

Mermer Kesme İşleminde Spesifik Enerji Faktörünün ANFIS ve YSA Yöntemleri ile Tahmini

Estimation of Specific Energy Factor in Marble Cutting Process Using ANFIS and ANN

Murat CANER ve Emre AKARSLAN *

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 03200, Afyonkarahisar

Geliş Tarihi/Received : 27.10.2008, Kabul Tarihi/Accepted : 30.03.2009

ÖZET

Bu çalışmada, mermer kesme parametrelerinin enerji tüketimine etkisi, Yapay Sinir Ağları ve ANFIS kullanılarak tahmin edilmiştir. Tahmin metodlarında giriş olarak mermerin sertliği, testere dönüş hızı ve kesme hızı parametreleri kullanılmış ve birim hacim başına harcanan kesme enerjisinin bir ifadesi olan spesifik enerji faktörü çıkış olarak alınmıştır. Ağların eğitimi için kullanılan veriler, Afyon Kocatepe Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan, mermer kesilebilirlik analizleri için geliştirilmiş, bilgisayar tabanlı, dairesel testere blok kesme (S/T) makinesinde yapılan bir deneysel çalışmadan alınmıştır. Bu veriler Denizli Traverteni ve Bilecik Bej tipi mermerlere ait kesim parametreleridir. Bu verilerin bir kısmı eğitimde kullanılmış ve tüm veriler daha sonra eğitilen ağlarda test edilmiştir. Tahmin edilen sonuçlar elde edilmiş deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak tahmin edilen verilerin deneysel verilere oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler : Mermer kesme, Enerji tüketimi, ANFIS, Yapay sinir ağları.

ABSTRACT

In this study, effect of the marble cutting parameters on energy consumption was estimated by using Artificial Neural Network and ANFIS. In both of these estimation methods, marble's hardness, speed of circular saw rotation and cutting speed parameters were used as inputs, specific energy factor, cutting energy in per unit volume was taken as output. The data for training networks were taken from a PC based block cutter machine (S/T) with circular diamond saw blade at Afyon Kocatepe University Labs. These data are cutting parameters of "Denizli Travertine" and "Bilecik Beige" type marbles. Some of these data were used for training and then all data were used for testing stage of the networks. To show the effectiveness of the study, estimated data were compared with experimental data. As conclusion, it was reported that estimated data were quite close to experimental result.

Keywords : Marble cutting, Energy consumption, ANFIS, Artificial neural networks.

1. GİRİŞ

Mermer bloklarının, son ürün elde edilmesi için işlendiği yerler olan mermer işleme tesislerinde amaç, mümkün olan en düşük maliyetle piyasa tarafından ihtiyaç duyulan miktarda ürünün üretilmesinin sağlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda mermer işleme tesislerinde verimli bir biçimde işlemlerin sürdürülmesi gerekmektedir (Ozçelik v.d., 2004).

Mermercilik sektöründe çok çeşitli makineler bulunmakla birlikte blok mermerleri dilimleme

işleminde S/T mermer kesme makineleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür makinelerde düşey testere çevresel hızının, kesme (ilerleme) hızının ve kesme derinliğinin uygun olarak seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Diğer taraftan mermer kesme işleminde en önemli maliyetlerden biri elektrik enerjisi masraflarıdır (Çınar, 2007).

Literatürde mermer kesme parametreleriyle enerji tüketimi ilişkisi üzerine farklı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bunlara bir mermer ma-

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address: e.akarslan@gmail.com (E. Akarslan)

kinesinde gri granitin kesimi için farklı çalışma koşullarında kesme kuvvetleri ve enerji değişiminin incelenmesi (Xu v.d., 2001), mermer kesme parametrelerinin kesme performansına etkisinin araştırılması (Ersoy ve Atıcı, 2003), elmas mil ile mermer kesim işleminde kesme parametreleri ve kesici optimizasyonu (Polini ve Turcchetta, 2004), kesim sırasında mermere etkileyen kuvvetlerden harcanan enerjinin hesaplanması (Büyüksağış ve Göktaş, 2005), mermer kesme işleminde kullanılan elektrik enerji tüketimi ve kesme parametrelerinin bu tüketime etkisinin incelendiği (Çınar, 2007) çalışmalar örnek olarak verilebilir. Sonuç olarak kesme parametreleri uygun belirlendiği takdirde enerji tüketiminin optimize edilebileceği görülmüştür.

Mermer kesme alanında deneysel çalışmalardan veri elde etmek oldukça masraflı ve zahmetli bir işittir. Bu alanda kesme parametreleri ile enerji tüketimi arasındaki ilişkisi kullanılarak ne kadar enerji tüketilebileceğinin araştırılmasının mümkün olabileceği düşünülmüştür. Daha önce mermerin fiziksel ve minerolojik özelliklerinden tüketilecek enerji tahmini için regresyon analiz yöntemi kullanılmıştır (Büyüksağış, 1998).

YSA'lar herhangi bir problem hakkında girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi (doğrusal olsun veya olmasın), elde bulunan mevcut örneklerden genelleme yaparak daha önce hiç görülmemiş olan veya uygulanmamış olan örneklere kabul edilebilir çözümler üretirler (Güney ve Titi, 2000).

ANFIS bir kararlı model değildir ve hesaplamalarda verimli ve matematiksel analize uygun olan optimizasyon teknikleri ile iyi çalışırlar. Bu nedenle modelleme ve kontrol çalışmalarında kullanılabildiği (Güner, 2003) gibi YSA'na benzer şekilde tahmin amaçlı da kullanılabilirler.

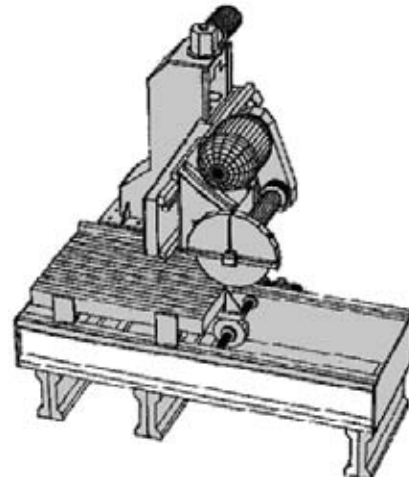
Bu çalışmada, kesim sırasında birim hacim başına harcanan enerjinin ifadesi olan spesifik enerji faktörünün (SE) tahmini için, ANFIS ve YSA kullanılmıştır. Mermerin sertliği, testere dönüş hızı ve kesme hızı giriş olarak ağa sunulmuş, bu değerlere göre SE tahmin edilmiştir. ANFIS ve YSA'nın eğitiminde kullanılan veriler, Said Mahmut Çınar'ın "Mermer Kesme Makinelerinde Elektrik Enerjisi Tüketimi Optimizasyonu" başlıklı tezinden alınmıştır.

2. MERMER KESME MAKİNESİ

S/T mermer kesme makineleri yapı itibarıyla iki veya dört kolonlu olarak imal edilmektedir. İki kolonlu makinede testereleri taşıyan platform

iki boyutta hareket etmektedir. Platformun ileri-geri hareketi ile kesme ilerlemesi ve yukarı-aşağı hareketiyle kesme derinliği değişmektedir. Dilim kalınlıkları ise kesilecek mermeri taşıyan vagonun öne-arkaya hareketi ile değiştirilebilmektedir (Çınar, 2007).

Afyon Kocatepe Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan mermer kesme makinesinin yapısı, mermer endüstrisinde "Yan Kesme" olarak bilinen mermer makinesine benzemektedir fakat makine üzerinde, Şekil 1'de görüldüğü gibi, sadece düşey testere bulunmaktadır. Makinede testereyi taşıyan platform kesme derinliği ve dilim kalınlığını ayarlayabilmek için yukarı-aşağı ve öne-arkaya hareket etmektedir. Kayacı taşıyan vagonun ileri-geri hareketi ile kesme hızı ayarlanabilmektedir. Testerenin dönme hareketi kasnak kayış sistemi ile gerçekleştirilir. Testere 400mm çapa sahiptir ve 7.5kW gücünde motorla kontrol edilmektedir. Testere miline bağlı olan kasnakla akuple çalışan taka-generator, testere dönüş hızını ölçmektedir.



Şekil 1. Makinenin perspektif görünümü (Büyüksağış, 1998).

Testere motoru 7.5 kW'lık VERİKON marka invertörle kontrol edilmektedir. İnvörtör ile motor gerilimi frekansı 0-90 Hz arasında ve motor devir sayısı 0-5400 d/dk arasında değiştirilebilmektedir. Testere motoru elektrik tüketimi, SHARK 100 marka, harmonik analizi yapabilen bir enerji analizörü ile ölçülmektedir. Enerji analizörü ile hem aktif hem de reaktif güç takip edilebilmektedir. Vagon motoru 0.75 kW'lık SIEMENS marka invertörle kontrol edilmektedir. Vagonun ilerleme hızı 0-4 m/dk aralıkta değiştirilebilmektedir.

Enerji analizörü ile hem aktif hem de reaktif güç takip edilebilmektedir. Vagon motoru 0.75 kW'lık

SIEMENS marka invertörle kontrol edilmektedir. Vagonun ilerleme hızı 0-4 m/dk aralıkta değiştirilebilmektedir.

Mermer kesme otomasyonu bilgisayar tabanlı kontrol edilmektedir. Bilgisayar ile kesme hızı, kesme derinliği, dilim kalınlığı ve testere hızı ayarlanabilmektedir. Deney sonucu alınan veriler de bilgisayar ekranından eş zamanlı olarak takip edilebilmekte ve bu veriler bilgisayara kaydedilebilmektedir.

3. KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1. Anfis

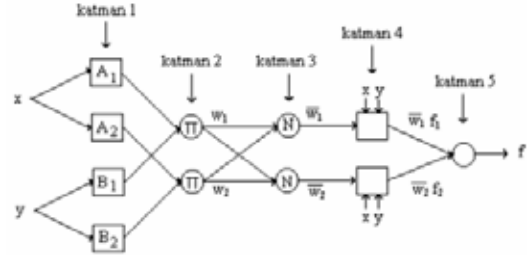
ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System) yapısı, Sugeno tipi bulanık sistemlerin, sınırsal öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak temsilinden ibarettir. Bu ağ, her biri belli bir fonksiyonu gerçekleştirmek üzere, katmanlar halinde yerleştirilmiş düğümlerin birleşiminden oluşmuştur (Tsoukalas, 1996). ANFIS'in, yapısında hem yapay sinir ağları hem de bulanık mantık kullanılır (Kosko, 1991). Yapı bakımından ANFIS, bulanık çıkarım sistemindeki eğer-ise kuralları ve giriş çıkış bilgi çiftlerinden oluşur (Jang, 1993). Ancak sistem eğitiminde ve denetiminde YSA öğrenme algoritmaları kullanılır. Şekil 2'de birinci dereceden iki girişli bir ANFIS yapısı gösterilmiştir.

ANFIS , 5 tabakalı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı yapısına sahiptir. Bu tabakaların görevleri şu şekilde özetlenebilir (Jang, 1997).

1. Tabaka: Girdi değişkenlerinin her biri adaptif bir bağlantı ucu (node) oluşturur, yani, node sayısı girdi değişkeni sayısına eşittir. Bu değişkenlerin üyelik fonksiyonları node fonksiyonu olarak kullanılır. Bu üyelik fonksiyonlarının parametreleri "öncül parametreler" olarak adlandırılır.
2. Tabaka: Nodlar sabit karakterdedir. Node sayısı kural sayısına eşittir. Node girdileri, kuralların öncül kısmındaki değişkenlerin üyelik fonksiyon değerleri, node çıktıları ise, kuralların ağırlık dereceleri (firing strenght) dir
3. Tabaka: Node girdileri, kuralların ağırlık dereceleri, çıktıları ise, normalize edilmiş ağırlık dereceleridir. Yani bu tabakanın görevi, kuralların ağırlıklarını normalize etmektir.
4. Tabaka: Bu tabakadaki nodlar adaptiftir.

Node fonksiyonu, Sugeno Sistemi'nde, herhangi bir mertebeden (çoğunlukla 1. mertebe) bir fonksiyondur. Model parametreleri, "berraklaştırma" veya "sonuç parametreleri" olarak adlandırılır.

5. Tabaka: Tek noddan ibaret olan bu tabakanın çıktısı, crisp karakterde model çıktısıdır.



Şekil 2. Birinci dereceden iki girişli ve iki kurallı ANFIS yapısı.

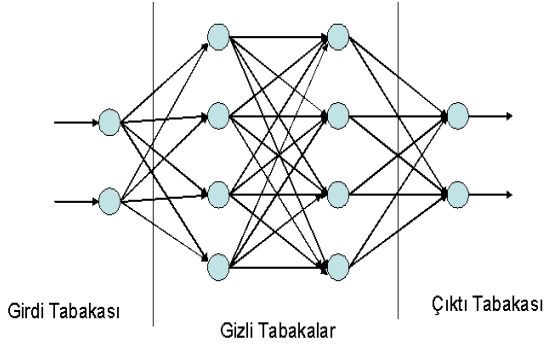
Bu yapının parametreleri; öncül ve sonuç parametreleridir. Eğitim veri seti, bu yapay sinir ağına tanıtılır ve herhangi bir eğitim algoritması vasıtasıyla, eğitim veri setinde girdi-çıkı fonksiyonel ilişkisini en iyi şekilde öğrenir. Aslında bu işlem bir optimizasyon işleminden başka bir şey değildir. Model çıktısı ile eğitim veri seti çıktısı (ölçüm, deneysel sonuç vs.) arasındaki farkın kareler toplamı şeklinde ifade edilen hata fonksiyonunun minimum olduğu şartların bulunması, yani, parametrelerin optimum değerlerinin tespiti hedeflenir (Perez, 2001).

3.2. YSA

Yapay sinir ağları, insan beynindeki nöronların çalışma prensiplerine dayanılarak modellenen sistemlerdir. Basit ve sınırsız imkanları nedeniyle yapay zeka uygulamalarında en geniş kullanım alanına sahiptir. Yalnızca eleme ve karar verme değil öğrenme işlevini de gerçekleştirmelerinden dolayı avantajlıdır (Kalogirou, 2001).

Yapay sinir ağları genellikle bir girdi, bir ya da daha fazla gizli ve bir çıktı katmanını içerir. Şekil 3'te iki gizli katmana sahip bir ağ mimarisi görülmektedir. Tipik bir nöron girdisi başka bir nöronun çıktısıdır. Bu çıktılar bağlantılar aracılığıyla iletilir. Bu bağlantılara biyolojide sinaps adı verilir. Her bir sinaptik bağlantı kuvveti, ağırlık adı verilen nümerik değerlerle belirtilir. i. nöron j. nörona sinyal gönderdiğinde, bu sinyal i. sinapsın ağırlığıyla çarpılır. i. nöronun çıktısı x_i olarak gösterilir. J. Nörondaki ağırlıklandırılmış girdiler ($w_{ji}x_i$) nörondaki işlemci eleman tarafından toplanır. Elde edilen toplam nöron aktivasyon olarak adlandırılır. Aktivasyon tamamen nöronun iç durumudur. Ağırlıklar ve girdiler pozitif veya negatif olabilirken aktivasyondan dolayı pozitif, sıfır veya negatif olabilir. Pozitif durum aktive olmuş nöronu, negatif durum pasif olan kapalı nöronu gösterir. Aktivasyon belir-

lendikten sonra nöron çıktığı belirlemek için sinyal transfer fonksiyonlarını uygular (Kaya vd., 2005).



Şekil 3. İki gizli katmana sahip bir Geri-yayılma ağ mimarisi.

Aktivasyon fonksiyonları ise bir YSA'da nöronun çıkış genliğini, istenilen değerler arasında sınırlar. Bu değerler çoğunlukla [0,1] veya [-1,1] arasındadır. Lineer ve doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonlarının YSA'larında kullanılması karmaşık ve çok farklı problemlere uygulanmasını sağlamıştır.

Mühendislikte ve pek çok alanda en çok kullanılan öğrenme algoritması, geriye yayılma algoritmasıdır. Bunun en büyük nedeni, öğrenme kapasitesinin yüksek ve algoritmasının basit olmasıdır (Kaya v.d., 2005). Geriye yayılma algoritması, gerçek çıktı y ile istenen çıktı d arasındaki karesel hatayı minimum yapmak için gradyan azalma algoritmasını (gradyan descent algorithm) kullanır ve hata aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E = \frac{1}{2} \left[\sum_p \sum_k |d_{pk} - y_{pk}|^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Burada; E ortalama karesel hatayı (MSE), d_{pk} istenen çıktı vektörünü ve y_{pk} gerçek çıktı vektörünü (ağ çıktısı) gösterir. Hatanın sıfır veya sıfıra çok yakın olması, ağın çok iyi eğitildiğini gösterir.

4. UYGULAMA

Bu çalışma, deneysel verilerden elde edilen spesifik enerji faktörünü ANFIS ve YSA metotlarını kullanarak tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Bunun için, mermerin sertliği, kesme hızı ve testere dönüş hızı giriş verisi olarak kabul edilmiş, bu verilerden SE tahmin edilmiştir.

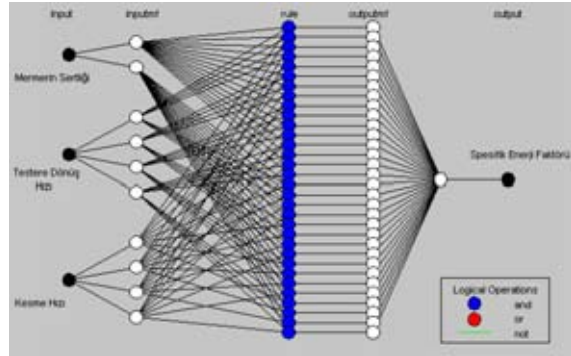
Tahmin yöntemlerinin uygulanmasında kullanılan tüm veriler daha önce yapılan bir deneysel çalışmadan alınmıştır (2). Denizli traverteni ve Bilecik Bej mermerlerinin 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 m/dk kesme hızları ve 1432, 1910, 2387, 2864 d/d testere dönüş hızları

ile kesilmiş ve ölçülen aktif güçten yola çıkarak, birim hacim başına harcanan enerji miktarını ifade eden spesifik enerji faktörü (SE) hesaplanmıştır.

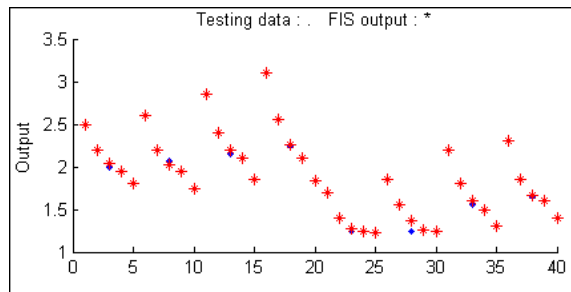
4. 1. ANFIS'in Uygulanması

ANFIS uygulamasını gerçekleştirmek için Matlab programı kullanılmıştır. Kesme deneylerinden, kesme hızı 0.3, 0.4, 0.6, 0.7 m/dk olanlar eğitim verisi için kullanılmış, 0.5 m/dk kesme hızında yapılan deney sonuçları ise test işlemi için ayrılmıştır. Üretilen fis yapısında giriş değişkenleri için küme sayıları sırasıyla 2, 4 ve 4 olarak belirlenmiş ve bu değerler giriş değişkenlerindeki farklı değer gruplarına göre tespit edilmiştir. Üyelik fonksiyonu olarak "trimf" üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Eğitim işlemi, "Hybrid" algoritma ile gerçekleştirilmiştir. ANFIS ile oluşturulan ağ yapısı Şekil 4'te görülmektedir.

Ağın eğitimi için 32 adet veri kullanılmıştır. Başlangıçta eğitim için 50 iterasyonun uygun olacağı öngörülmüş ancak bu yeterli olmayınca 50 iterasyonluk bir deneme daha yapılarak 100 iterasyon sonunda hata daha makul seviyelere düşmüş ve sabitlenmiştir. Bunun üzerine eğitim işlemi tamamlanmıştır. Tahmin için daha önce kullanılmayan 8 adet veri de eğitim parametrelerine eklenerek 40 adet veri ağa sunulmuş ve çıkışlar tahmin edilmiştir. Tahmin edilen sonuçlar ile gerçek değerlerin karşılaştırıldığı grafik Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 4. ANFIS ile oluşturulan ağ yapısı.



Şekil 5. Gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması.

Burada mavi noktalar deneyler sonucu elde edilen değerleri, kırmızı yıldızlar ise ANFIS yardımcı-

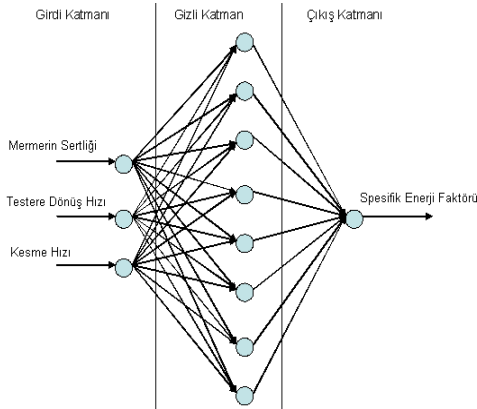
la tahmin edilen değerleri göstermektedir. Şekil 5'ten de görüldüğü gibi, istenilen doğrulukta tahminler yapılamasa da, 0.024'lük test hatası ile yaklaşık değerler elde edilebilmiştir.

4. 2. YSA 'nın Uygulanması

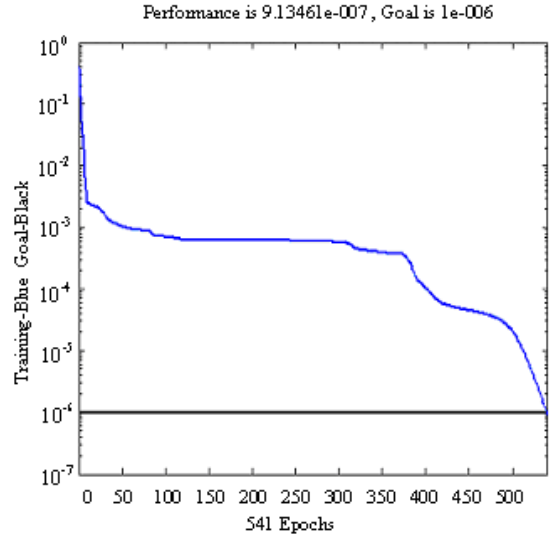
Yapay sinir ağı uygulamasını gerçekleştirmek için Matlab programı kullanılmış, ANFIS'in eğitimi için kullanılan veriler aynı şekilde YSA eğitimi için de kullanılmıştır. YSA için backpropagation algoritması seçilmiştir. Optimum sonucu elde etmek için yapılan denemelerde gizli katman sayısı ve her gizli katman/katmanlardaki nöron sayısı, her katmanın aktivasyon fonksiyonu deneme yanılma metodu kullanılarak değiştirilmiştir. Sonuç olarak, 3 nörondan oluşan giriş katmanı, 8 nörondan oluşan gizli katman ve 1 nörondan oluşan çıkış katmanı olmak üzere 3 katmanlı YSA ile en iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. YSA için oluşturulan ağ yapısı Şekil 6'da gösterilmiştir.

Giriş katmanı için tan-sigmoid, gizli katman için log-sigmoid ve çıkış katmanı için lineer transfer fonksiyonu seçilmiştir. Eğitim için 2000 iterasyonluk bir denemenin yeterli olacağı öngörülmüş ve ulaşılmak istenen hedef 10^{-6} hata olarak belirlenmiştir. Eğitime başlanmış ve 541. iterasyon sonunda istenilen hedefe ulaşıldığı görülmüştür. Şekil 7'de, elde edilen, hatanın iterasyona bağlı değişim grafiği görülmektedir.

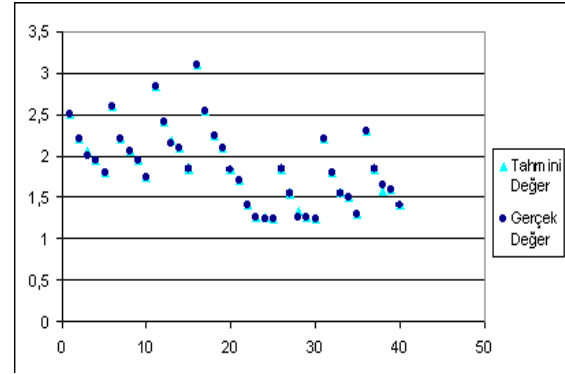
YSA eğitim aşaması doğruluk testi için, eğitim için kullanılan veriler ağa giriş olarak verildiğinde çıkışların gerçek değerlere çok yakın olduğu görülmüştür. Sonra eğitimde kullanılan verilere, daha önce kullanılmayan 8 veri daha eklenerek, 40 veri için spesifik enerji faktörlerinin tahmininin yapılması istenmiştir. Tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkı gösteren grafik, Şekil 8'de gösterilmiştir. Burada pembe kareler ile belirtilen değerler, deney sonucu elde edilen değerleri, mavi dörtgenler ise tahmin edilen değerleri ifade etmektedir. Elde edilen verilerle yapılan istatistik analiz sonucu, bağıl hata ortalaması % 0,4865 bulunmuştur ki bu da kabul edilebilir bir seviyededir.



Şekil 6. YSA ile oluşturulan ağ yapısı.



Şekil 7. YSA eğitime hatasının iterasyona bağlı değişim grafiği.



Şekil 8. Deney sonuçları ile tahmin edilen değerler arasındaki farkı gösteren grafik.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, mermerin sertliği, kesme hızı ve testere dönüş hızı verilerine göre mermer kesme işleminde enerji optimizasyonu için önemli bir parametre olan spesifik enerji faktörünün tahmin edilmesi için ANFIS ve YSA metodu kullanılmıştır. Yapılan tahmin işlemlerinin doğruluğu daha önce yapılan deney sonuçları ile test edilmiştir. ANFIS yöntemi kullanıldığında 0.024'lük test hatası, YSA yöntemi kullanıldığında ise tahmin işlemi sonucunda % 0,4865'lik bağıl hata ortalaması elde edilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 7'deki tahmin sonuçları karşılaştırıldığında, özellikle YSA ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan kısıtlı veri sayısı da dikkate alındığında elde edilen doğruluk değerleri oldukça iyi değerlerdir.

Sonuç olarak bu çalışmada mermerin sertliği,

kesme hızı ve testere dönüş hızı verileriyle spesifik enerji faktörünün çok az bir hata ile tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Eğitimde kullanılan

veri sayısının artırılmasının test verilerinin tahminlerindeki doğruluk derecesinin artırılmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Buyuksagis, I. S., and Goktan, R. M. 2005. Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter, *Journal of Materials Processing Technology*, Nov., Vol. 169, pp. 258-262.
- Büyüksagış, I. S. 1998. " Dairesel testere blok kesme makinalarında mermerlerin kesilebilirlik analizleri ", Doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Çınar, S.M. 2007. " Mermer kesme makinelerinde enerji tüketimi optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ersoy, A. and Atıcı, U. 2004. Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond and Related Materials*, Jan., Vol. 13. pp. 22-37.
- Güner, E. 2003. "Adaptive neuro fuzzy inference system applications in chemical processes", Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Güney, K., Titi, İ. 2000. "Yapay sinir ağları kullanılarak hedef tipi belirleme", Eleco 2000 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu.
- Jang, J.S.R. 1993. ANFIS: Adaptive network-based fuzzy inference systems, *IEEE Trans. Syst., Man. and Cybern.* Vol. 23, pp. 665-685.
- Jang, J.S.R, Sun, C.T. and Mizutani, E. 1997. *Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence*, Prentice Hall, N.J.
- Kalogirou, S. A. 2001. Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (5), 373-401.
- Kaya, İ., Oktay, S., Engin, O. 2005. Kalite kontrol problemlerinin çözümünde yapay sinir ağlarının kullanımını, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (1-2), 92-107.
- Kosko, B. 1991. *Neural networks and fuzzy systems, A Dynamical Systems Approach*, Englewood Cliffs., NJ: Prentice Hall.
- Ozçelik, Y., Polat, E., Bayram, F., Ay, A.M. 2004. Investigation of the effects of textural properties on marble cutting with diamond wire, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. v 41, n SUPPL, p. 1B 06 1-7.
- Perez, P. 2001. Prediction of sulfur dioxide concentration at a site near downtown santiago, chile, *Atmospheric Environment*. (35), 4929-4935.
- Polini, W. and Turchetta, S. 2004. Force and specific energy in stone cutting by diamond mill, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Sept., Vol. 44, pp.1189-1196.
- Selbaş, R., Yakut, A.K., Şencan, A., Dikmen, E. 2003. "Absorbsiyonlu sistemlerde metanol-LiBr ve Metanol-LiCl eriyiklerinin termodinamik özelliklerinin tespiti için yeni bir method" , VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi.
- Tsoukalas, L. H., Uhrig, R.E. 1996. *Fuzzy and neural approaches in engineering*. Jhon Wiley & Sons, Inc, New York.
- Xu, X. P., Li, Y. Malkin, S. 2001. Forces and energy in circular sawing and grinding of granite, *Journal of manufacturing science and engineering*, Feb. Vol.123, pp.13-22.