

THE USING OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN INSULATION COMPUTATIONS

Ömer KELEŞOĞLU*, Cevdet Emin EKİNCİ, Adem FIRAT

Firat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

Geliş/Received: 10.12.2004 Kabul/Accepted: 08.07.2005

ABSTRACT

In this study, the thickness of the insulation material has been fixed by being used a multi-layer feed-forward artificial neural network. A back propagation training algorithm has been used in training of the network. A brick wall for the structural component has considered and whether or not this wall needed insulation has been analyzed and min thickness of this material has been determined by ANN. The results obtained from the network has been determined compared with the numerical results and it was seen the results sensitive enough.

Keywords: Artificial neural network, Back backpropagation algorithm, Insulation, Mineral wood.

YALITIM HESAPLARINDA YAPAY SİNİR AĞLARININ KULLANIMI

ÖZET

Bu çalışmada, çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı kullanılarak yalıtım malzemesinin kalınlığı tespit edilmiştir. Ağı eğitiminde ise geriye yayılma algoritması kullanılmıştır. Yapı elemanı olarak tuğla duvar ele alınmış ve bu duvarın yalıtıma ihtiyacı olup olmadığı analiz edilmiş ve yalıtıma ihtiyaç duyduğu anlaşılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak mineral yün tercih edilmiş ve bu malzemenin minimum kalınlığı YSA ile belirlenmiştir. Ağdan elde edilen çıkışlar sayısal sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların yeterli hassasiyette olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Yapay sinir ağı, Geriye yayılma algoritması, Yalıtım, Mineral yün.

1. GİRİŞ

Enerji tasarrufu ve onun çok önemli bir aracı olan “yalıtım”; aile bütçesi, ulusal kaynaklar ve çevre açısından günümüzde en öncelikli gündem maddesi ve bir uygarlık ölçütüdür. Yalıtımla sağlanacak olan enerji tasarrufunun toplumun belirli katmanları tarafından paylaşılması giderek önem kazanmaktadır.

Ülkemizde gerçekleştirilmiş veya gerçekleştirilmekte olan konut binaları ele alındığında bunların büyük bir kısmının konvansiyonel yapım sistemli iskelet taşıyıcı, boşluklu kil veya gözenekli beton blok dış duvarlar ile oturtma kiremit çatılardan oluştuğu görülmektedir. Dış kabuğun farklı yalıtım özelliklerinin yetersiz kaldığı ve böylece enerji ve performans kayıplarının ortaya çıktığı, dolayısıyla çevrenin zarar gördüğü tartışılmaz bir gerçektir.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-posta: okelesoglu@firat.edu.tr, tel: (0424) 270 00 00 / 4265

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de sürekli artmakta olan enerji maliyetleri özellikle ısı yalıtımını en ekonomik çözümlerden biri kılmıştır. Yalıtım uygulama düzeyi ise, ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile yakından ilgili olup, sadece konut sahibi olabilme, yaşam standardının yükselmesiyle birlikte konforlu bir konut sahibi olabilme yönünde gelişmeye başlamıştır. Yapıda kullanılacak malzemenin karakteristiklerinin araştırılması, incelenmesi ve analiz bulgularının irdelenmesi, deneysel ve gözlemsel bulgularla sağlanabilmektedir. Kaynakları son derece kıt olan ülkemiz, bir Avrupa ülkesine göre 6 kat daha fazla yakıt ısınmak amacıyla harcamaktadır. Tüketilen fazla yakıt aynı oranda da ekonomiye ve doğal çevreye zarar vermektedir [1].

Yapay zekâ olarak bilinen ve yapay sinir ağları; fuzzy küme teorisi, genetik algoritmalar, uzman sistemler gibi çeşitli dalları olan bu teknik geçen bir kaç yıl içinde inşaat mühendisliği problemlerinde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Geçen zaman içinde yapay sinir ağları ve diğer mantıksal programlama tekniklerinin ispatlanmış teorilerinin ortaya çıkartılması nedeniyle konu pek çok teorisyenin ilgisini çekmiştir [2].

İnşaat mühendisliğinde kullanılmış bazı yapay sinir ağı uygulamaları ve sonuçları şunlardır. Kang ve Yoon, basit bir kafes sistemi yapay sinir ağları yaklaşımıyla çözmüş diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında oldukça iyi sonuçlar elde etmişlerdir [3]. Yapay sinir ağları tekniği betonarme elemanlardaki zamana bağlı etkilerin analizine başarıyla uygulanmış elde edilen sonuçlar çeşitli yazarlar tarafından verilen teorik ve deneysel sonuçlara çok yakın çıkmıştır [4]. Betonun farklı yüklemeler altındaki gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının belirlenmesine başarıyla uygulanmış ve çalışmada malzeme davranışı ile ilgili herhangi bir kabul yapılmamıştır [5]. Yapay sinir ağları boyutlandırma problemlerine başarıyla uygulanmış, elde edilen sonuçların klasik optimizasyon teknikleri kullanılarak elde edilen sonuçlardan daha elverişli olduğu gösterilmiştir [6].

Bu çalışmada, yapay sinir ağları kullanılarak tuğla bir duvardaki ısı geçirgenlik katsayıları analiz edilmiş ve yalıtım gerektiği takdirde kullanılacak yalıtım malzemesinin kalınlığı yine yapay sinir ağı kullanılarak bulunmuştur.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI

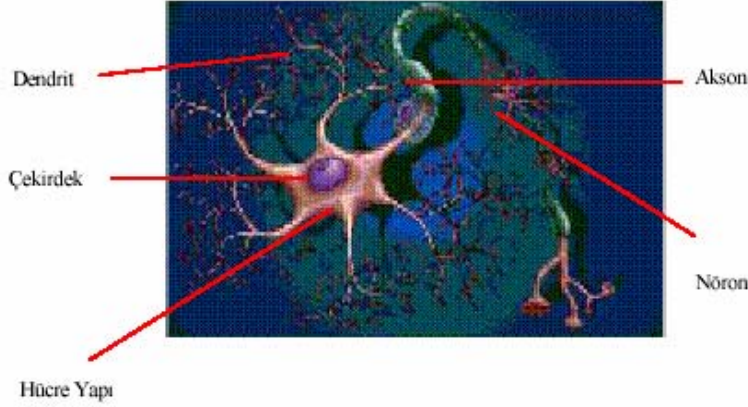
Yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma mekanizmasını taklit ederek geliştirilen ve biyolojik olarak insan beyninin yaptığı temel işlemleri belirli bir yazılımla gerçekleştirmeyi amaçlayan bir mantıksal programlama tekniğidir. Bilgisayar ortamında, beyin yaptığı işlemleri yapabilen, karar veren, sonuç çıkaran, yetersiz veri durumunda var olan mevcut bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli olarak veri girişini kabul eden, öğrenen, hatırlayan bir algoritmadır [7].

YSA, biyolojik sinir ağlarından esinlenerek modellenen, fakat onlardan daha basit bir yapıya sahip olan bir sistemdir. Bu sistemlerin başlıca özellikleri tamamıyla paralel, uyarlanabilen, öğrenebilen ve paralel dağıtılmış bir hafızaya sahip olmalarıdır [8].

Yapay sinir ağlarındaki işleme elemanları biyolojik olarak insan beynindeki nöronlara karşılık gelmektedir (Şekil 1). Dendrit olarak adlandırılan yapı, diğer hücrelerden bilgiyi alan nöron girişleri olarak görev yapar. Diğer hücrelere bilgiyi transfer eden eleman aksonlardır. Dolayısıyla aksonlar nöron çıkışları olarak görev yaparlar. Akson ile dendrit arasındaki bağlantı ise sinapslar tarafından gerçekleştirilir [9].

Yapay sinir ağında hesaplama algoritmik programlamaya bir seçenek oluşturan, temel olarak yeni ve farklı bir bilgi işleme tekniğidir. Programda adım adım yürütülen bir yöntemin verilmesi yerine sinirsel ağ ilişkilendirmeyi yapan iç kurallarını kendi üretir ve bu kuralları, sonuçları örneklerle karşılaştırarak düzenler [10].

YSA, olayların örneklerine bakmakta, ilgili olay hakkında genellemeler yapmakta, bilgiler toplamakta ve daha sonra hiç görmediği örnekler ile karşılaşınca öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmektedir.



Şekil 1. Biyolojik nöron modeli

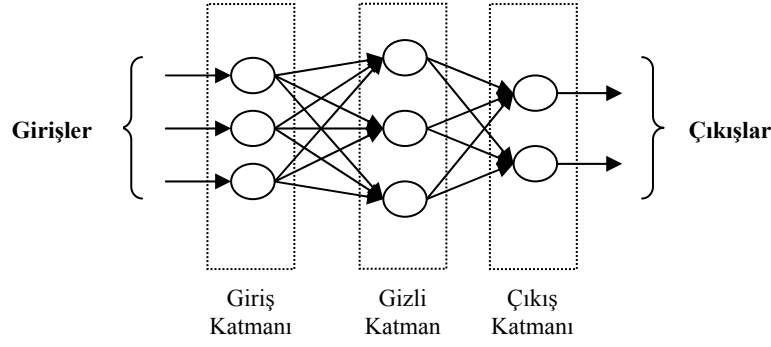
2.1. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

Yapay sinir ağları insanlar gibi örneklerle eğitilirler. Yapay sinir ağlarının öğrenmesi bir çocuğun öğrenmesi gibidir. Sıcak bir nesneye dokunmaması gerektiğini deneyerek öğrenen çocuklar zamanla daha az sıcak olan bir cisme dokunabilme cesaretini gösterirler ve sıcak süt dolu bardağı elleriyle tutarlar. Yani çocuk sıcaklık bilgisini öğrenmiş olmaktadır. Yapay nöronlar da benzer olarak; mevcut örnek kümesi üzerinde girdi ve çıktı arasındaki bağıntıyı ağırlıkların değiştirilmesiyle öğrenirler [11].

Yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde, dış ortamdan gözle veya vücudun diğer organlarıyla uyarıların alınması gibi dış ortamdan girişler alınır, bu girişlerin beyin merkezine iletilerek burada değerlendirilip tepki verilmesi gibi yapay sinir ağına da aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki çıkışı üretilir. Bu çıkış yine tecrübeyle verilen çıkışla karşılaştırılarak hata bulunur. Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata azaltılıp gerçek çıkışa yaklaşılmaya çalışılır. Bu çalışma süresince yenilenen yapay sinir ağının ağırlıklarıdır. Ağırlıklar her bir çevrimde yenilerek amaca ulaşmaya çalışılır. Amaca ulaşmanın veya yaklaşmanın ölçüsü de yine dışarıdan verilen bir değerdir. Eğer yapay sinir ağları verilen giriş-çıkış çiftleriyle amaca ulaşmış ise ağırlık değerleri saklanır. Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşana kadar geçen zamana öğrenme adı verilir.

2.2. Geri Yayılım Algoritması

Geri yayılım algoritması (Backpropagation), birçok uygulamada kullanılmış en yaygın öğretim algoritmasıdır. Anlaşılması kolay ve matematiksel olarak ispatlanabilir olmasından dolayı en çok tercih edilen öğretim algoritmasıdır. Bu algoritma, hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılım ismini almıştır. Geri yayımlı öğrenme kuralı ağ çıkışındaki mevcut hata düzeyine göre her bir tabakadaki ağırlıkları yeniden hesaplamak için kullanılmaktadır. Bir geri yayımlı ağ modelinde giriş, gizli ve çıkış olmak üzere 3 katman bulunmakla birlikte, problemin özelliklerine göre gizli katman sayısını artırabilmek mümkündür (Şekil 2).



Şekil 2. Geri yayımlı çok katmanlı yapay sinir ağı mimarisi

Şekil 2’de verilen çok katmanlı bir ağ için, herhangi bir birimin giriş değeri kendisine diğer katmanlardan gelen (bir saklı katman veya bir giriş katmanından) değerlerin bir ağırlıklı toplamı olarak

$$y_j = \sum_i^N x_i w_{ij} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Birimin çıkışı ise bu ağırlıklı toplamın, doğrusal olmayan bir fonksiyondan geçirilmesiyle

$$y_j = f(y_j) \quad (2)$$

hesaplanır. Aktivasyon fonksiyonunun uygulanmasıyla birimin çıkışı

$$y_j = \frac{1}{1 + e^{-\left(\sum_i^N x_i w_{ij}\right)}} \quad (3)$$

olarak hesaplanır [10].

Geril yayılım algoritması, sinir ağının eğitici sınıfına giren genel bir algoritmadır. Girişlerle çıkışlar arasındaki hata sinyali bulunarak, ağırlıklar bu hata sinyaliyle güncellenmektedir. Hata yani $e(k)$, arzu edilen çıkış (gerçek çıkış- $y(k)$) ile sinir ağının çıkışı ($o(k)$) arasındaki farktır.

$$e(k) = y(k) - o(k) \quad (4)$$

3. ISI YALITIMI (KONTROLÜ)

Binalarda ısı yalıtımı; mevsim şartlarına göre binayı ısıtmak veya soğutmak için sağlanan soğuk ya da sıcak havanın dışarıya kaçmasını-girmesini önleyerek ısı ekonomisi ve ısı konfor sağlamak amacıyla yapılır. Bu nedenle ısı yalıtımında amaç; kışın bina ısısının dışa kaçışını yavaşlatarak, ısıtma enerjisi tüketimini azaltmak ve iç mekânın bütününde dengelenmiş bir sıcaklık ortamının devamını sağlamaktır.

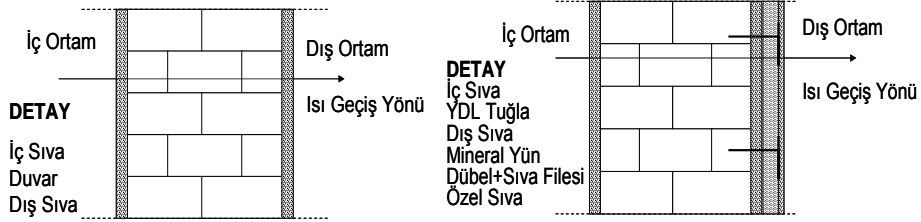
İçinde yaşadığımız konutlarda ısı yalıtım amaçlı konforu sağlamak ve optimum şartlarda sıcaklık dengesini kurmak, yapılarda kullanılan malzemenin seçimi ile direkt ilgili bir durumdur. Seçilen malzemenin hangi türden bir yapı malzemesi olursa olsun, ısısal yalıtım etkileri ve ısı geçirimsizlik karakteristiği analiz edilerek, irdelenmelidir. Yapılarda iç hava sıcaklığının ve buna bağlı olarak yapı kesitini oluşturan (duvarda, tavanda, tabanda) elemanların iç yüzey sıcaklıklarının belli değerlerde olması gerekmektedir. Yapılan literatür araştırmaları, iç ortam

sıcaklığının 18-20°C, yapı elemanı sıcaklığı ise 16-18°C olması arzu edilen konfor şartlarının sağlanabileceğini göstermiştir [1].

Binalarda ısıtma enerjisi ihtiyacı dış duvar türüne bağlı olarak değişmektedir. İçeriden dışarıya sıcaklık kaçışının ölçüsü “U” (veya “k”) ısı geçirgenlik kat sayılarıdır. Birimi W/m²K’dir. U katsayısı, kışın “sıcak içeriden soğuk dışarıya” sabit koşullardaki ısı akımını ifade eder. Yüksek U katsayısı kötü ısı yalıtımı, düşük U katsayısı ise iyi ısı yalıtımı demektir.

4. UYGULAMA

Bu uygulamada, tuğla duvardaki ısı geçiş katsayısını ve ısı akış yoğunluğunu YSA kullanarak analiz edip ve yalıtım gerektiği takdirde kullanılacak yalıtım malzemesinin minimum kalınlığını yine YSA kullanarak bulacağız. Uygulamada tuğla duvarın kalınlığı 19 cm, iç ve dış sıva kalınlıkları 2 cm, iç ortam sıcaklığı 19 °C, dış ortam sıcaklığı 5.5 °C alınmıştır.

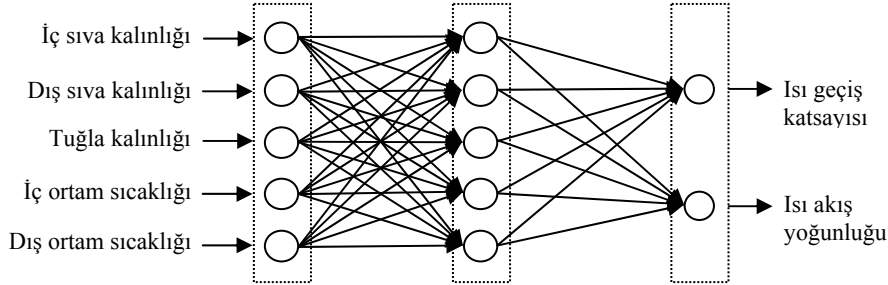


Şekil 3. Uygulamada kullanılan tuğla duvarın yalıtımdan önceki ve sonraki durumu

Problem için geri yayımlı yapay sinir ağı kullanılmıştır. Bu ağda 1 giriş katmanı, 1 ara katman ve 1 çıkış katmanı kullanılmıştır. Girdi katmanında beş işlem elemanı bulunmaktadır:

- İç duvar kalınlığı (m)
- Dış duvar kalınlığı (m)
- Tuğla kalınlığı (m)
- İç ortam sıcaklığı (°C)
- Dış ortam sıcaklığı (°C)

Ara katmanda 5 adet yapay nöron kullanılmıştır. Ağın çıkışları ise duvardaki ısı geçiş katsayısı ve ısı akış yoğunluğudur (Şekil 4).



Şekil 4. Tuğla duvar için kullanılan yapay sinir ağı

Ağın girdi elemanlarına çeşitli değerler verilerek oluşturulan eğitim setinde 40 adet örnek bulunmaktadır. Giriş ve çıkış değerleri normalize edilerek ağa sunulmuştur. Yapılan denemeler sonucunda bir ara katman uygun görülmüş ve öğrenme oranı 0.75 alındığında ağ daha

uygun sonuçlar vermiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak logaritmik sigmoid fonksiyonu, ağırlık eğitilmesi için öğrenme tipi olarak danışmanlı öğrenme uygulanmıştır.

Çizelge 1. Tuğla duvar için hazırlanan eğitim seti için kullanılan değerler

Giriş ve çıkış parametreleri		Eğitimde kullanılan değerler
X ₁	İç sıva kalınlığı	0.01–0.02 m
X ₂	Dış sıva kalınlığı	0.01–0.02 m
X ₃	Tuğla kalınlığı	0.085–0.13–0.19 m
X ₄	İç ortam sıcaklığı	16–25 °C
X ₅	Dış ortam sıcaklığı	2–12 °C
Y ₁	Isı geçiş katsayısı	1.597321–2.643822 W/m ² K
Y ₂	Isı akış yoğunluğu	13.62727–37.73234 W/m ²

Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra ağın performansını test etmek amacıyla eğitim setindeki örneklerden tamamen farklı değerler kullanılarak ağ test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. Tuğla duvar için hazırlanan test seti

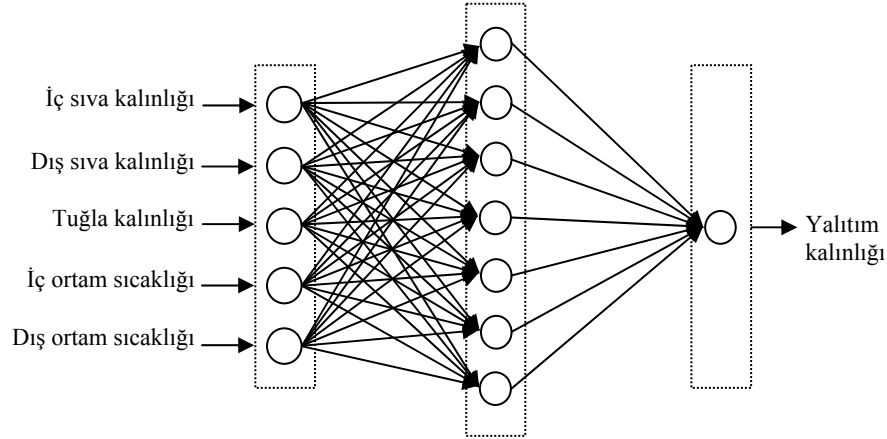
Test No	Giriş					Çıkış			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y ₁		Y ₂	
						Sayısal Sonuç	YSA	Sayısal Sonuç	YSA
1	0.011	0.015	0.085	17	6	2.6161	2.6169	28.777	28.783
2	0.018	0.018	0.135	21	8	1.9859	1.9854	25.816	25.816
3	0.013	0.014	0.19	23	10	1.6203	1.6203	21.064	21.064

Yapay sinir ağını eğittikten ve test ettikten sonra; problem için verilen değerler ağına sunulursa elde edilen ısı geçiş katsayısı 1.588 W/m²K, ısı akış yoğunluğu ise 21.448 W/m² olarak bulunur. Bu problemin sayısal çözümü [1] sonucunda elde edilen ısı geçiş katsayısı 1.588 W/m²K, ısı akış yoğunluğu ise 21.445 W/m²’dir.

Burada, TS 825’e göre yapılacak bir U kontrolü için TS 825 EK 1-C kullanılır. 3. bölge için okunan değer U_D=0.50 W/m²K’dır. Uygulamadaki yapı bileşeni için hesaplanan U₁=1.59 W/m²K olup, tavsiye edilen değer ile kıyaslandığında yalıtımın zorunlu olduğu görülür. Bu sebeple yalıtım malzemesinin kalınlığını hesaplamak için yine geri yayımlı bir yapay sinir ağı kullanılmıştır. 1 giriş katmanı, 1 ara katman ve 1 çıkış katmanı kullanılmış ve girdi katmanı elemanları aşağıda verilmiştir.

- İç duvar kalınlığı (m)
- Dış duvar kalınlığı (m)
- Tuğla kalınlığı (m)
- İç ortam sıcaklığı (°C)
- Dış ortam sıcaklığı (°C)

Ara katmanda 7 adet yapay nöron kullanılmıştır. Ağın çıkışı ise duvarda kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığıdır (Şekil 5). Yalıtım malzemesi olarak mineral yün tercih edilmiştir.



Şekil 5. Yalıtım malzemesinin kalınlığını bulmak için hazırlanan YSA

Diğer ağ için oluşturulan eğitim setindeki 40 adet örnek kullanılarak yalıtım malzemesinin kalınlığını veren çıkışlar elde edilmiştir. Giriş ve çıkış değerleri normalize edilerek ağa sunulmuştur. Yapılan denemeler sonucunda bir ara katman uygun görülmüş ve öğrenme oranı 0.85 alındığında ağ daha uygun sonuçlar vermiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak çift yönlü sigmoid fonksiyonu, ağı eğitilmesi için öğrenme tipi olarak danışmanlı öğrenme uygulanmıştır. Ağı eğitilmesi sırasında hatanın iterasyona bağlı olarak değişimi Şekil 6'da sunulmuştur.

Çizelge 3. Yalıtım malzemesinin kalınlığını bulmak için hazırlanan eğitim setinde kullanılan değerler

Giriş ve çıkış parametreleri		Eğitimde kullanılan değerler
X ₁	İç sıva kalınlığı	0.01–0.02 m
X ₂	Dış sıva kalınlığı	0.01–0.02 m
X ₃	Tuğla kalınlığı	0.085–0.13–0.19 m
X ₄	İç ortam sıcaklığı	16–25 °C
X ₅	Dış ortam sıcaklığı	2–12 °C
Y ₁	Yalıtım malzemesinin kalınlığı	0.055015–0.06487 m

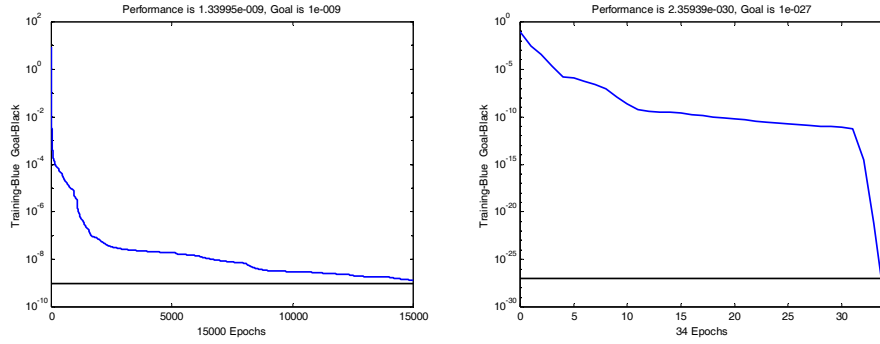
Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra ağın performansını test etmek amacıyla eğitim setindeki örneklerden tamamen farklı değerler kullanılarak ağ test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4. Tuğla duvardaki yalıtım malzemesi kalınlığı için hazırlanan test seti

Test No	Giriş					Çıkış	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y ₁	
						Sayısal Sonuç	YSA
1	0.011	0.015	0.085	17	6	0.0647	0.0649
2	0.018	0.018	0.135	21	8	0.0598	0.0596
3	0.013	0.014	0.19	23	10	0.0553	0.0552

The Using of Artificial Neural Networks in...

Yapay sinir ağını eğittikten ve test ettikten sonra; problem için verilen değerler ağa sunulursa elde edilen malzeme kalınlığı 0.0549 m bulunur. Bu problemin sayısal çözümü [1] sonucunda elde edilen malzeme kalınlığı ise 0.0548 m'dir.



Şekil 6. Tuğla duvar için kullanılan YSA'nın iterasyona bağlı olarak hata değişimi

5. SONUÇLAR

Yalıtımla tasarruf edilen enerji en temiz enerjidir. Parasal tasarrufların yanında enerjinin verimli kullanılmasının ekolojik yararları da vardır. Günümüzde hiçbir birey ya da topluluk parasını ödemeye hazır olsa bile enerji israfında özgür değildir. Ülkemizin makroekonomik konumu dikkate alındığında enerji ithali için harcanan dövizden sağlanacak tasarrufun önemi ortadadır.

Yapay sinir ağları, insan beyninin en önemli özelliği olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan gerçekleştirebilen bilgisayar sistemler olduklarından hem yeni gelişmelere neden olmakta hem de nasıl çalıştığı keşfedilemeyen insan beyni hakkında yapılan araştırmalara da önemli katkılar sağlamaktadır.

Yapay sinir ağlarının problemlere yaklaşımı insan zekâsı gibi edinilen tecrübeye bağlıdır. Yapay sinir ağları, insanlar gibi örneklerle eğitildikleri için eğitim sırasında yeterli sayıda veri grubunun kullanılması ile çok iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Bu çalışmada bir tuğla duvarın yalıtıma ihtiyaç olup olmadığı yapay sinir ağları ile analiz edilmiş ve yalıtım gerektiği takdirde yalıtım malzemesinin kalınlığı da yine yapay sinir ağları kullanılarak bulunmuştur. Bu problemin sayısal olarak analizi mümkün olmakla birlikte yapay sinir ağının daha basit ve daha hızlı işlemler ile sonuç elde etmesi bu tekniğin bir avantajıdır. Gerek bu çalışmadan elde edilen sonuçlar gerekse daha önce yapılmış olan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında yapay zekânın alt kollarından biri olan yapay sinir ağlarının mühendislik problemlerinde başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ekinci, C. E., "Yalıtım Teknikleri", 1 Cilt, 1. Baskı, İstanbul, Atlas Yayın Dağıtım, Ankara, 2003, 52-53.
- [2] Zurada, J.M., "Introduction to Artificial Neural Networks", West Publishing com., 1992
- [3] Kang H. T., Yoon C.J., "Neural Network Approaches to Simple Truss Design Problems", Microcomputers in Civil Engineering, Vol 9, 211-218, 1994.
- [4] Civalek, Ö., "The Analysis of Time Dependent Deformation In R.C Members by Artificial Neural Network", Journal of Pamukkale University Engineering sci. Vol.3, no:2, pp.331-335, 1997.

- [5] Ghaboussi, J., Garrett, Jr., Wu, X., “Knowledge- Based Modeling of Material Behavior with Neural Networks”, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 117: 1, 132-153, 1991.
- [6] Hani, KB., Ghaboussi, J., “Neural Networks for Structural Control of a Benchmark Problem”, *Active Tendon System, Earthquake Eng. & Structural Dynamics*, 27: 1225–1245, 1998.
- [7] Cıvlek, Ö., “Nöro-Fuzzy Tekniği ile Dikdörtgen Plakların Analizi”, III. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı, 16-18 Kasım, İstanbul, 1998, 518-524.
- [8] Yüksel Özbay, “EKG Aritmilerini Hızlı Tanıma”, Doktora Tezi, 1999
- [9] Cıvlek, Ö., Ülker, M, “Dikdörtgen Plakların Doğrusal Olmayan Analizinde Yapay sinir Ağı Yaklaşımı”, *IMO Teknik Dergi*, 3171-3190, 2004.
- [10] Fausett, L., “Fundamentals of Neural Networks, Architectures, Algorithms, and Applications”, Prentice-Hall, Inc., New-Jersey, 1994.
- [11] Ülker, M., Cıvlek, Ö., “Yapay Sinir Ağları ile Eksenel Yüklü Kolonların Burkulma Analizi”, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 117-125, 2002.