

## **Yüzey İşleme Sürecinde Yüzey Sertliğinin İncelenmesi ve Yapay Sinir Ağları İle Yorumlanması**

**Bekir ÇIRAK\***

\* Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,  
Yunus Emre Yerleşkesi / KARAMAN

### **Özet**

Yüzey işleme, talaşlı imalatta son işlem operasyonu olarak kullanılmaktadır. Uygulandığı iş parçası yüzeylerinde sertliğin artması, malzeme yorulmasına karşı dayanıklılık ve aşınma direnci gibi avantajları da beraberinde getirmektedir. Yüzey işlemede kullanılan ilerleme, Yüzey işleme kuvveti, kullanılan aparat gibi parametreler iş parçasının yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Yüzey sertliğindeki iyileşmeler, malzemenin aşınma direncinin artması, malzeme yüzeyinde çatlak oluşturabilecek derinliklerin azaltılması vb. gibi durumlara sebep olur. Bu çalışmada dönel parçalar için yüzey işleme yapabilecek bir aparat ile talaşlı imalat işlemi yapılmıştır. Yüzeyler farklı parametreler kullanılarak yüzey işlemeye tabi tutulmuş ve parça sertliği sonuçları elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar ölçüm cihazı ölçülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar YSA (Yapay Sinir Ağları) ile yorumlanmış ve bu yorumlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

### **GİRİŞ**

Makine imalat sektöründe malzemenin kullanılacağı şartlara bağlı olarak farklı özelliklerde malzemelerin kullanılmasına ihtiyaç vardır. Her malzeme farklı sertlik 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 işlemde geçmiş parçalar istenilen yüzey sertliği kriterlerine ulaşmasına yardımcı olmaktadır. 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. İnsanoğlunun farklı ihtiyaçlarının giderilmesi ve istenilen şartlarda ürünlerin elde edilmesi için sonlandırma operasyonları kullanılmıştır. Bu operasyonlar malzemelerde istenilen şartların sağlanması amacıyla yapılmıştır. Üretim aşamasında bir malzemenin sertliği yeterli değilse ve daha fazla sertlik isteniyorsa ısıtma işlemi gibi ikincil işlemlere tabi tutulmaktadır. 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 gibi malzemenin yüzey karakteristiklerine olumlu etkileri olan ve fonksiyonel yüzeylerin talaş kaldırmadan, ezerek süper ince işlenmesinde uygulanan, hassas bir işleme tekniğidir.

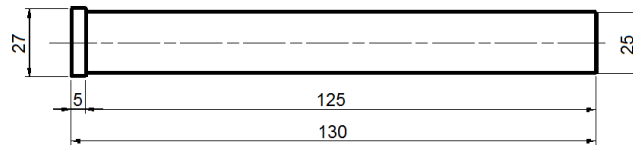
Yapılan literatür çalışmalarında Basak, haddeleme işlemi için alüminyum alaşım Al 7075 T6 malzemeler üzerinde elde edilen deneysel verileri Fuzzy Logic (Bulanık Mantık) yöntemiyle değerlendirmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde % 2,55 yüzey sertliğinde %0,62 hata ile bu yöntemin haddeleme için uygun olduğuna dikkat çekmişlerdir [1]. 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 [2]. Axir ve Khabeery, 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. [3]. 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 [4]. Janos ve arkadaşları, Haddeleme operasyonlarında manyetik prensiplerden faydalanmıştır. Manyetik destekli döner haddelemeyi bilyeler kullanarak tavlı çelikler üzerinde denemiş yüzey sertliğindeki iyileşmeyle birlikte çapakları elimine etmek içinde uygun bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır [5]. Stodolnik, fizik ve sürtünme bilimiyle ilgili parametreleri kullanarak NV206 tip bilyeli yatak iç halkası için haddelemenin etkilerini incelemiştir [6].

## 1. YÜZEY SERTLİĞİ VE HADDELEME

Taşlama gibi diğer sonlandırma operasyonlarında genellikle sadece yüzey pürüzlülük değerinde azalma oluşturur. Böylelikle tek bir açıdan yüzey kalitesinde artma meydana gelirken haddeleme işlemi ile malzeme yüzeyinde hem yüzey pürüzlülük değeri azalmakta hem de yüzey sertliğinde artışlar gözlenmektedir. Böylelikle haddeleme 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 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 metallere 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.

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 haddelemiş 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 [7]. Haddeleme işlemi için kullanılan torna tezgahı klasik bir universal tornadır. Bu çalışmada, haddeleme işleminde kullanılan ilerleme hızı, baskı kuvveti, paso sayısı gibi parametrelerin AISI 4340 paslanmaz çelik malzeme üzerindeki yüzey sertliğine etkileri araştırılmıştır. Deney malzemesi olarak  $\varnothing 25 \times 125$  mm boyutlarına sahiptir.(Şekil 1)



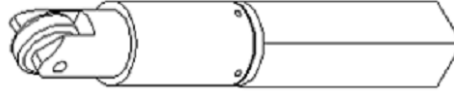
Şekil 1. Sertliği Ölçülecek Deney Malzemesi

Malzemenin temin edilen sertifikasına göre kimyasal bileşimi Çizelge 1' de verilmiştir [8].

Tablo1. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi

%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Ni	%Cr	%Mo	%Cu	%N	%Co
0,023	1,27	0,44	0,021	0,034	10,10	16,17	2,13	0,45	0,043	0,16

Haddeleme işlemi torna tezgahı supportuna bağlanan makaralı bir aparat ile yapılmıştır. 3 aşamada yapılan bu haddeleme işleminde her aşamasında supporta farklı ilerleme miktarları verilerek farklı basınç kuvvetleri elde edilmiştir. Şekil 2’ de makaralı aparat görülmektedir.



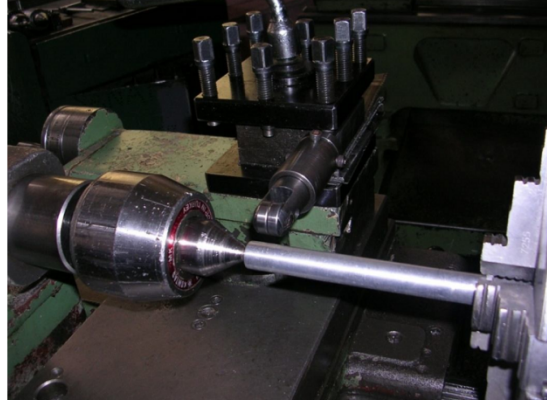
Şekil 2. Makaralı aparat

Haddeleme işleminin yüzey sertliğine 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 ile yapılan haddeleme (paso) sayısı değişkenlerinin etkileri incelenmiştir [9]. Bu parametreler Çizelge 2’de görülmektedir. Tablodan da anlaşılacağı gibi bu parametrelerin her seferinde sadece bir tanesi değiştirilerek deneyler yapılacaktır. Torna tezgâh üzerinde yapılacak haddeleme deneyleri öncesinde, haddelenecek parçalara uygulanacak baskı kuvvetini (N) ayarlamak için yük ölçer kullanılmıştır. Torna tezgâhında haddelenecek parça için baskı kuvvetlerine eşit olan spot ilerleme miktarları tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 2’ de verilmiştir.

Tablo 2. Haddeleme işleminde kullanılacak baskı kuvveti için gerekli spot İlerlemesi

Baskı Kuvveti (N)	Sport İlerlemesi (mm)
25	5
45	9
65	13
85	16

Torna tezgâhında spot ilerlemesi torna tezgâhının yapısal özelliği dolayısı ile normal değerinin yarısı kadardır diğer bir ifade ile torna tezgâhında spot’ dan verilen 1 mm lik ilerleme 0,5 mm’ lik ilerlemeye eşdeğerdir. Bu özellikten dolayı spotdan verilen ilerlemeyi Çizelge 2’ de görülen değerlerin iki katı kadar alınması gerekmektedir. Haddeleme operasyonunda kullanılan makaralı aparat ile yapılan haddeleme işlemi Şekil 3’ de görülmektedir [10].



Şekil 3. Haddelme İşlemi

Torna tezgahı üzerinde haddelme işlemine geçilerek, kullanılan tüm numuneler kendilerine ait parametrelere göre haddelme işlemine tabi tutulmuştur. Torna tezgahının devir sayısı tüm deneylerde 750 d/dk olarak alınmıştır. Çizelge 1 de görüldüğü gibi sırayla haddelme işlemine tabi tutulmuştur. Haddelme sonrasında alınan deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler YSA (yapay sinir ağları) yöntemi ile değerlendirilip deney sonuçları ile YSA sonuçları karşılaştırılmıştır. Böylece yüzey sertliğinde 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. DENEY VE PARAMETRELER**

Deneyler için yapılacak olan farklı deney veri sayısı 60'dır. Bu deneylerin sonucunda yüzeylerde meydana gelen yüzey sertliği değerleri ölçülerek hazırlanan deney kartlarına işlenmiştir. Her deney numunesinden 1 adet yüzey sertliği ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu ölçülen değerlerin ortalaması alınarak o deney numunesinin belirlenen işleme şartlarına bağlı olarak ortalama yüzey sertliği değerlerine ulaşılmıştır. Dolayısıyla 60 deney için 60 yüzey sertliği değeri ölçümü yapılmıştır. Bu sonuçların değerlendirmesi yapılarak deney parametresi olarak kullanılan değişkenlerin yüzey sertliğine hangi oranlarda ve ne şekilde etki ettikleri sonucuna yorumlama aşamasında ulaşılmaya çalışılmıştır.

Yüzey işleme işleminin etkisinin ve bu etkinin parametrelerce hangi yönde etkilendiğinin tespiti için yüzey işleme öncesi ve sonrası yüzey sertliği ölçümleri yapılmıştır. Yüzey işleme öncesinde yapılan ölçümler ham verileri oluşturmaktadır. Yüzey işleme sonrası veriler ise değişimi gösterecektir.

Yüzey sertliği ölçümleri için Teknik Lise bünyesindeki ölçme laboratuvarında bulunan DIGIROCK-RBOV digital sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Yüzey sertliği ölçümlerinde sertlik ölçüm cihazının ölçtüğü sertlik değerleri değiştirilmeden kullanılmıştır. Bu yüzey sertlik değerleri Rockwell sertlik türünde Superficial Mod ta 1/16" küresel batma tipinde ve 15 T işlem türünde yapılmıştır. Yapılan ölçümler Brinell (HB30) sertlik birimine çevrilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Yüzey Sertliği ölçüm cihazı ( DIGIROCK-RBOV digital )

Deneyler sonrasında ölçüm cihazlarıyla yapılan ölçümlerin tüm deney sonuçları Çizelge 3 de görülmektedir.

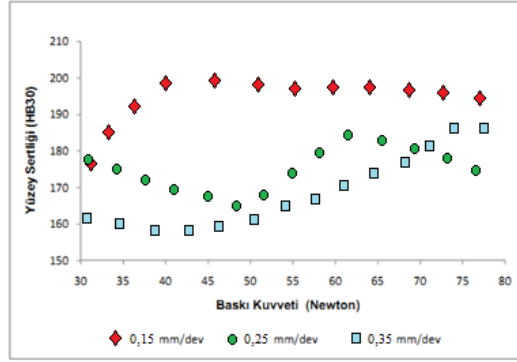
Tablo 3. Deneyler sonucunda elde edilen ölçüm değerleri

De ney No	Giriş			Çıkış	YSA
	İlerle me Miktarı (mm/devir)	Baskı Kuvveti ( N )	Paso Sayısı (1~2~3)	Yüzey Sertliği (Brinell)	
1	0,15	30	1	155,4	Bu değerlerin ilk 30 adedi eğitim için, diğer 30 adedi test için kullanılmıştır.
2	0,35	40	2	167,05	
3	0,35	50	3	170,31	
4	0,15	60	2	186,54	
5	0,25	70	3	197	
6	0,25	80	1	197,38	
.....					
54	0,35	75	1	160,45	
55	0,35	65	1	166,96	
56	0,25	55	2	172,91	
57	0,15	45	2	189,53	
58	0,15	35	3	196,25	
59	0,25	50	3	198	
60	0,25	70	1	150,27	

Burada kesici takımın ilerleme miktarı (mm, iş parçasının her bir devrine (dönmesine-turuna) tekabül etmektedir (mm/d).Haddelme aparatı ile yapılan yüzey işlemede İlerleme hızı, baskı kuvveti ve paso Sayısının yüzey sertliği üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi yapılırken deneylerin tamamında tezgah devri 750 d/dk kullanılmıştır.

## 2.1. İlerleme ve Baskı Kuvvetinin Yüzey Sertliğinin Üzerindeki Etkisi

Burada makaralı aparatın bağlı olduğu support 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 5’de görülmekte olan 3 farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.

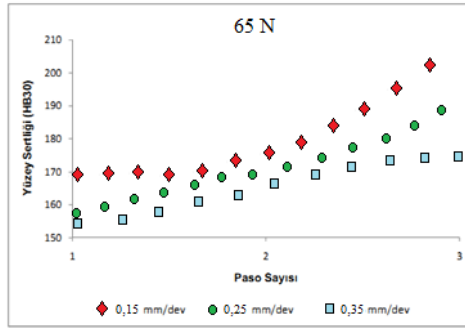


Şekil 5. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

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.

## 2.2. İlerleme Hızı ve Paso Sayısının Yüzey Sertliğine Etkisi

Burada makaralı aparatın ilerleme hızı ve Paso sayısı değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve diğer değişken olan baskı kuvveti değeri sabit alınmıştır. Şekil 6'da baskı kuvveti 65 N alınmış ve bu durumdaki yüzey sertliğindeki etkisi gözlenmektedir.



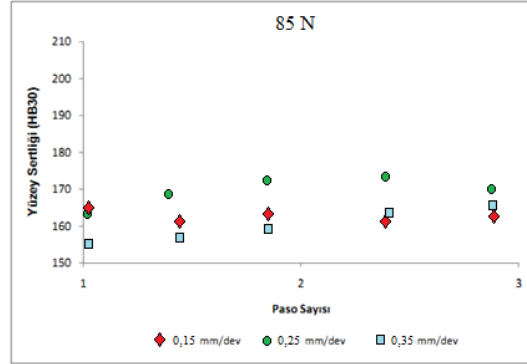
Şekil 6. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

Baskı kuvvetinin sabit olarak belirlendiği bu deney setinde paso sayısının artmasının yüzey sertliğine olumlu etki yaptığı gözlenmektedir. Artan paso sayısının yüzey sertliğini artırdığı 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.

## 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 85 N iken yüzey

pürüzlülüğü etkisi gözlenmektedir. Şekil 7’de görülmekte olan 3 farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.

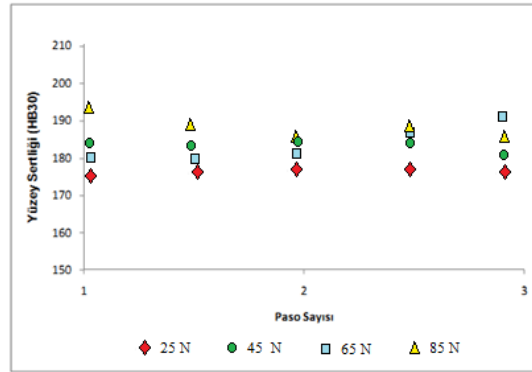


Şekil 7. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

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.

## 2.4. 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 8’de ilerleme hızı 0,35 mm/dev seçilerek yapılan bu deneyde deney parametrelerinin malzemenin yüzey sertliğine etkisi gözlenmektedir. Şekil 8’de görülmekte olan 3 farklı ilerleme eğrisinin her noktasında aynı parametreler bulunmaktadır.

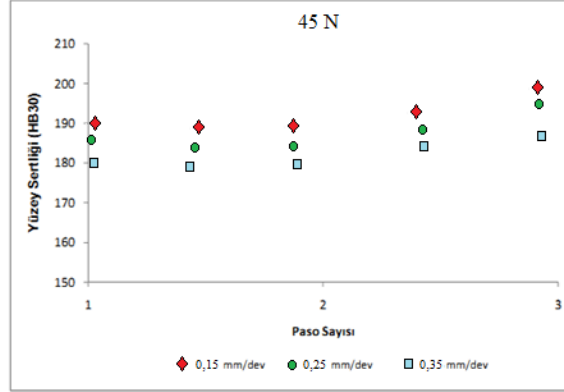


Şekil 8. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

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.

## 2.5. 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 45 N iken yüzey pürüzlülüğü etkisi gözlenmektedir (Şekil9).

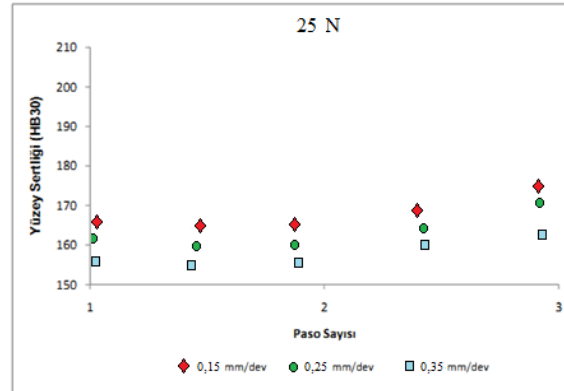


Şekil 9. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi

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.

## 2.6. 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 25 N iken yüzey pürüzlülüğü etkisi gözlenmektedir (Şekil10).

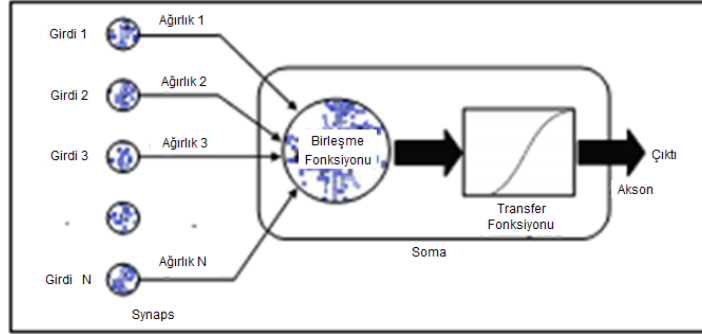


Şekil 10. İlerleme hızı ve baskı kuvvetinin yüzey sertliğine etkisi



### 3. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

YSA, birbirine bağlanmış ve hiyerarşik yapıda olan basit işlem elemanlarının (yapay sinir hücreleri) yoğun bir paralel dizisi ve verilen girdilere karşı çıktı üretebilen bir Kara Kutu olarak ta tanımlanabilir. İnsan beyni, sinir hücrelerinin (nöronlar) ve bunların birbirleriyle bağlantılarıyla oluşan iletişim ağıyla, görmeyi, hareket etmeyi, öğrenmeyi, hafızaya almayı ve düşünmeyi mümkün kılar. Bir sinir hücresinin analizi, YSA'nın oluşturulmasında temel teşkil ettiğinden önem arz eder. Her sinir hücresinin bilgi toplama ve bunu işleyerek diğer hücelere gönderme özelliği vardır. İşlem elemanları; girdiler, ağırlıklar, birleşme (toplama) fonksiyonu, transfer (aktivasyon) fonksiyonu ve çıktı olmak üzere 5 elemandan oluşur. (Şekil 11)



Şekil 11. Yapay Sinir Hücresi Yapısı

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin varsayılan çalışma prensiplerine göre tasarlanmış olup, öğrenme ve paralel çalışma özellikleri sayesinde hacmi geniş ve karmaşık sistemlerde kısa sürede sonuçlar üretebilmektedir. Bir ağın mimarisi, ağın bağlantı tarzı ve işlem elemanlarının katman yapısına bağlı olarak tanımlanır. Bir yapay sinir ağı genellikle girdi katmanı, gizli katman(lar) ve çıktı katmanından oluşur. Ayrıca doğrusal olmayan tasarım problemlerini de çok iyi modelleyebilmektedir. YSA günümüzde çoğu alanda büyük bir hızla kullanılmaya devam etmekte olup, sınıflandırma, tahmin, kontrol sistemleri, optimizasyon ve karar verme gibi bazı uygulamaları bulunmaktadır. Son yıllarda YSA'nın modelleme ve tahmin amaçlı kullanımı artmıştır [11].

Yapılan analizden temel ihtiyaç ve sınırlandırma değişkenleri YSA'da girdi katmanındaki verileri temsil etmektedir. Diğerleri bu ana değişkenlere bağlı yada yardımcı işlemler olduğu için girdilere katılmamıştır. Çünkü temel girdi değişkenleri ile çıktı ilişkisini YSA yardımcı işlemlere gerek kalmadan kurabilmektedir. Aslında bu işlemler girdilere katılmış olsa dahi YSA çıktısı değişmeyecektir. Fakat bu durum, girdilerin sayısının artarak veri tabanının genişlemesine, dolayısıyla eğitime işleminin süresinin uzamasına neden olacaktır. YSA modelinde birleşme fonksiyonu olarak (1)'de verilen ağırlıklı girdileri toplayan "toplam fonksiyonu", transfer fonksiyonu olarak ta (2)'de verilen Logistic Sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. İhtiyaç ve sınırlandırma girdileri ve çıktı katmanındaki veriler (0, 1) aralığında normalize edilmiştir [12].

$$NET_i = \sum w_{ij} \cdot x_j + w_{bi} \quad (1)$$

$$f(NET_i) = \frac{1}{1 + e^{-NET_i}} \quad (2)$$

### **3.1. YSA'da Eğitim ve Öğrenme**

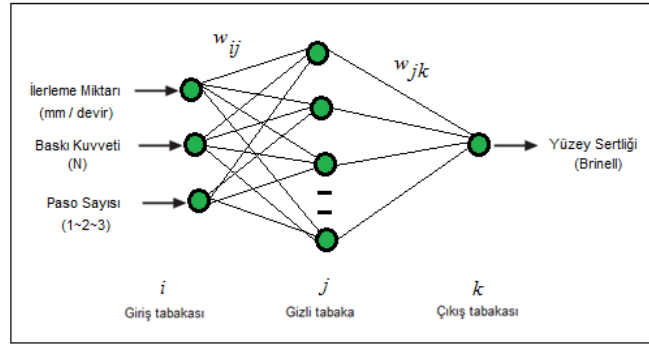
Bir sinir ağında öğrenmenin anlamı, ağın belirli bir probleme ait giriş ve çıkış verileri arasında doğru çıktıları üretmesini sağlayacak YSA içindeki tüm bağlantı ağırlıklarının optimum değerlerinin bulunmasıdır. Bu işlem öngörülen çıkış ile istenilen çıkış arasındaki hata belli bir değerin altına düşene ya da eğitim işlemi belli bir tekrar sayısına ulaşıncaya kadar devam eder. Dolayısıyla öğrenilen bilgi, işlem elemanları arasındaki bağlantı hatları üzerinde saklanır ve ağırlıklar vasıtasıyla gösterilir. Bu ağırlıklar ilgili problemin belirli özelliklerini hafızada saklayan elemanlar gibi düşünülebilir. Bilgi işleme ise, bir olay gösterildiğinde hafızadan ilgili özellikleri çağırarak ve bunlar ile ilgili girdileri birlikte analiz ederek karar vermek şeklinde yorumlanabilir. 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 ile belirlenir. Çok az işlem eleman sayısı öğrenme oranını düşürdüğü gibi, çok fazla işlem eleman veya gizli katman sayısı da öğrenmeyi yavaşlatmakta veya bazı durumlarda zorlaştırmaktadır. Öğrenme işlemi için, genellikle, bir eğitim algoritması kullanılır ve bir öğrenme örneğine göre ağırlıkların nasıl düzenleneceği bu algoritma tarafından belirlenir [13].

MATLAB 6.5 - Neural Networks toolbox sekmesi altında yapılan YSA çalışmalarında eğitim işleminin ilk adımında, hangi eğitim algoritmasının kullanılacağı belirtilir. Gizli katman sayısının bir veya daha fazla olması için düzenleme yapılarak; girdi, gizli ve çıktı katmanları işlem elemanları sayısı girilir. Katman sayısı girildikten sonra iterasyon sayısı kullanıcı tarafından girilir ve eğitim işlemine başlar. İterasyon bitene kadar veya istenen hata miktarına ulaşıncaya kadar eğitim devam eder. Eğitim işlemi bitince Şekil 12'de verilen, analitik hesap sonuçlarına karşılık gelen YSA model temsili sonuçları, hem eğitim seti hem de test seti için grafikler halinde sunulmuştur. YSA modelinin deneme-yanılma yoluyla değişik eğitim algoritmaları, ağ yapısı (gizli katman sayısı ve 5'den 7'ye kadar işlem elemanları) değiştirilerek eğitim ve test işlemleri tekrarlanmıştır. Analitik hesap sonuçları ve YSA modeli sonuçları istatistiksel hata analizleri ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel hata analizlerinde eğitim kümesinin performansı ile test kümesinin performansı birlikte değerlendirilmiştir (Çizelge 4).

Tablo 4. Hata Analizi

Parametre			Eğitim			Test		
Algoritma	Gizli Katman	Çıkış	RMSE	R <sup>2</sup>	OYH	RMSE	R <sup>2</sup>	OYH
SCG	5	H <sub>B</sub>	0.007044	0.999578	10.41185	0.007075	0.999808	1.308483
SCG	6	H <sub>B</sub>	0.032583	0.985837	9.326862	0.030351	0.990844	1.834447
SCG	7	H <sub>B</sub>	0.010428	0.999586	1.818961	0.010382	0.985896	10.86739
LM	5	H <sub>B</sub>	0.036946	0.988445	1.137633	0.025351	0.988762	1.146202
LM	6	H <sub>B</sub>	0.007462	0.999788	1.303328	0.007375	0.999792	10.29113
LM	7	H <sub>B</sub>	0.040752	0.985942	10.87154	0.010288	0.999595	1.882672

Burada, ele alınan yapı deneme yanılma ile arama sonucu, SCG algoritması LM'ye göre daha iyi öğrenme gerçekleştirmiş. Fakat LM algoritması eğitim algoritmasındaki örneklerin çok yavaş öğrendiği, gizli katman sayısı arttıkça öğrenme işlemini gerçekleştiremediği görülmüştür. SCG algoritması 7 gizli katmanlı YSA modeli en az hata değerinde yani daha iyi öğrenme gerçekleştirmiş ağ mimarisini seçilmiştir (Şekil 12). Sonuçta, YSA modeli ağ yapısı Şekil 12'de görüldüğü gibi silindirik düz dişli çarklar için, girdi katmanında 3 girdi elemanı, gizli katmanında 7 gizli elemanı ve çıktı katmanında 1 çıktı elemanından oluşmaktadır.



Şekil 12. YSA Modeli Ağ Yapısı

### 3.2. YSA Uygulaması

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 12 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 sütün 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 gerçekleştirilirse ve deney setinin tümü eğitim için kullanılırsa YSA sadece eğitim verilerini tanır. Bu da aşırı eğitime (ezberleme) ile sonuçlanacaktır. Bu durum YSA da istenmeyen bir durumdur. Kullanılan YSA programında tüm deney verilerinin % 30 eğitim ve % 30 test olarak sınıflandırılmıştır. Bu oranlar programın içerisinde deney setinden rastgele olarak alınan deney sonuçları ile yapılmaktadır. YSA programı çalıştırıldığında tüm veriler içinden % 30'u rastgele olarak alınmakta ve eğitim için kullanılmaktadır. Geri kalan % 30 luk kısım ise test verilerini oluşturmaktadır.

Bir YSA modelinin performansı, gerçek çıktı değerleri ile YSA modelinin oluşturduğu çıktı değerleri arasındaki sapma miktarına (hata) ağılıdır. Bu hata miktarlarının analizi için üç istatistiksel değer kullanılmıştır. Bunlar RMS istatistiksel hata miktarı (root-mean-squared), (mutlak değişim yüzdesi), OYH (ortalama yüzde hata) değerleridir. Bir YSA modelinin performansı, RMS değerinin düşük olmasına, değerinin 1'e yakın olmasına ve OYH değerinin düşük olmasına ağılıdır. Buna göre yukarıdaki veri örneği, çok düşük bir sapma ile YSA modeli tarafından çözümler. Çizelge 3 incelendiğinde yapılan YSA modelinin performansının oldukça iyi olduğu görülmektedir. RMS değerleri çok düşük,  $R^2$  değeri 1'e oldukça yakın ve OYH değerinin düşük olduğu görülmektedir. 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 eğitim algoritmaları, ağ yapısı (gizli katman sayısı, gizli katman işlem elemanları) değiştirilir. Eğitim ve test işlemleri tekrarlanır.

### 3.3. YSA'da Test İşlemi

YSA'nın iyi eğitilip eğitilmediğini anlamak için, YSA'ya eğitim verilerinden başka daha önce hiç görmediği test verileri sunulur ve doğru sonuçlar verip vermediği kontrol edilir. Karşılaştırma amacıyla, istatistiksel hata RMSE (Root-Mean-Squared Error), mutlak değişim yüzdesi  $R^2$  (absolute fraction of variance) ve Ortalama yüzde hata OYH (mean error percentage) gibi istatistiksel değerler kullanılmıştır. Bu değerler aşağıdaki eşitliklerle verilir;

İstatistiksel Hata Miktarı,  
$$RMS = \left[ \frac{1}{p} \sum_j |t_j - o_j|^2 \right]^{1/2}$$

(3) Mutlak Değişim Yüzdesi,  
$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right]$$

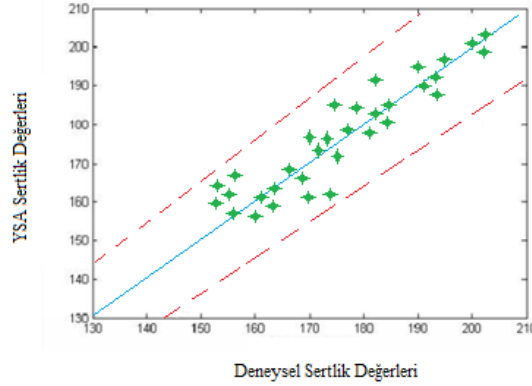
(4) Ortalama yüzde Hata,  
$$OYH \% = \frac{\sum_j \left( \frac{t_j - o_j}{t_j} \times 100 \right)}{p}$$

(5) Burada; t hedef değer, o çıkış değeri, p örnek adedidir [14].

### 3.4. YSA Sonuçları

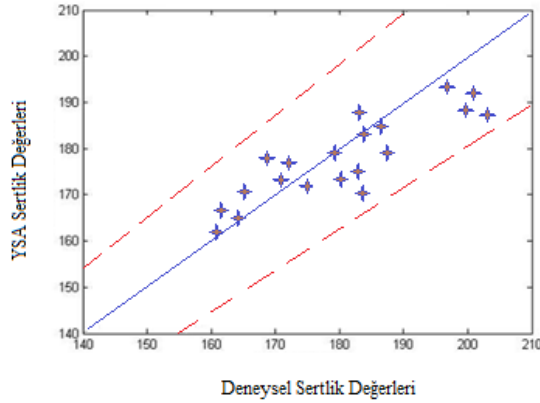
Yapay sinir ağının kurulmasından sonra hatayı geriye yayma algoritmalarından bu deney seti için en uygun olan eğitim algoritması tespit edilmek istenmiştir. Bu öğrenme ve eğitime işleminden sonra da en uygun RMS değeri ve  $R^2$  değerine göre bu deney seti için öğrenme metodu, katman sayısı ve katmanda kullanılacak nöron sayısına karar verilmiştir. Bu yapı bozulmadan kullanılan transfer fonksiyonları, eğitim algoritmaları, döngü sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısı bu yapıda değiştirilebilecek parametreler olarak öngörülmektedir. Bu parametrelerle oynayarak ağ yapısı değiştirilebilmektedir [15].

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 3’de oluşturulan YSA modelinin farklı algoritmalar ve farklı nöron yapılarındaki hata oranları gösterilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde test verilerinden elde edilen hata oranı açısından en iyi performansı conjugate gradient [CGP] algoritması 1 gizli katman ve 3 nöronlu ağ modeli gerçekleştirmektedir. Çizelge 3’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.



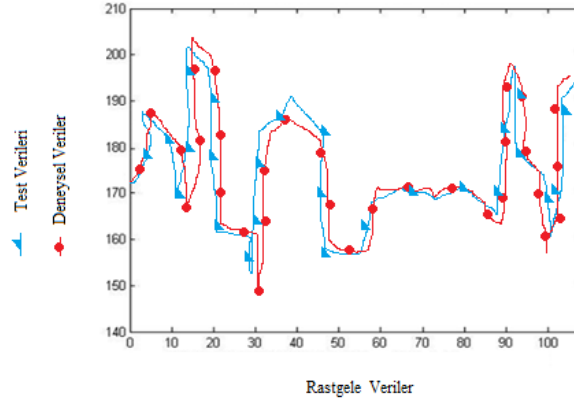
Şekil 13. Eğitim kümesi yüzey sertliği dağılımı

Şekil 13’de yüzey sertliği eğitim kümesinin %10 hata payı sınırları içinde kalma durumu görülmektedir. Şekil 13’de görülen noktalar deney verilerini siyah çizgiler ise hata payı sınırlarını göstermektedir. Yüzey sertliği verilerinin gerçek değerlerle oldukça iyi yakınsadığı ve kabul edilebilir hata sınırlarında olduğu görülmektedir.



Şekil 14. Test kümesi yüzey sertliği dağılımı

Şekil 14’de yüzey sertliği test kümesinin %10 hata payı sınırları içinde kalma durumu görülmektedir. Şekil 14’de görülen noktalar deney verilerini siyah çizgiler ise hata payı sınırlarını göstermektedir. Test verilerinin kabul edilebilir hata sınırlarında olduğu görülmektedir.



Şekil 15. Test kümesi yüzey sertliği bakımından performansı

Şekil 15’de yüzey sertliği test kümesi eğrisi ile gerçek değerler eğrisinin yakınsaması görülmektedir. Şekil 15 incelendiğinde gerçek verilerle test verilerinin oluşturduğu iki eğri birbirleriyle yakın bir iz oluşturmaktadır. Bu durum gerçeğe çok yakın sonuçlar alındığını göstermektedir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada yüzey işlemede kullanılan ilerleme hızı, baskı kuvveti ve paso sayısı gibi parametrelerin yüzey sertliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda yüzey işleme işleminin malzemenin yüzey sertliğine olumlu etkisinin olduğu yüzey karakteristiklerini iyileştirdiği belirlenmiştir. Yapılan deneylerin ardından deney verilerinden Yapay Sinir Ağı oluşturularak deney sonuçları ile YSA sonuçları karşılaştırılmıştır. Alüminyum alaşım malzemeler üzerinde yapılan deneylerin ardından yapılan ölçümlerle 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. Deney parçalarında paso sayısının artması yüzey sertliğinde olumlu etki ettiği görülmektedir. Genel olarak artan paso sayısı deney malzemelerinin yüzey sertlik değerlerini arttırmıştır.

Deney malzemeleri için Yapay sinir ağı modellemesi yapılmış Scaled Conjugate Gradient [SCG] ve Levenberg-Marquardt [LM] hatayı geriye yayma eğitim algoritmaları kullanılarak en iyi ağı tespit edilmeye çalışılmıştır. YSA sonuçlarına göre SCG eğitim algoritmasının 1 gizli katmanlı ve her katmanda 3 nöron kullanılan oluşturulmuş ağı yapısı en iyi sonucu vermiştir. SCG algoritması ile oluşturulan ağı test verileri hata oranları dikkate alındığında elde edilen hata oranı yüzey sertliği için 0.31 olarak elde edilmiştir. Deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde Yüzey işlemede en önemli parametrelerin sırasıyla baskı kuvveti ve ilerleme miktarı olduğu söylenebilir. Yüzey işleme süreci sırasında kullanılan paso sayısı parametresinin de yüzey işleme sürecine olumlu etki sunmasına rağmen bu etkinin baskı kuvveti ve ilerleme miktarı kadar belirgin olmadığı görülmüştür. Deneylerde en yüksek sertlik değeri (202 HB30), 0.24 mm/dev ilerleme miktarı, 80 N baskı kuvveti, elde edilmiştir. Bir sonlandırma operasyonu olarak yüzey işleminin etkili sonuç verdiği ortaya çıkmıştır. Yüzey işleme metodunun, farklı malzemelerde de uygulanabilirliği araştırılabilir. Yüzey işleme parametrelerinin mikro sertliğe etkileri incelenebilir. Yüzey işleme 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 Yüzey işleme işlemine gösterdiği tepkiler araştırılabilir. Yüzey işleme işlemine tabi tutulan malzemeler çekme deneyine tabi tutularak mukavemetleri incelenebilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yardımlarını esirgemeyen Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Başkanlığına ve öğretim elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim .

## REFERANSLAR

[1] Basak, H., “The Design and Manufacture of Burnishing Equipment and Burnishing Process with AL 7075 T6 Material ” Journal of Mechanical Engineering, 53:12 (2007).

[2] 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).

[3] 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).

[4] Axir, M. H., Ibrahim, A. A., “ Some surface characteristics due to center rest ball burnishing “Journal of Materials Processing Technology, 167:47–53 (2005).

[5] János, K., József, D., András, S., György, F., “Mağnetic Aided Roller Burnishing Metal Parts” 7th International Conference on Deburring and Surface Finishing, 253–256 (2005).

[6] Stodolnik, B.T.,” The influence of burnishing on the contact fatigue life of rings in Rolling bearings.”, *Tribologia*, XXVII, 6 (150):753-759 (1996).

[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] Sönmez F. “Haddeme İşleminin Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliğine Etkilerinin incelenmesi” Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi F.B.E., S:11, (2009).

[9] 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).

[10] Liviu, L., Sorin, N., Ioan, M.,“Effects of working parameters on surface finish inball-burnishing of hardened steels” *Precision Engineering*, 29:253–256 (2005).

[11] T.G. Digges, Effect of Lathe Cutting Conditions on the Hardness of Carbon and Alloy Steels, *Trans. ASME*, 1932, 54 , p 49–57.

[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] Cirak B., “Mathematically Modeling and Optimization by Artificial Neural Network of Surface Roughness in CNC Milling – A Case Study “, *Journal of Materials Processing Technology*, 72:385–391 (2016).

[14] F. Gunnberg, M. Escursell, and M. Jacobson, The Influence of Cutting Parameters on Residual Stresses and Surface Topography During Hard Turning of 18MnCr5 Case Carburised Steel, *J. Mater. Process. Technol.*, 2006, 174, p 82–90.

[15] 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).