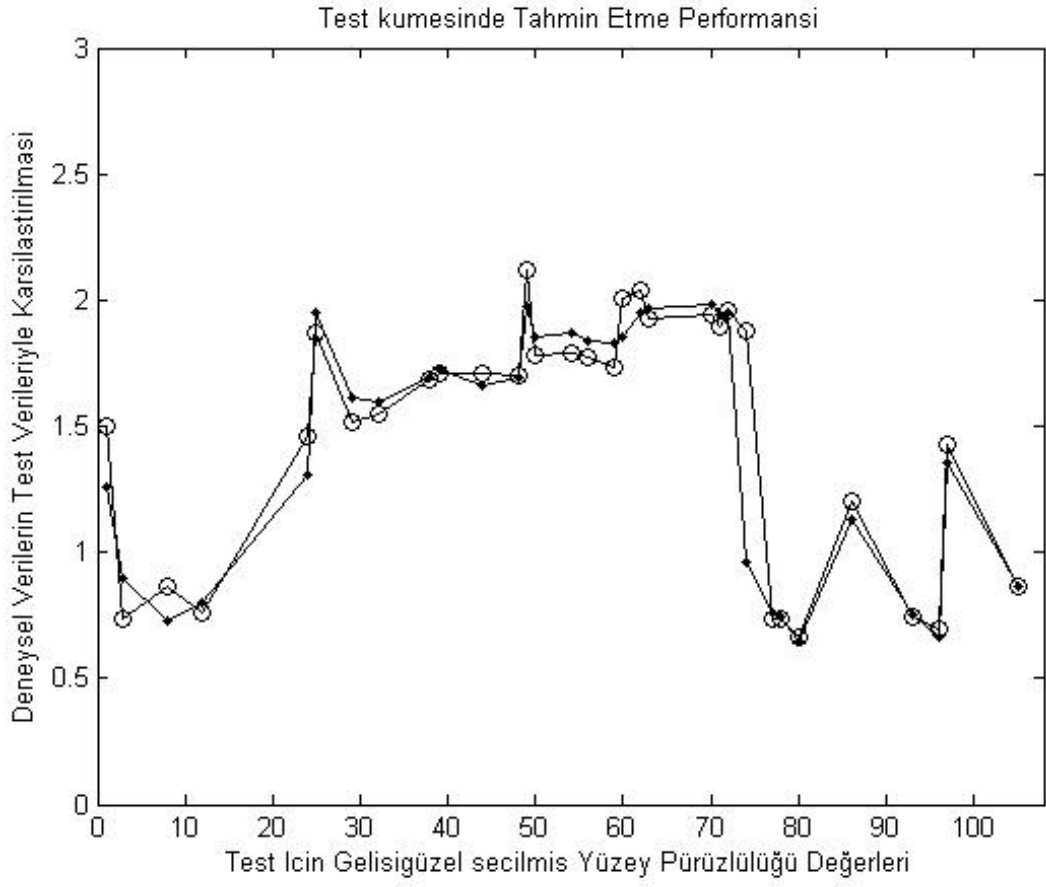
Şekil 7.16. Test kümesi yüzey pürüzlülüğü dağılımı

Şekil 7.16'da test kümesinin %10 hata payı sınırları içinde kalma durumu görülmektedir. Test verileri oluşturulan YSA modelinde rasgele ve %30 oranında alındığından daha az veri bulunmaktadır. Şekil 7.16'da görülen noktalar deney verilerini siyah çizgiler ise hata payı sınırlarını göstermektedir. Test verilerinin büyük çoğunluğunun kabul edilebilir hata sınırlarında olduğu görülmektedir.



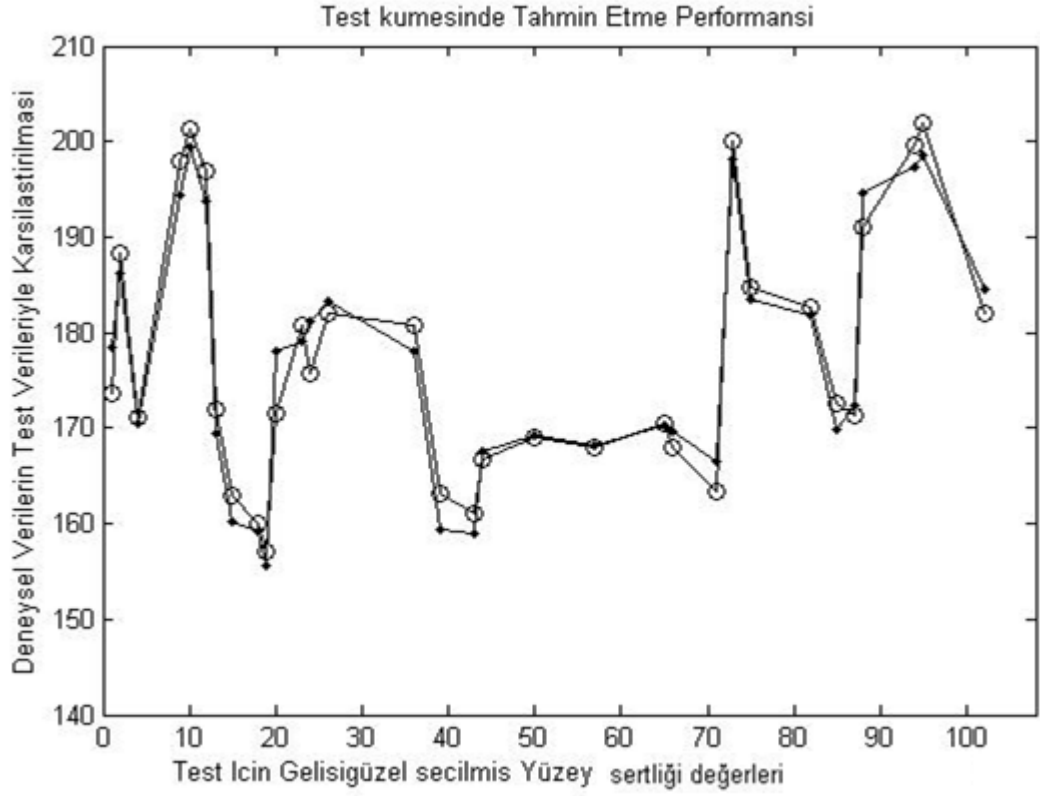
Şekil 7.17. Test kümesi yüzey sertliği dağılımı

Şekil 7.17’de yüzey sertliği test kümesinin %10 hata payı sınırları içinde kalma durumu görülmektedir. Şekil 7.17’de görülen noktalar deney verilerini siyah çizgiler ise hata payı sınırlarını göstermektedir. Test verilerinin kabul edilebilir hata sınırlarında olduğu görülmektedir.



Şekil 7.18. Test kümesi yüzey pürüzlülüğü bakımından performansı

Şekil 7.18’de yüzey pürüzlülüğü test kümesinin gerçek değerlerle örtüşme durumu görülmektedir. Şekil 7.18 incelendiğinde gerçek verilerle test verilerinin oluşturduğu iki eğrinin birbirileriyle örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 7.19. Test kümesi yüzey sertliği bakımından performansı

Şekil 7.19’da yüzey sertliği test kümesi eğrisi ile gerçek değerler eğrisinin örtüşme durumu görülmektedir. Şekil 7.19 incelendiğinde gerçek verilerle test verilerinin oluşturduğu iki eğrinin birbiriyle örtüşmektedir. Bu durum gerçeğe çok yakın sonuçlar alındığını göstermektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. Sonuç

Yapılan bu çalışmada haddeleme işleminde kullanılan ilerleme hızı, baskı kuvveti, paso sayısı ve aparat numarası gibi parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda haddeleme işleminin malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğine olumlu etkisinin olduğu yüzey karakteristiklerini iyileştirdiği belirlenmiştir. Yapılan deneylerin ardından deney verilerinden Yapay Sinir Ağı oluşturularak deney sonuçları ile YSA sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Alüminyum alaşım malzemeler üzerinde yapılan deneylerin ardından yapılan ölçümlerle baskı kuvvetinin artmasının yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki yaptığı görülmüştür. Baskı kuvvetinin artması yüzey sertliğini artırmıştır ancak 50N ile 65 N baskı kuvveti sonrası yüzeyin pürüzlülüğünün daha az azaldığı ve artan baskı kuvvetinin malzeme yüzeyini bozmaya başladığı görülmüştür.

Yapılan ölçümlerle baskı kuvvetinin artmasının yüzey sertliğine olumlu etki yaptığı ortaya çıkmıştır. Baskı kuvvetinin artması yüzey sertliğini artırmıştır.

İlerleme miktarının artışı, yüzey sertliğinin düşmesine sebep olmuştur. Elde edilen deney sonuçlarına göre, yüzey sertliği için en iyi değerler en düşük ilerleme hızlarında ortaya çıkmaktadır.

Alüminyum parçalarda İlerleme miktarının düşük olması en iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. 0.36 mm/dev ilerleme miktarında zaman zaman haddeleme aparatının sıvama yapması ile daha 0.24 mm/dev ilerleme hızından daha iyi yüzey pürüzlülüğü oluşturduğu görülmüştür.

Deney parçalarında paso sayısının artması hem yüzey pürüzlülüğünde hem de yüzey sertliğinde olumlu etki ettiği görülmektedir. Genel olarak artan paso sayısı deney malzemelerinin yüzey pürüzlülük değerlerini azalmış ve yüzey sertlik değerlerini arttırmıştır.

Üç farklı aparat kullanılmış ve bu aparatlardan hangisinin en iyi sonuç vereceği ile ilgili yapılan ölçümlerde hem yüzey sertliğindeki iyileşme ile hem de yüzey sertliğinde iyileşme ile en iyi sonucu bilyeli aparat almıştır. Makaralı aparat performans bakımından bilyeli aparatın gerisinde kalmıştır. Çift makaralı aparat ise en az yüzey iyileşmesine neden olmuştur.

Deney malzemeleri için Yapay sinir ağı modellemesi yapılmış Polak-Ribiere conjugate gradient [CGP], Scaled conjugate gradient [SCG] ve Levenberg-Marquardt [LM] hatayı geriye yayma eğitim algoritmaları kullanılarak en iyi ağ tespit edilmeye çalışılmıştır. YSA sonuçlarına göre Polak-Ribiere conjugate gradient [CGP] eğitim algoritmasının 1 gizli katmanlı ve her katmanda 3 nöron kullanılan oluşturulmuş ağ yapısı en iyi sonucu vermiştir. CGP algoritması ile oluşturulan ağın test verileri hata oranları dikkate alındığında elde edilen hata oranları yüzey pürüzlülüğü için 0.75 ve yüzey sertliği için 0.31 olarak elde edilmişlerdir.

Deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde haddeleme işleminde en önemli parametrelerin sırasıyla baskı kuvveti ve ilerleme miktarı olduğu söylenebilir. Haddeleme operasyonu sırasında kullanılan paso sayısı parametresinin de haddeleme işlemine olumlu etki sunmasına rağmen bu etkinin baskı kuvveti ve ilerleme miktarı kadar belirgin olmadığı görülmüştür. Alüminyum deney malzemeleri için en iyi yüzey pürüzlülük değeri (0.423 μm), 0.12 mm/dev ilerleme miktarı, 65 N baskı kuvveti, 1 paso sayısı şartlarında bilyeli aparat tarafından elde edilmiştir. Deneylerde en yüksek sertliği değeri (202 HB30), 0.24 mm/dev ilerleme miktarı, 80 N baskı kuvveti, 2 paso şartlarında bilyeli aparat tarafından elde edilmiştir.

Sonuç olarak; haddeleme işleminin bir sonlandırma operasyonu olarak etkili sonuç verdiği ve sonlandırma operasyonları arasında önemli bir yere sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

8.2. Öneriler

Haddelenme operasyonu ile ilgili ileride yapılması önerilebilecek çalışmalar

- Haddeleme metodunun, farklı malzemelerde de uygulanabilirliği araştırılabilir.
- Haddeleme parametrelerinin mikro sertliğe etkileri incelenebilir.
- Haddeleme parametrelerinin aşınma direncine etkileri ile ilgili çalışmalar yapılabilir.
- Elde edilen veriler Bulanık mantık (Fuzzy logic) tekniği ile yorumlanarak daha da iyileştirmeler sağlanabilir.
- Alüminyum alaşımların dışında, farklı alaşım ve malzemelerinin haddeleme işlemine gösterdiği tepkiler araştırılabilir.
- Haddeleme işlemine tabi tutulan malzemeler çekme deneyine tabi tutularak, mukavemetleri incelenebilir.

Şeklinde sıralanabilir.

KAYNAKLAR

1. Mendi, F., "Takım Tezgâhları Teori ve Hesapları", *Gazi Kitabevi*, ISBN: 975-06008-0-3, Ankara: 56-78 (1996).
2. Basak, H., "The Design and Manufacture of Burnishing Equipment and Burnishing Process with AL 7075 T6 Material " *Journal of Mechanical Engineering*, 53:12 (2007).
3. Hassan, A. M., Sulieman, Z.S. "Improvement in the wear resistance of brass components by the ball burnishing process" *Journal of Materials Processing Technology*, 96:73-80 (1999).
4. Hassan, A. D., Maqableh, A. M., " The effects of initial burnishing parameters on non-ferrous components" *Journal of Materials Processing Technology*, 102 :115-121 (2000).
5. Axir, M. H., Khabeery, M. M., "Influence of orthogonal burnishing parameters on surface characteristics for various materials", *Journal of Materials Processing Technology*, 132:82–89 (2003).
6. Klocke, F., Liermann, F., "Roller Burnishing of Hard Turned Surfaces" *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 38(5-6): 419-423, (1998).
7. Zhang, P., Lindemann, P., "Effect of roller burnishing on the high cycle fatigue performance of the high-strength wrought magnesium alloy AZ80, " *Scripta Materialia*, 130:81–89 (2005).
8. Axir, M. H., Ibrahim, A. A., " Some surface characteristics due to center rest ball burnishing " *Journal of Materials Processing Technology*, 167:47–53 (2005).
9. Khabeery, M. M., Axir, M. H., "Experimental techniques for studying the effects of milling roller-burnishing parameters on surface integrity" *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41:1705–1719 (2001).

10. Liviu, L., Sorin, N., Ioan, M., "Effects of working parameters on surface finish in ball-burnishing of hardened steels" *Precision Engineering*, 29:253–256 (2005).
11. János, K., József, D., András, S., György, F., "Magnetic Aided Roller Burnishing Metal Parts" *7th International Conference on Deburring and Surface Finishing*, 253–256 (2005).
12. Hongyun, L., Lijiang, W., Chuang, Z., "Study on the aluminum alloy burnishing processing and the existence of the outstripping phenomenon," *Journal of Materials Processing Technology*, 116:88-90 (2001).
13. El-Axir, M.H., "An investigation into roller burnishing" *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40:1603–1617 (2000).
14. Hassan, A. M., Momani, A. M. S., "Further improvements in some properties of shot peened components using the burnishing process" *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40:1775–1786 (2000).
15. Hassan, A.M., "An Investigation into the surface characteristics of burnished cast Al-Cu Alloys", *Int. J. Mach. Tools Manufact.* 37 (6):813-821 (1997).
16. Black, A. J., Kopalinsky, E. M., Oxley, P. L. B., "Analysis And Experimental Investigation Of A Simplified Burnishing Process ", *Int. J. Mech. Sci.*, 39(6) 629-641, (1997).
17. Hassan, A.M., Al-Jalil, H.F., Ebied, A.A., "Burnishing force and number of ball passes for the optimum surface finish of brass components", *Journal of Materials Processing Technology*, 83:176–179 (1998).
18. Yu, X., Wang, L., "Effect of various parameters on the surface roughness of an aluminium alloy burnished with a spherical surfaced polycrystalline diamond tool", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39:459–469 (1999).

19. Shiou, F-J.,Chen, C-H.,” Freeform surface finish of plastic injection mold by using ball-burnishing process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 140:248–254 (2003).
20. Hassan, A. M.,”The effects of ball- and roller burnishing on the surface roughness and hardness of some non-ferrous metals”, *Journal of Materials Processing Technology*, 72:385–391 (1997).
21. Stodolnik, B.T.,” The influence of burnishing on the contact fatigue life of rings in Rolling bearings.”, *Tribologia*, XXVII, 6 (150):753-759 (1996).
22. Basak, H., Goktas, H.,” Burnishing process on al-alloy and optimization of surface roughness and surface hardness by fuzzy logic”, *Materials and Design*, 30 (4):1275-1281 (2009).
23. Saraç, T.,“Yapay Sinir Ağları” ,**Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı Seminer Projesi**, 06-26 (2006).
24. Yurtoğlu, H.,” Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği”,Uzmanlık Tezi, *DPT Uzmanlık Tezleri*, DPT:2683:50-70 (2005).
25. Caudill, M., “Neural Network Primer Part 1”, *AI Expert*, December, 47 (1987).
26. Mehra, P. W., Benjamin, W., Artificial Neural Networks Concepts and Theory, **IEEE Computer Society Press**, Washington, 45 (1992).
27. Alexander, I., Morton, H., An Introduction to Neural Computing, *London: Chapman and Hall.*” 25-36 (1990).
28. Haykin, S., Neural Networks A Comprehensive Foundation, *Prentice Hall International, Inc*, 22-51 (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SÖNMEZ, Fikret
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 18.11.1981 Bornova
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (505) 3400516
 Faks : -
 e-mail : sonmezfikret@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitim	
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Eğitim	2005
Lise	Mersinli Teknik Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-	Muş Endüstri Meslek Lisesi	Teknik Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap okumak, Kültürel faaliyetler