

LAZERLE KESMENİN DENEYSEL ANALİZİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ**EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE LAZER CUTTING AND MODELING WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK METHOD****Bekir ÇIRAK¹ ve Zülfünaz DURUKAN²**¹ Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Şırnak, Türkiye² Şırnak Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü, Şırnak, Türkiye**Geliş Tarihi: 07 Kasım 2013 Kabul Tarihi: 27 Şubat 2014****ÖZET**

Endüstride metallerin kesilmesinde lazer yöntemi ile kesme yaygın olarak kullanılmaktadır. Lazer ile kesmede uygun parametreler seçildiğinde takıma ihtiyaç duymaksızın ve malzeme ile temas olmadan, hızlı ve çapaksız kesim yapılır. Lazer ile kesmede kesilen parçanın boyutunu belirleyen birçok parametre bulunmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma da CO₂ lazer ile 4, 6 ve 8 mm kalınlığındaki Ç1040 malzemesi kesilmiştir. Kesme parametreleri olarak lazer gücü (W), kesme ilerlemesi (F) ve gaz basıncı (P) kullanılmıştır. Kesme işleminde 100 x 100 mm boyutundaki kare ve 40 mm çapında delik delinmiş olup; dış kenar ve çap değerlerindeki sapmalar ölçülmüştür. Ayrıca boyut üzerinde etki eden en önemli lazer parametresinin lazer gücü ve kesme ilerlemesi olduğu görülmüştür. Lazer ile kesme, diğer kesme teknolojilerine göre belirgin üstünlüklere sahip olduğundan makine imalat sanayi ve madencilikte kullanımları artmaktadır. Lazer ile kesme sistemleri; işlenecek olan malzemenin özelliğine göre çok geniş bir dağılıma sahiptirler. Yapılan çalışmada; Lazer ile kesme sistemi teorik olarak analiz edilmiş, ayrıca deneysel veriler yapay sinir ağı yardımıyla modellenerek, lazer ile kesme işleminde yapay sinir ağının uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. Burada, malzeme kalınlığı ve gaz basıncı değişkeni giriş parametresi olarak, ilerleme hızı ise çıkış parametresi olarak kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Lazer ile kesme, Boyut değişimi, Yapay sinir ağları, İlerleme hızı

ABSTRACT

Lazer cutting method for cutting of metals is widely used in industry. If the appropriate cutting parameters are selected at Lazer cutting method, burr-free is done without need for tool and without contact with the material and quickly. There are many parameters that determine dimension of cut part with Lazer cutting. In this study, AISI 1040 steel has 4, 6 and 8

mm thickness were cut using CO₂ Lazer cutting method. As cutting parameters, Lazer power (W), cutting velocity (V) and gas pressure (P) were used. 100x100 mm square and 40 mm diameter profiles hole were cut with Lazer and then deviation from dimension of the outer edge and diameter was measured. In addition, the most important parameters effects on dimension are cutting power and feed rate. Lazer cutting is one of the most recently developed non traditional manufacturing technologies being used increasingly in mining and machine production industry owing to the various distinct advantages over the other cutting technologies. In this study, Lazer cutting has been analysed and the experimental data at various conditions had been modelled with the aid of artificial neural network. Material thickness and Lazer gas pressure parameters are input values, forward speed parameter is output values used in this study.

Keywords: Lazer cutting, Dimension change, Artificial neural network, Forward speed

1. GİRİŞ

Lazerler icat edildiği günden bu güne sürekli gelişen bir uygulama alanıyla karşı karşıyadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte sürekli olumlu yönde gelişen lazerler endüstride çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Lazer dalgalarının tümü aynı frekansa sahip (tek renkli) ve birbirleriyle aynı fazda (uyumlu) olan ışık demeti oluşturur. Lazer ışığı; ışık şiddeti artırılmış eş fazlı ışınımlardan oluşan ışık demetidir. Lazer ışık demeti iyi toplanabildiği için uzun mesafelere aktarılabilir. Lazer ışığı diğer ışık kaynaklarından daha şiddetlidir. Hızla gelişen lazer teknolojileri sayesinde günümüze kadar birçok lazer türü geliştirilmiş olup, bu lazerler kullandıkları dalga boylarına, kullanılan aktif maddenin cinsine, enerjinin etkinliğine göre uygulama alanlarında birbirleri arasında farklılık gösterirler. (Anık vd.,1996)

Yapı olarak lazerler; katı lazerler, sıvı lazerler ve gaz lazerler olarak ayrılırlar. Gaz lazerler, lazerlerin en geniş kullanma alanı olan tipleridir. Atomların elektronik enerji düzeyleri veya iyonların enerji düzeyleri ya da moleküllerin titreşim dönme enerji düzeyleri arasındaki geçişlere uygun olarak gaz lazerler üç farklı gruba ayrılır. Bunlar atomik lazerler, iyon lazerleri ve moleküler lazerlerdir. CO₂ lazeri en önemli moleküler lazerdir. CO₂ lazeri, karbondioksit, azot ve helyum karışımından oluşan bir lazerdir. CO₂ Lazer geliştirilen ilk lazerlerden olup, hala en yaygın olarak kullanılan lazer tipidir. CO₂

lazer devamlı dalga olarak en yüksek güce ve verime sahiptir. Oksijenle kesme veya plazma kesme yöntemleriyle yeterli derecede kesilemeyen ince saclarda lazer ışını ile kesmenin geliştirilmesiyle, yüksek kalitede ve hassas kesme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, lazer ile kesme, hassas kesme işlemi olarak da değerlendirilmektedir. (Cemal, 2006)

Genel olarak lazer ışınıyla kesilmiş parçalar, sonradan bir ek işleme gerek olmadan, kesimden hemen sonra kullanılabilir. Karbondioksit lazer tezgâhlarında lazer ışını, karbondioksit gazına elektrik akımı ile enerji verilerek elde edilir. Lazer ışını tezgâhın rezonatör bölümünde Ç 1040 çelik malzeme tüpler içinde 10 metreye yakın bir mesafe kat eder. Lazer ışınının yönü aynalar sayesinde değiştirilebilmektedir. Yoğunlaştırılan ve yönlendirilen lazer ışınları kesme kafasına gelmekte burada kesme işlemi yapılmaktadır.

Lazerde enerji ışık enerjisi olarak verilse de malzeme üzerine etkiyen ışık demetinin taşıdığı ısı enerjisi malzemede istenilen etkiyi yapar. Lazer ile kesmenin prensibi; yoğun ışığın malzemeyi ısıtması olduğu için burada işlenebilirlik açısından malzeme sertliği önemli değildir. Malzemenin ışığı yansıtma derecesi işlenebilirliği etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Çelikte karbon miktarı ne kadar fazla ise yani çelik ne kadar sertse kesilmesi kısmen de olsa kolaylaşmaktadır (Kurt, 2006).

Bu çalışma sonucunda; Ç1040 çelik malzemelerin lazerle kesilmesi sırasında oluşabilecek boyut sapmalarını en aza indirgeyecek parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MALZEME VE METOD

2.1. Malzeme

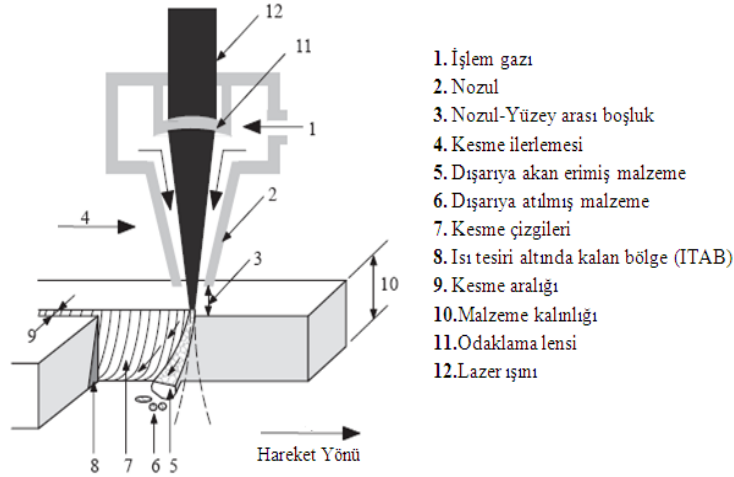
Yapılan deneysel çalışmalarda, endüstride yaygın olarak kullanılan Ç1040 malzemeden hazırlanan 4, 6 ve 8 mm kalınlığındaki numuneler kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal bileşimleri Tablo 1’de verilmiştir. (Sevinç, 2000)

Tablo 1. Ç1040 çelik malzemenin kimyasal analizi

Alaşım Elementi	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)													
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	W	Fe
Ç1040	0,2 17	0,0 01	0,42 6	0,0 26	0,0 22	0,00 01	0,0 64	0,0 01	0,0 01	0,0 01	0,0 17	0,0 01	0,0 03	99, 21

2.2. Lazer tezgâhı ve parametreler

Lazer ile kesmede kesilen ürünün boyutları işleme parametrelerine bağlı olarak bir miktar sapma göstermektedir. Büyük oranda kesme parametrelerine bağlı olarak değişen bu sapmaları tespit edebilmek için üç farklı lazer parametresi belirlenmiştir. Bunlar kesme ilerlemesi, lazer gücü ve gaz basıncıdır. Deney numunelerinin kesiminde 4,4 kW kapasite gücündeki BYSPEED 3015 marka CO₂ lazer kesme tezgâhı kullanılmıştır. Lazer tezgâhında kesme işleminin nasıl gerçekleştiğinin daha iyi anlaşılması için kesme ilerlemesi yönü Şekil 1’de gösterilmiştir. (Öner, 2008)

**Şekil 1.** Lazerle kesme işlemi

Tablo 2’de görüldüğü gibi kesme ilerlemesi, malzeme kalınlığı ve gaz basıncı parametrelerinin her biri için üç farklı değer kullanılmıştır. Burada 4, 6 ve 8 mm olmak üzere 3 farklı kalınlıktaki malzeme kullanılmış olup her bir kalınlık için 20 farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Böylece toplam 60 adet farklı numune kesilmiştir.

Tablo 2. 4, 6 ve 8 mm kalınlığındaki Ç1040 malzemesinin bazı deneysel verileri

DENEY SAYISI	GAZ BASINCI (bar)	KALINLIK (mm)	KESME HIZI (mm/dk)
1	0,55	4	2300
2	0,60	4	2300
3	0,50	4	2300
4	0,55	4	2300
5	0,60	4	2300
6	0,50	4	2300
20	0,60	4	3100
21	0,55	6	2300
22	0,60	6	2300
23	0,50	6	2300
24	0,50	6	2300
25	0,55	6	2300
26	0,60	6	2300
40	0,55	6	3100
41	0,55	8	2300
42	0,60	8	2300
57	0,60	8	2700
58	0,50	8	2700
59	0,55	8	3100
60	0,60	8	3100

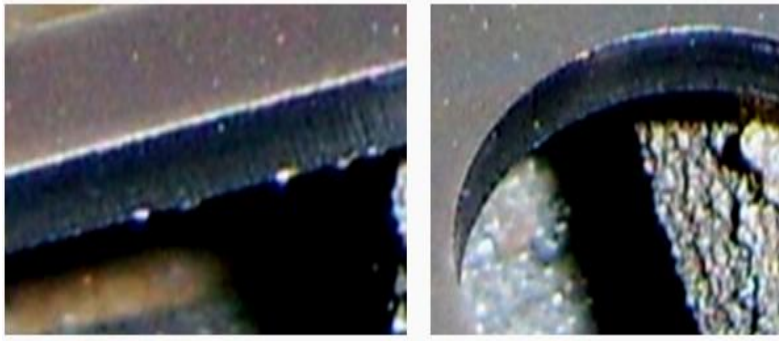
Tablo 3'de ise deney esnasında kullanılan CO₂ gazlı lazer tezgahına ait bazı parametreler gösterilmiştir.

Tablo 3. 4, 6 ve 8 mm kalınlığındaki Ç1040 malzemesinin kesimi için kullanılan bağımsız parametreler

Parametre	Sembol	Birimi	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Güç	W	Watt	3000	3800	4600
Kesme İlerlemesi Hızı	V	mm/dk	2300	2700	3100
Malzeme Kalınlığı	T	mm	4	6	8
Gaz Basıncı	P	Bar	0.50	0.55	0.60

2.3. Boyut ölçümleri

Bu çalışmada lazer ile kesme işleminde lazer kesmeyi etkileyen birçok parametre içinden en etkili olduğu bilinen lazer gücü, kesme ilerlemesi, odak noktası ve gaz basıncı parametrelerinin farklı kombinasyonda Ç1040 malzemeden 4, 6 ve 8 mm kalınlığında numuneler kesilmiştir. Kesim bölgeleri incelendiğinde gaz basıncının kesme sırasında cürufun dışarı püskürtülerek atılması konusunda etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir. Bu durum Şekil 2'de görüldüğü gibi numunelerin kenar görüntülerinden anlaşılmaktadır.

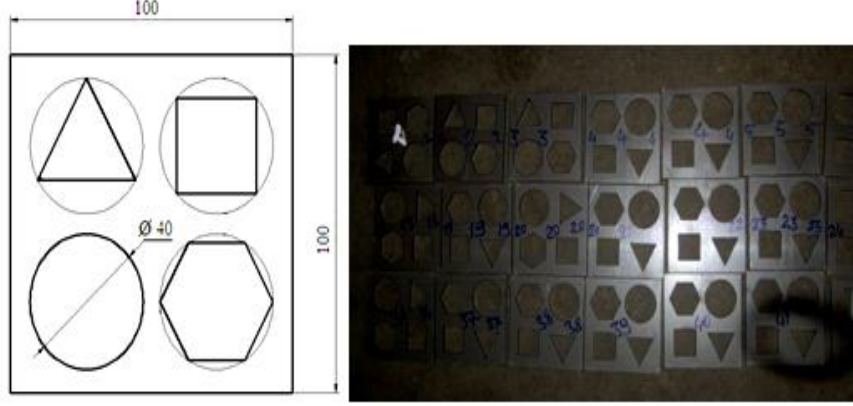


Şekil 2. Dış kenar ve daire kesme kenarı

Kesilen deney numunelerinin kesilen kenarlarının istenilen boyutta kesilip kesilmediğini kontrol edebilmek amacıyla DEA marka CMM üç boyutlu ölçme cihazı kullanılmıştır. Bilgisayar kontrollü ve 15° ile her yöne dönebilen proba sahip CMM cihazı kullandığı hassas ve pratik ölçümler yapabilmesi sayesinde kesilen kenarların boyut ölçümleri güvenilir bir şekilde elde edilmiştir. Deney numunelerinin ölçümleri yapılırken; cihazın prob ucu dış kenarlardan köşelere yakın mesafede her kenara iki kez dokundurularak, kenar üzerindeki bu iki noktadan bilgisayar ortamında bir doğru çizilerek şeklin dış kenarları oluşturulmuştur. Kesilen numunenin ölçümleri Şekil 3'de verilmiştir. Bu işlemler kesilen tüm numuneler için gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3'de görülen dış kenar (100 x 100 mm) ve daire (Çap 40 mm) şekillerde ölçme sistemi; prob uç dış kenara dıştan köşelere yakın yerlere dokundurularak kenarlar bilgisayar ortamında oluşturulmuştur ve bu kenarların uzunluğu ölçülmüştür. Daire ölçümünde prob uç içten 26 noktaya dokundurularak, bilgisayar

ortamında bu noktalardan geçen bir daire çizdirilmiştir. Bu dairenin çapı ölçülen numunedeki dairenin çapını belirlemiştir.



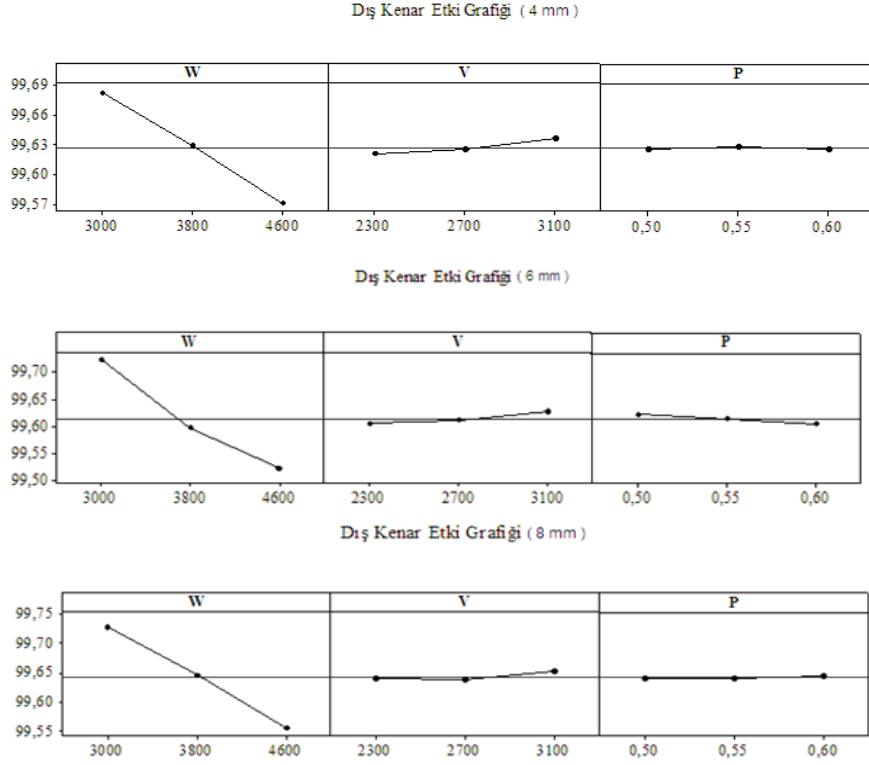
Şekil 3. Lazer tezgâhında kesilen numune ve ölçüleri

3. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

3.1. Boyut değişimleri ve grafikleri

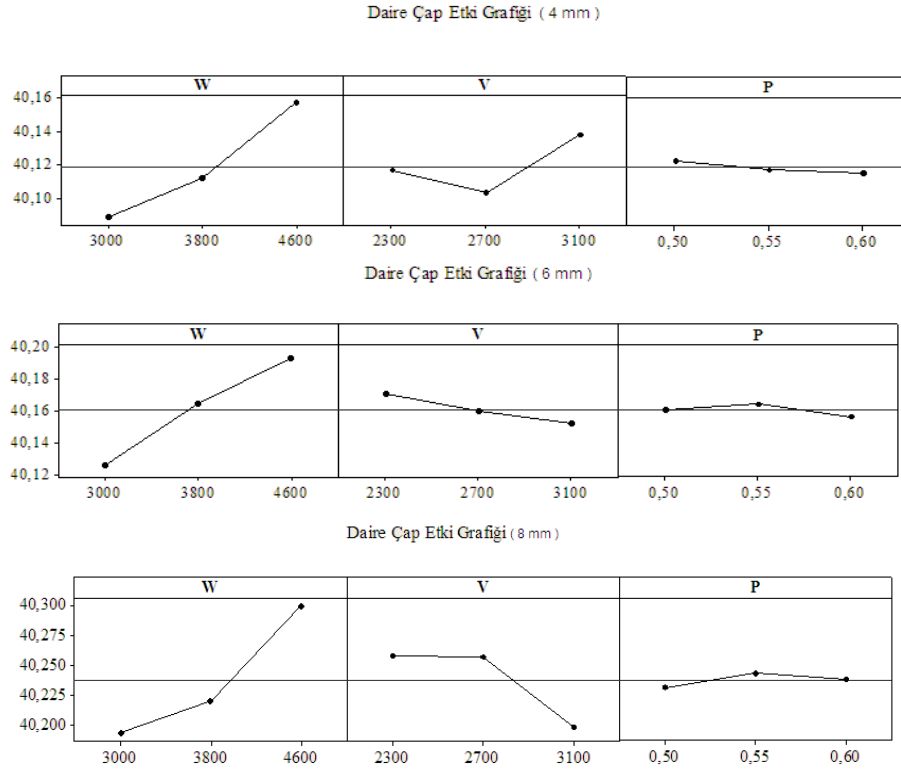
Farklı kalınlıklardaki malzemelerin boyut ölçümleri numune üzerinden birçok ölçüm alınarak saptanmıştır. Bu bağlamda boyut ölçümleri ile alakalı birçok grafik oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında kare profil dış kenar kesimi ve daire kesimi incelenmiştir. Bu grafiklerden dış kenar etki dağılımı grafikleri Şekil 4’de, daire çap ölçme sonuçları üzerindeki etki dağılımı grafikleri Şekil 5’de gösterilmektedir. Dış kenar ve daire çap etki dağılımı grafikleri lazer kesimde kullanılan parametrelerin numune dış kenar boyutu ve daire çap değişimi üzerine etkilerini göstermektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmaya göre, 4 mm kalınlığındaki malzemede dış kenar değişimine etki eden en etkili parametrenin “güç” parametresi olduğu görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi değişim çizgisi, gücün artmasıyla azalan ve lineer bir ilişki ortaya koymaktadır. Bu ilişki en geniş değişim aralığına karşılık gelmektedir.

Çırak ve Durukan



Şekil 4. Ç1040 4, 6 ve 8 mm kalınlığındaki malzemeler için parametrelerin dış kenar ölçme sonuçları üzerindeki etki dağılımı grafikleri

Şekil 5’de bağımsız parametrelerin daire çap ölçme sonuçlarına etkilerini ayrı ayrı göstermektedir. Görünen en etkili parametre güçtür. Grafikten de anlaşılacağı gibi değişim çizgisi gücün artmasıyla artan bir ilişki ortaya koymaktadır. Burada lazer gücünün en yüksek değeri olan 4600 W uygulandığında, 40,20 mm çap değeri ölçülmüştür. Kesme ilerlemesinin artmasıyla daire çap ölçme sonucunda azalma meydana gelmiştir. Buradaki ilişki gücün aksine azalan bir değişim ile sonuçlanmıştır. Bu parametrenin değişim aralığı güçten eğimin farklı olması nedeniyle daha az etkili olduğu anlaşılmaktadır. Kesme ilerlemesinde; kesme işlemi sırasında uygulanan en yüksek değerinde (3100 mm/dk) daire çap ölçme sonucu anma ölçüsü (40 mm) değerine en yakın olan 40,15 mm değeri ölçülmüştür. Gaz basıncı parametresinde seçilen en büyük değer, daire çap ölçme sonucu üzerinde olumlu bir etki yaptığı söylenebilir.



Şekil 5. 4, 6 ve 8 mm kalınlığındaki malzemeler için parametrelerin daire çap ölçüm sonuçları üzerindeki etki dağılımı grafikleri

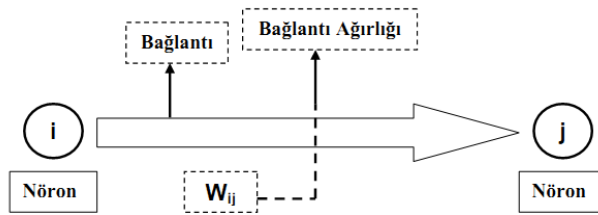
Genel olarak grafikler incelendiğinde dış kenar boyutu ve daire çap ölçme sonuçları üzerinde en etkili parametrenin lazer gücü (W) olduğu görülmektedir. Dış kenar ölçme sonuçlarında lazer gücünü arttırmak istenilen sonuca yaklaşmayı sağlarken, daire çap ölçme sonuçlarında aksi bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Diğer parametrelerden kesme ilerlemesi dış kenar ölçme sonuçlarında 4, 6 ve 8 mm malzemeler için aynı etkiyi ortaya çıkarmıştır. Çap ölçme sonuçlarında ise 4 ve 8 mm için kesme ilerlemesinin artması istediğimiz sonucu ortaya çıkarırken 6 mm için tersi oluşmuştur.

4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

4.1. Ağ tanımı

YSA teknolojisi, insan beyninin temel işlem elemanı olan nöronu, şekilsel ve işlevsel olarak basit bir şekilde taklit eden ağlar yardımıyla, biyolojik sinir sisteminin basit bir simülasyonu için oluşturulan programlar sistemidir. Bu nöronlar, çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahip ağı oluştururlar. Benzer karakteristiğe sahip nöronlar, YSA' da katmanlar halinde yapılandırılırlar. YSA' ya ait matematiksel fonksiyon, veri alan nöronlara ve çıktı üreten nöronlara sahip ağ tarafından şekillendirilir.

Şekil 6'da gösterildiği üzere, YSA' da üç ana elemandan söz edilir. Bunlar sırasıyla; işlem elemanı olan nöron, girdi ve çıktı yolunu sağlayan bağlantı ve bu bağlantıların sağlamlığını gösteren bağlantı ağırlığıdır. Örnekler kullanılarak belirlenen bu ağırlıklar, girdi değişkenleri ile tahmin edilen değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarırlar. Eğitilen YSA, yeni veriler için yeni tahminler üretir. Bir ağın performansı, düşünülen sinyal ve hata kriteri ile ölçülür. Ağın çıktısı, amaçlanan çıktı ile karşılaştırılarak hata payı elde edilir. Geriye yayılma olarak adlandırılan algoritma, hata payını azaltacak şekilde ağırlıkları ayarlamak için kullanılır. İşlem defalarca tekrar edilip, ağ eğitilerek performans ölçümleri bazında optimum çözüme ulaşılabilir (Çırak, 2013).



Şekil 6. Yapay sinir ağlarının (YSA) temel elemanları

Hata karelerinin ortalamasının karekökü,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_j |t_j - o_j|^2} \quad (1)$$

Korelasyon katsayısı ,

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{(o_j)^2} \right] \quad (2)$$

Mutlak ortalama yüzde hata,

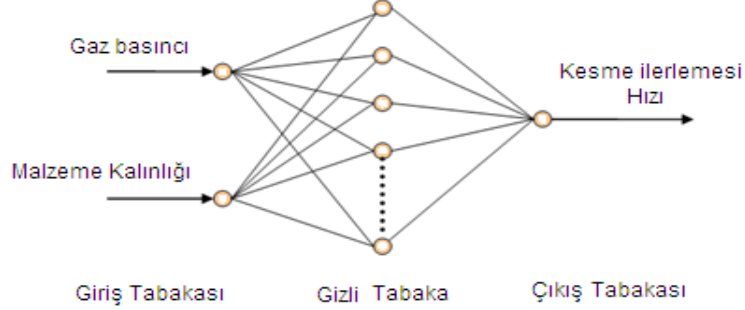
$$MAPE = \frac{1}{p} \sum_j [|(t_j - o_j)/t_j|] \cdot 100 \quad (3)$$

1, 2 ve 3 nolu denklemler yardımıyla hesaplanabilir. Denklemlerde yer alan p toplam veri sayısını t , hedef değerini ve o ise çıkış değerini ifade etmektedir. (Ergür, 2009).

4.2. Ağ yapısı

Bu modellemede öğrenme algoritması olarak, mühendislikte ve pek çok alanda, işletiminin kolay, yapısının basit ve öğrenme kapasitesinin yüksek olması nedeniyle genelde tercih edilen, geriye yayılma algoritması kullanılmıştır. İleri beslemeli sinir ağının çözümünde kullanılan denetimli öğrenme tipi seçilmiştir. Ağın genel yeteneği, sisteme uygun giriş ve çıkış parametrelerinin seçimi, veri tabanının dağıtımı, eğitim ile test verilerinin belirlenmesi ve ağın veri tabanını sunma formatıdır. Modellemenin sonucunda yüksek doğruluk ve performansta değerler elde etmek için; eğitim algoritması, gizli tabaka, nöron sayısı ve gizli tabaka-çıkış tabakası arasındaki transfer fonksiyonunun seçimi çok önemlidir.

YSA' da mevcut olan eğitim algoritmalarının amacı, hataları en aza indirmektir. Burada, malzeme kalınlığı ve gaz basıncı değişkeni giriş parametresi olarak, ilerleme hızı ise çıkış parametresi olarak kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modeli Şekil 7' de gösterildiği gibi iki girişli, tek gizli tabakalı, tek çıkışlı bir yapıya sahiptir. Ağın eğitiminde kullanılan toplam veri 60 adettir. YSA sistemindeki ağ yapısı oluşturulurken seçilen test değerleri toplam verilerin % 20'sini, eğitim değerleri ise % 80'ini oluşturmaktadır. Söz konusu test değerleri rasgele seçilmiştir.



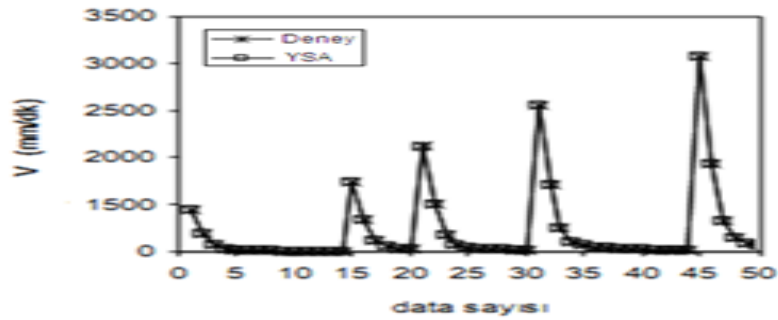
Şekil 7. Çalışmada kullanılan YSA ağ yapısı

4.3. YSA ile modelleme

Bu modellemede ele alınan malzeme, Ç1040 çelik malzemesidir. Kesme veriminde etkili parametrelerden CO₂ gazı basıncı ve malzeme kalınlıklarının değişken olduğu kabul edilmiştir. Modelleme sonucunda belirlenen ilerleme hızları, hassas kesme için geçerlidir. Yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden birisi kesme hızıdır. Seçilen ağ yapısında gizli tabakada tansig transfer fonksiyonu, çıkış tabakasında ise pureline transfer fonksiyonları kullanılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan algoritma LM (Levenberg Marquardt) algoritmasıdır.

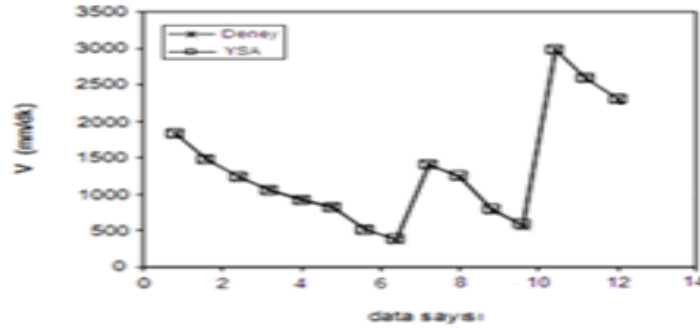
4.4. Ç 1040 malzemesinin kesiminde elde edilen YSA sonuçları

Lazer ile kesme sisteminde Ç 1040 malzemesinin kesimi için yapılan modellemede 48'i eğitim verileri olmak üzere toplam 60 adet veri kullanılmıştır. LM algoritması kullanılarak yapılan eğitim sonucunda elde edilen YSA değerlerinde, kesme (ilerleme) hızı ile gerçek kesme hızı değerleri arasındaki ilişki Şekil 8'de gösterilmiştir.



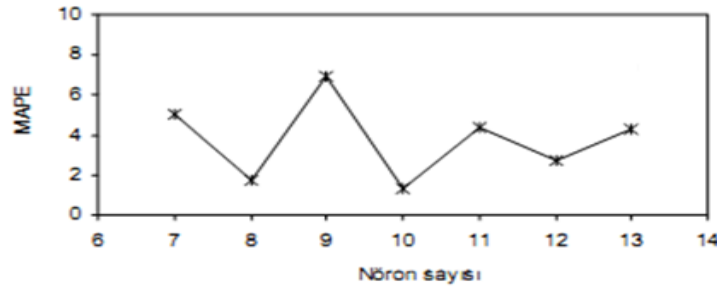
Şekil 8. Gerçek kesme hızının YSA sonuçlarıyla karşılaştırılması (Eğitim-YSA)

Ç 1040 malzemesinin kesimine ait toplam 60 verinin 12 tanesi test verileri olarak seçilmiştir. YSA değerleriyle gerçek veriler arasında elde edilen ilişki, Şekil 9' da gösterilmiştir. Gerçek verilerle YSA değerleri karşılaştırıldığında, LM algoritmasının başarılı olduğu açıkça görülmektedir.



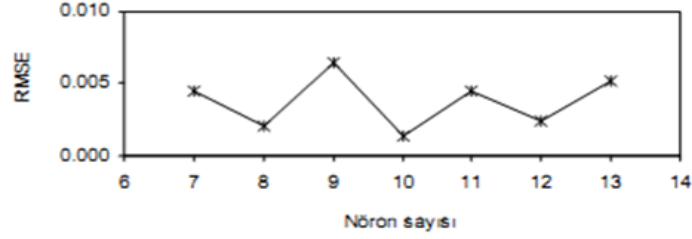
Şekil 9. Gerçek kesme hızının YSA sonuçlarıyla karşılaştırılması (Test-YSA)

Ç 1040 çelik malzeme kesme için oluşturulan YSA sisteminde test değerleri dikkate alınarak, en iyi ağ yapısında ortalama mutlak yüzde hatanın (MAPE) nöron sayısına göre değişimi Şekil 10' da gösterilmiştir. Oluşturulan en iyi ağ yapısında LM algoritması için 10 nöronunda, MAPE değerinin minimum değerleri elde edilmiştir. Bu modellemede kullanılan test değerleri, toplam veri setinden rastgele seçilmiştir.



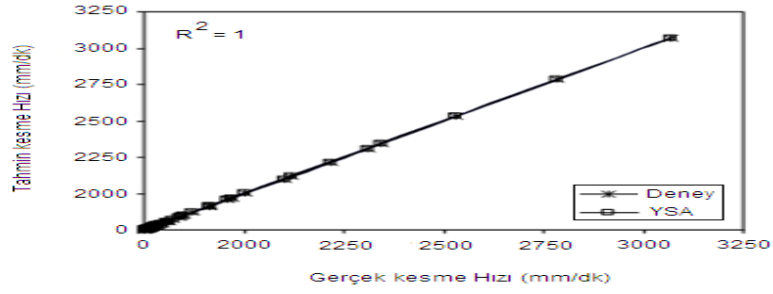
Şekil 10. MAPE değerinin nöron sayısına göre değişimi (Test)

Test değerlerindeki Nöron sayısı ile RMSE arasındaki ilişki, Şekil 11'de gösterildiği üzere RMSE, 10 nöronunda optimum değere ulaşmaktadır. Bir başka deyişle, en küçük RMSE değerinde minimum hata elde edilmektedir.

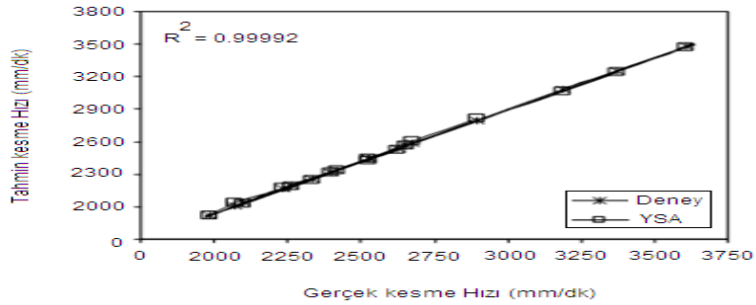


Şekil 11. Farklı algoritmalar için RMSE değerinin nöron sayısına göre değişimi (Test)

Şekil 12 ve Şekil 13’de sırasıyla, eğitim ve test değerleri için korelasyon katsayısının değişimi gösterilmiştir. YSA değerlerindeki ortalama mutlak hatanın minimum değerinde $R^2 = 1$ ’e yaklaşır. Eğitim ve test değerlerindeki hata, % 0,11 ile % 1,27 arasında değişmektedir.

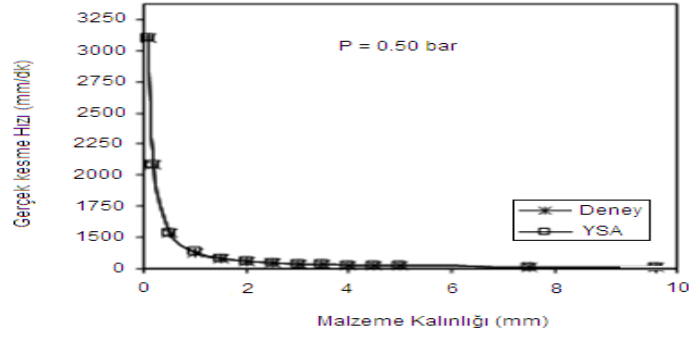


Şekil 12. Korelasyon katsayısı (YSA Eğitim - R^2)



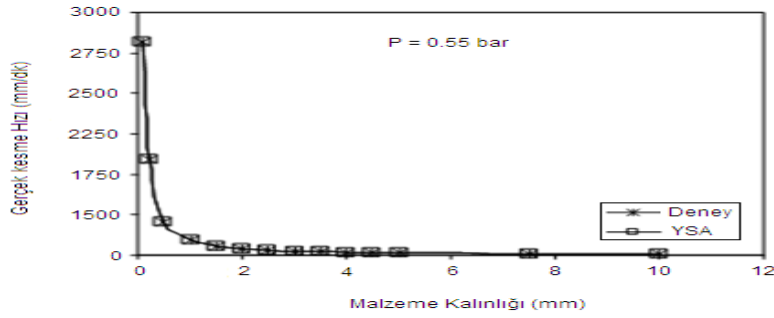
Şekil 13. Korelasyon katsayısı (YSA Test- R^2)

Sabit çalışma basıncında (0,50 bar) kesilen Ç 1040 çelik malzeme için elde edilen YSA sonuçları Şekil 14’de gösterilmiştir.



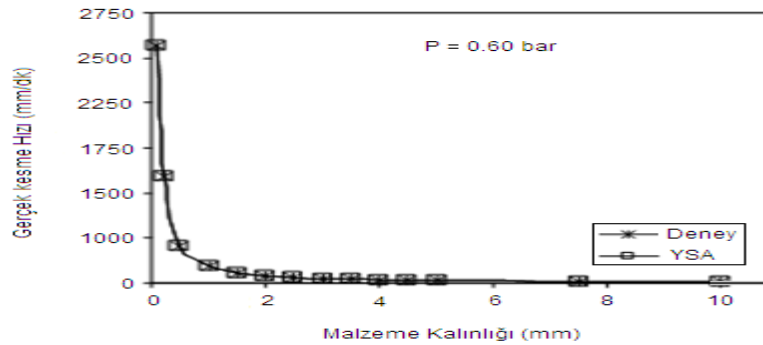
Şekil 14. Gerçek kesme hızının kalınlığa göre değişimi (p = 0.50 bar)

0,55 bar sabit gaz basıncında, kesme hızının malzeme kalınlığına göre değişimi, Şekil 15’de verilmiştir.



Şekil 15. Gerçek kesme hızının kalınlığa göre değişimi (p = 0,55 bar)

0,60 bar sabit gaz basıncında, kesme hızının malzeme kalınlığına göre değişimi, Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16. Gerçek kesme hızının kalınlığa göre değişimi (p = 0,60 bar)

Tablo 4’de verilen test değerleri incelendiğinde 10 nöronda, en iyi sonuçlar elde edilmiştir. LM algoritmasında MAPE değeri, test için en az % 1,27 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Ç1040 çelik malzemesinin lazerle kesiminde kullanılan YSA değerleri

Malzeme				Ç1040 çelik malzeme			
Eğitim algoritması				LM (Levenberg Marquadt)			
Transfer Fonksiyonu				Logsig		Gizli tabaka	
Transfer Fonksiyonu				Pureline		Çıkış tabakası	
Eğitim				Test			
Nöron Sayısı	MAPE	RMSE	R ²	Nöron Sayısı	MAPE	RMSE	R ²
5	0,55	0,0020	1	5	4,07	0,00562	0,99900
6	0,61	0,0022	1	6	2,98	0,00283	0,99980
7	0,47	0,0014	1	7	5,30	0,00755	0,99935
8	0,28	0,0004	1	8	2,56	0,00140	0,99874
9	0,11	0,0023	1	9	3,65	0,00532	0,99993
10	0,26	0,0005	1	10	1,27	0,00296	0,99998
11	0,19	0,0010	1	11	3,47	0,00601	0,99881

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dış kenar ve çap ölçme sonuçlarının boyutsal doğruluğu üzerine güç ve kesme ilerlemesi parametrelerinin en etkili parametreler olduğu saptanmıştır. Boyutsal doğruluğun sağlanmasında, malzeme kalınlığı da göz önünde bulundurularak, kesim sırasında düşük lazer gücü kullanarak istenilen ölçüye en yakın ölçünün elde edildiği görülmüştür.

Kalınlığı 4 mm olan malzemede en iyi kesim ve istenilen geometrik boyutunun elde edilmesi için uygun parametreler, lazer gücü 3000 W ile kesme ilerlemesi 3100 mm/dk ve gaz basıncı 0,5 bar olarak tespit edilmiştir. 6 mm kalınlığındaki malzemede aynı koşullarda kesilen numunelerin en iyi kesim ve istenilen geometrik

boyutu için uygun parametreler, lazer gücü 3000 W, kesme ilerlemesi 2900 mm/dak, gaz basıncı 0,55 bar olarak ortaya çıkmıştır. 8 mm kalınlığındaki malzemeden kesilen geometriler için en uygun parametreler, lazer gücü 3000 Watt, kesme ilerlemesi 2650 mm/dak ve gaz basıncı 0,60 bar olarak belirlenmiştir.

8 mm' lik numunelerde gaz basıncı kesilen bölgede boyut değişimi yerine kesme sırasında cürufun dışarı atılmasında etkili olduğu görülmüştür. 8 mm kalınlığındaki malzemeden kesilen daire geometrisinde, farklı olarak kesme ilerlemesi 2650 mm/dk ve gaz basıncı 0,60 bar olarak belirlenmiştir. Daire geometrisinin lazer kesimi sırasında, lazerin duraklaması gereken herhangi bir köşe olmadığından dolayı ve malzeme kalınlığının artmasına bağlı olarak daha yavaş bir kesme ilerlemesinde daha iyi kesme sonuçları ortaya çıkarmıştır. Bu durum 6 ve 8 mm kalınlıklarda daha net olarak görülmüştür.

Yapılan çalışmada, YSA modeliyle elde edilen değerler ile gerçek veriler karşılaştırılmış ve mükemmel sonuçlar bulunmuştur. Yapay sinir ağları yönteminde, en iyi ve hızlı öğrenen algoritma tipinin LM (Levenberg-Marquadt) olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, LM eğitim algoritmasıyla eğitilerek elde edilen en ideal ağ sistemine ait test değerlerinin % 1,27 ortalama mutlak hatayla yani % 98,3 doğrulukla elde edilmiştir. Aynı şekilde ortalama karekökteki yüzde hata (RMSE) değeri 0,00140 olarak bulunmuştur. Yapılan modellemede, en iyi ağ sistemindeki test değerlerine ait ortalama mutlak hatanın %1,27 bulunması, YSA modelinin doğruluk yüzdesi, eğitim performansının çok yüksek olduğunu göstermektedir.

Özellikle YSA ile test edilen verilerdeki ortalama yüzde hatalar (MAPE - RMSE - R²) arasındaki değişimin, son derece uyumlu olduğu da verilen tablolarda görülmektedir. Bir başka deyişle, ortalama mutlak hatanın düşmesiyle, ortalama karekökteki yüzde hata da azalmakta, fakat buna karşılık korelasyon katsayısındaki değişim yüzdesi artmaktadır. İlerleme değerlerinin tahmin edilmesi demek, kesilecek malzeme yüzeyi kalitesinin de bilinmesi anlamına gelir. Lazerle kesme işleminde ilerleme hızı arttıkça, yüzeyde meydana gelen çizikler ve buna bağlı olarak, yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmakta, yani yüzey kalitesi azalmaktadır. Bu modellemede ayrıca nozul çapı, nozul ile yüzey arası boşluk ve CO₂ gazı debisine ait değerler değiştirilerek, bunlara karşılık gelen

CO₂ gazı ve malzeme kalınlıkları da, yine çok iyi sonuçlar verecek şekilde tahmin edilebilir.

KAYNAKLAR

- Anık, S., Ögür, A., Vural, M. 1996. "Termik Kesme Teknolojisi. Gedik Eğitim Vakfı 2, İstanbul, 115-118
- Cemal, M. 2006. Lazer ile kesme ve Endüstriyel Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, 32-37.
- Çırak, B. 2013. Plastik ekstrüzyon işleminde ekstrüzyon zamanının yapay sinir ağları ile modellenmesi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25-31.
- Ergür, H. S. 2009. Aşındırıcı su jetinin teorik analizi ve yapay sinir ağı Yöntemiyle modellenmesi."Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University, Vol: XXII, No:2.
- Kurt, M. 2006. Plastik malzemelerin (PTFE ve POM) lazer ile kesilme özelliklerinin deneysel incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 6-7.
- Sevinç, A. 2000. CNC Lazer Kesme Tezgahında Üç Boyutlu Sac Parçaların Kesme ve Delik Delme İşlemlerinin CAD- Ç 1040 çelik malzeme-CNC Entegrasyonu ile Yapılması. Tofaş ARGE Notları, Bursa, 1-3
- Öner, U. 2008. Lazerle Kesme İşleminde Kesme Parametrelerinin Kesme Aralığı ve Yüzey Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 14
