

Hafif Yapı Malzemelerinin Isıl İletkenlik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi

Şehmus FİDAN¹ 

¹Batman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Elektronik Programı, Batman
sehmus.fidan@batman.edu.tr

Hasan OKTAY² 

²Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Batman
hasan.oktay@batman.edu.tr

Süleyman POLAT³ 

³Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Batman
suleyman.polat@batman.edu.tr

Geliş Tarihi/Received:

06.11.2019

Kabul Tarihi/Accepted:

23.06.2020

Yayın Tarihi/Published:

30.06.2020

ÖZ

Binaların ısıtılması ve soğutulması için tüketilen enerjinin artmasıyla birlikte ısı performansı yüksek olan bina malzemelerine olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Bina malzemelerinin ısı performansı ise direk olarak malzemelerin termofiziksel özellikleri ile değişim göstermektedir. Bu çalışmada, binalarda enerji verimliliğini sağlamak için, uygun mekanik özellikler korunarak yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip olan yeni yapı malzemeleri elde etmek amacıyla deneysel ve teorik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, sabit su-çimento oranında, normal agrega yerine hacimce %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında pomza, geliştirilmiş perlit ve lastik agregaları kullanılarak çeşitli beton numuneleri hazırlanmıştır. 102 adet beton numunesi farklı bileşimlerde ve değişik malzemeler kullanılarak üretilmiştir. Tüm numunelerin mekanik testleri yapılmış, ısı iletkenlik özellikleri sıcak disk yöntemi ile ASTM ve EN standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Üretilen numunelerden deneysel olarak elde edilen ısı iletkenlik özelliği geliştirilen yapay sinir ağı çıktılarıyla karşılaştırılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Geliştirilen yapay sinir ağında sadece mekanik özellikler giriş olarak kullanılmış ve malzemelerin ısı iletkenlik ile ilişkisi araştırılmıştır. Yapay sinir ağı girişi olarak beton tipi, agrega oranı, yoğunluk, basma dayanımı, porozite ve ısı iletkenlik olarak belirlenmiştir. Çıktılar

karşılaştırıldığında, bulunan sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu ve hafif betonlara ait ısı iletkenlik değeri %-1.09 ile %6,4 arasında bir hata ile tahmin edilmesinin kabul edilebilir olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton, Isıl İletkenlik, Mekanik Özellikler, Yapay Sinir Sağları, Enerji Verimli Binalar.

Artificial Neural Network-Based Prediction of Thermal Properties of Light Building Materials

ABSTRACT

The growing concern about energy consumption of heating and cooling of buildings has led to a demand for improved thermal performances of building materials. In this study, an experimental investigation is performed to predict the thermal insulation properties of wall and roof structures of which the mechanical properties are known, by using back-propagation artificial neural network (ANNs) method. The produced samples are cement based and have relatively high insulation properties for energy efficient buildings. In this regard, 102 new samples and their compositions are produced and their mechanical and thermal properties are tested in accordance with ASTM and EN standards. Then, comparisons have been made between the determined thermal conductivity of the newly produced structures, which are obtained from experimental method and ANN method that uses mechanical properties as input parameters. From the test results, since the percentage errors in the thermal conductivity values between experimental data and neural network prediction vary from -1.09% to 6.4%, It can be concluded that the prediction of the artificial neural network has proceed in the correct manner.

Keywords: Concrete, Thermal Conductivity, Mechanical Properties, Back-Propagation, Energy Efficient Building

1. GİRİŞ

Binaların ısıtılması ve soğutulması için tüketilen enerji, günümüzde kullanılan enerjinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu yüzden enerjinin verimli bir şekilde kullanılması büyük önem arz etmektedir. Değişen ortam sıcaklığının konfor şartlarında tutulabilmesi, ortamın ısıtılması ya da soğutulması ile mümkündür. Yani; kışın dış hava sıcaklığı konfor sıcaklığından düşük olduğu için ortamın ısıtılması, yazın ise dış hava sıcaklığı konfor sıcaklığından yüksek ve güneş ışımasını kışa göre yüksek olduğu için ortamın soğutulması, konfor sıcaklığına düşürülmesi gerekmektedir. Bu durumda, yaz aylarında yaşanılacak yerlerin konfor sıcaklığına düşürülmesi ise soğutma üniteleriyle mümkündür.

Bir soğutma ünitesinin kapasitesinin belirlenmesi ise, o yerin soğutma yükünün hesaplanmasına bağlıdır. Bunun yanında soğutma yükünü oluşturan bileşenler de oldukça fazladır. Bu bileşenler ise duvar ve tavandan gelen ısı kazancı, kapı ve pencerelerden, hava sızıntılarından, aydınlatma ve diğer elektrikli cihazlardan, insanlardan gelen ısı kazanımları olarak sayılabilir (McQuiston ve Spitler, 1992; ASHRAE, 1993; McQuiston ve Parker., 1994; Threlkeld, 1998; Dağsöz vd., 1999). Bu bileşenlerden en geniş yüzeylere sahip olan duvar ve tavan gibi yapılardan gelen ısı kazançları soğutma yükünün en büyük kısmını oluşturmaktadır. Diğer bileşenler oran olarak daha az olup, bilinen yöntemlerle hesaplanmaktadır (Bansal vd., 2008). Bu yapılardan gelen ısı kazançları ise çoğunlukla yapının kendi termofiziksel özelliklerine bağlıdır (Zhang vd., 2013; Asan, 2006; Asan ve Sancaktar, 1998; Jin vd., 2012; Zhang vd., 2006; Zhang vd., 2014; Kontoleon vd., 2013; Barrios vd., 2011). Bu özelliklerden özellikle ısıl iletkenlik, bir malzemenin ısıl performansının hesaplanmasında çok önemli bir etkiye sahiptir. Bunu yanında bu yapıların binalarda görevini uzun yıllar boyu tahrip olmadan yerine getirebilmesine için uygun mekanik özelliklere de sahip olması gerekmektedir.

Yapı malzemelerinden istenilen mekanik özelliklerin başında ise dayanım ve dayanıklılık gelmektedir. Bu özellikler ise yapıların mikro yapılarına, mineralojik bileşimlerine, oranlarına, içerdiği malzemelere, nem içeriğine ve boşluk yapısına bağlıdır (Khan, 2002; Kim vd., 2003). Bu yüzden, bina yapılarında kullanılacak malzemelerin uygun ısıl ve mekanik özelliklere sahip olanlarının seçilmesi ile birlikte yapıların ısıl performansının artırılarak hem enerji israfı hem de çevre kirliliği azaltılacaktır. Fakat bina yapılarının ideal ısıl özelliklerinin tespiti için kullanılacak olan test cihazların bulunma zorluğu ve bu cihazların yüksek maliyetleri, enerjinin verimli olarak kullanılması noktasında önemli bir dezavantaj oluşturmakta ve bu durum da bilim adamlarını farklı arayışlara yönlendirmektedir.

Literatürde kullanılan matematiksel modeller, deneysel yöntemlerle elde edilen verilerin toplanarak bina yapılarının davranışlarının tanımlanmasında kullanılan ve genel olarak çok güvenilir ve verimli sonuçlar verdiği için tavsiye edilen modellerdir. Matematiksel modellerin deneysel verilerinin toplanarak bir problemin çözülmesi işlevinde kullanılmasında genel olarak regresyon biçimini aldığı ve serbest metotlar olarak adlandırıldığı bilinmektedir. Eğer problemin birden çok değişken içerdiği ve bu değişkenlerin birbiri ile ilişkili olduğu biliniyorsa, regresyon tabanlı yöntemler problemin çözümünde zayıf kalmakta bununla birlikte güvenilir ve hassas olmayan sonuçların ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir. Günümüzde bu problemin çözümünde kullanılan yeni yöntemlerin başında yapay sinir ağları gelmektedir (YSA).

Yapay Sinir Ağları, serbest modellere göre daha uzman sistemler olup, problemin çok değişkenli ve değişkenler arasında karmaşık, karşılıklı etkileşim olduğunda ya da çözüm kümesinin tek bir tane olmadığı durumlarda başarılı sonuçlar üreten ve sonuçların hata ve yaklaşım oranlarını gösteren bir tekniktir (Marai vd., 2009). Doğrusal olmayan, çok boyutlu, kesin olmayan, eksik, kusurlu, hata olasılığı yüksek veriler ve karmaşık mühendislik problemlerin çözümünde özellikle bir matematiksel

model ve algoritmanın bulunmaması durumlarında yaygın halde yapay sinir ağları uygulamaları yapılabilmekte ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir. YSA modelleri aynı zamanda malzeme davranış ve karakterlerinin tespitinde de çok fazla kullanılan bir yöntemdir. Deneysel sonuçlar malzeme davranışı hakkında yeterli bilgi içerdiği takdirde geliştirilen YSA sistemleri sadece deneysel sonuçlar üretmeyecek, aynı zamanda da onların genelleştirme yetenekleriyle diğer deneylerdeki sonuçlara yaklaşabilecek ve daha küçük hata tahminlerinin yapılmasına imkân verecektir (Masri vd., 1993).

Literatürde, malzeme davranışlarının özellikle mekanik özelliklerin üzerindeki etkisinin tahmininde yapay sinir ağları kullanılmıştır. Guang and Zong (2000) beton numunelerinin 28 günlük dayanım özelliklerinin tespitinde, Marai M. Alshihri vd. (2009) ise 3, 7, 14 ve 28 günlük dayanım değerleri YSA ile tahmin edilmiştir. Dias (2001) taze beton numunelerinin çökme ve mukavemet özelliklerini, Eldin ve Senouci (1994) ile Lai ve Serra (1997) ise farklı agregalardan oluşmuş beton numunelerinin tahmininde YSA'yı kullanmışlardır. Her ne kadar birçok araştırmada betonların mekanik davranışını tahmin etmek için YSA yöntemini kullanılmaya çalışılsa da, betonun ısı özelliklerinin araştırılması konusunda az sayıda araştırma yapılmıştır. Ayrıca literatürde betonların mekanik özelliklerini kullanarak ısı özelliklerini tahmin edilmesi ile ilgili bir çalışma neredeyse hiç bulunmamaktadır. Bu nedenlerden dolayı bu yapıların optimal ısı yalıtım özelliklerini tanımlamak için hem doğru hem de basit yöntemler gereklidir.

Bu çalışmada öncelikli olarak enerji verimli binalar için uygun mekanik ve ısı özelliklere sahip olan yeni yapı malzemeleri elde etmek amacıyla deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 102 adet beton numunesi farklı bileşimlerde ve değişik malzemeler kullanılarak elde edilmiştir. Tüm numunelerin mekanik ve ısı iletkenlik testleri ASTM ve EN standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Ardından her bir deneysel sonucundan elde edilen mekanik ve ısı özellikler YSA' da işlenmiştir. Üretilen numunelerden deneysel olarak elde edilen ısı iletkenlik özelliği, geliştirilen yapay sinir ağı çıkışları ile karşılaştırılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Geliştirilen yapay sinir ağında sadece mekanik özellikler giriş olarak kullanılmış ve malzemelerin ısı iletkenlik ile ilişkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Deneysel yöntem

Bu çalışmada bina yapılarında kullanılacak farklı agrega ve katkı kullanılarak beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelerin özelliklerinin aralığı çok geniş olup hem yapısal hem de hafif uygulamalardaki kullanılan yapı malzemelerin özelliklerini kapsamaktadır. Bu amaçla sabit suçimento oranında, normal agrega yerine hacimce %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında pomza, genleştirilmiş perlit ve lastik agregaları kullanılarak 102 adet farklı çeşitli beton numuneleri

hazırlanmıştır. Beton için normal agrega olarak çakıl ve kum, bağlayıcı olarak CEM 42.5 R cinsi Portland çimentosu, taze betonda istenilen işlenebilirliğin sağlanması ve su/çimento oranının azaltılması için poli-karbolik bazlı akışkanlaştırıcı katkı maddesi, hafif betondaki hava miktarının artırılması için hava sürükleyici katkı maddesi ve mineral katkı maddesi olarak ise silis dumanı kullanılmıştır.

Belirlenen karışımlarla üretilen numuneler 10x10x10 cm boyutlarında kalıplara yerleştirilmiş olup 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Daha sonra, numuneler kalıplardan çıkarılarak 28 gün boyunca $22\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'de kirece doymuş su içinde saklanmıştır. Numunelerde kullanılan her bir malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri aynı zamanda kullanılan karışım ve malzeme miktarları Oktay vd. (2015)'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Her seriye ait 10x10x10 cm³ boyutlarındaki 5 adet küp numune 28 gün sonra kullanılarak 0,24 MPa/sn yükleme hızında basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Küp basınç dayanımı deneylerinde 3000 kN kapasiteli KALTEST 3000 Marka basınç presi kullanılmış, ASTM C39 standardına göre yapılmış olup Şekil 1'de görüldüğü gibi basınç dayanımı deneyi sırasında kullanılan küp numunelerdeki değişim görülmektedir.



Şekil 1. Küp Basınç Dayanım Deneyi

Yoğunluk ve gözeneklilik testleri sırasıyla ASTM C138 ve ASTM C 948 standardına göre yapılmıştır. Öncelikle numuneler TS 3649 'da belirtildiği şekilde ağırlık farkı %1 veya daha az oluncaya kadar kurutulmuştur. Isıl iletkenlik özellikleri değerlerinin tayini EN 12667 standartlarına göre 35 gün sonra kurutulmuş olan numuneler üzerinde yapılmıştır. Sıcak tel (TPS) metodu ile kullanılarak tespit edilen ısıl özellikler, 10x10x10 cm boyutlarına sahip numuneler için 5'er defa yapılmış ve ortalama değerler kaydedilmiştir. Isıl iletkenlik özellikleri değerleri için numuneler Şekil 2'de gösterildiği gibi ve ölçüm parametreleri Tablo 1' de verilen ISOMET Marka 2104 Model (heat transfer analyzer) cihazı kullanılarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Isıl Özellik Ölçüm Cihazı

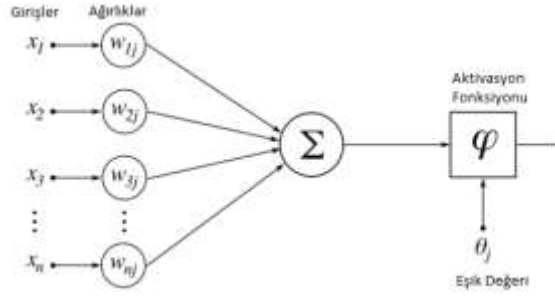
Tablo 1. Isıl özellik analizörü ölçüm parametreleri

Ölçüm hassasiyeti	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
Isıl iletkenlik katsayısı	0.015–6 W/mK	% 5 okuma + 0.001 W/mK
Çalışma sıcaklığı	-20 – +70 °C	1°C

2.2. Yapay sinir ağı modeli

YSA'lar genellikle fonksiyon uydurma, desen çıkartma ve veri kümeleme işlemlerinde kullanılır. YSA'lar insan beyninde bulunan nöronların biyolojik davranışının modellenmesiyle oluşturulmuş olup, veri çok fazla olduğunda el ile çözümün mümkün olmamasından kaynaklanan problemlerin çözümü için oldukça kullanışlıdır. Basit bir yapay sinir ağı hücresi, beyinde bulunan nöronlara göre çok daha basit bir işleve sahiptir. Şekil 3 temel olarak yapay sinir ağının genel modelini göstermektedir. Gösterilen yapay sinir ağı modeli incelenecek olursa; sistem girişler/çıkışlar, ağırlıklar, aktivasyon fonksiyonu, eşik değeri ve transfer fonksiyonu gibi birimlerden oluşmaktadır.

Dış dünyadan alınan veriler ağırlıkları ile çarpılarak transfer fonksiyonuna aktarılır. Elde edilen sonuç aktivasyon fonksiyonundan geçirilir ve nöronun çıkışı elde edilir. YSA'larda kullanılan aktivasyon fonksiyonu: basamak fonksiyonu, sigmoid fonksiyonu veya hiperbolik tanjant fonksiyonu gibi fonksiyonlarla ifade edilebilir. Çoğunlukla doğrusal olmayan bir fonksiyon olarak gösterilen aktivasyon fonksiyonu bir eşik değeri de içerir. Yapay sinir ağının eğitimi sırasında hata, deneysel sonuç ve nöronun tahmin ettiği sonuç arasındaki farka bakılarak hesaplanır. Sinir ağı boyunca hata geriye doğru yayılır böylece her bir nöronda ağırlıklar yeniden hesaplanır (Fausett, 1994).



Şekil 3. Temel Yapay Sinir Ağı Modeli

Şekil 3'te gösterilen sinir ağının matematiksel ifadesi:

$$o = f(wx + bias) \quad (1)$$

Burada ağırlık ve girişler:

$$w = w_1, w_2, \dots, w_n \quad (2)$$

$$x = x_1, x_2, \dots, x_n \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır. Yapay sinir ağına ait transfer fonksiyonu:

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad (4)$$

Eşitlik 4'de b indisi eşik değeri olarak ifade edilmektedir. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonunun kullanılması durumunda ağın çıkışı:

$$C_j = f(net_j) = \frac{1}{1 + e^{-(net)}} \quad (5)$$

olarak ifade edilmektedir. Bu denklemden belirtilen f fonksiyonu hiperbolik, sigmoid, ters hiperbolik gibi türevleri alınabilen fonksiyonları temsil etmektedir. Ağın beklenen çıkışı (B_k) ile hesaplanan çıktı (C_k) arasındaki fark belirlenerek hata bulunur. Hatanın azaltılması için ağıdaki nöronlara ait ağırlıkların değerleri değiştirilir. Hata belirli bir değerin altına düşene kadar ağırlıkların değerleri sürekli güncellenir. Hata değeri:

$$E_m = B_k - C_k \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir. Ağdaki tüm hataları toplanır ve toplam hata bulunur, bazı hata değerleri negatif olacağından toplamın sıfır olmasını engellemek için hatanın karesi alınır. Toplam hata:

$$TH = \frac{1}{2} \sum_m E_m^2 \quad (7)$$

olarak gösterilir. Ağırlıkların değişim miktarı:

$$\Delta W_{jk} = \lambda \delta_m \zeta_k + \alpha \Delta W_{jk}(t - 1) \quad (8)$$

denklemlerle ifade edilir. ΔW_{jk} , değişim miktarı, α momentum katsayısı, λ öğrenme katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Momentum değeri ağırlıkların öğrenme sırasında yerel bir optimum noktaya takılmaması, öğrenme ile ilişkili katsayı ise ağırlıkların değişim miktarını ayarlamak için değişim değerinin belirli oranda bir sonraki değişime eklenmesini sağlar (Fausett, 1994; Freeman ve Skapura, 1991). δ_m ise m . çıktı ünitesinin hatasını gösterir ve Denklem 9'daki gibi ifade edilir.

$$\delta_m = f'(net_k) \cdot E_m \quad (9)$$

Türevi alınmış sigmoid fonksiyonunun kullanılması durumunda;

$$\delta_m = \zeta_j (1 - \zeta_j) \cdot E_m \quad (10)$$

Ağırlıkların t . iterasyondaki yeni değerleri Denklem 11'deki gibi bulunur.

$$W_{jk} = \Delta W_{jk}(t) + W_{jk}(t - 1) \quad (11)$$

Bu çalışmada, üç katmanlı 4-5-1 nöron içeren bir sinir ağı Matlab yazılımı kullanılarak tasarlanmış, eğitilmiş ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen 102 farklı beton tipinin deneysel yöntemlerle test edilmesi sonucu toplanan veriler oluşturulan yapay sinir ağının eğitimi için kullanılmıştır. Eğitim için verilerin yaklaşık %75'lik kısmı kullanılmıştır. Doğrulama için ise geriye kalan %25'lik veri ağa gösterilmiş ve başarısı test edilmiştir. Oluşturulan yapay sinir ağı için girişler: beton tipi, yoğunluk, porozite, basma mukavemeti ve beton yapısına ihtiva edilen hafif agrega oranı (%) olarak belirlenmiş olup her bir deneysel sonuçtan elde edilen mekanik özellikler yapay sinir ağına gösterilmiş ve ısıl özellikler tahmin edilmeye çalışılmıştır.

3. Uygulama ve Başarımlar

Daha önceki bölümde yapısı gösterilen yapay sinir ağı modeli kullanılarak farklı malzeme ve bileşimden oluşan betonların test edilmesi sonucu elde edilen değerler ağın eğitilmesinde kullanılmıştır. Hafif agrega oranına bağlı olarak değişen ve NB, PB, HSB, GPB ve LB olarak adlandırılan betonların, yapılan mekanik ve ısı iletkenlik ile ilişkili test sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de gösterilen verilerden beton tipi, porozite, basma mukavemeti ve hafif agrega oranı mekanik özellikler temsil etmektedir. Bu mekanik özellikler YSA’da giriş olarak alınmakta, çıkışta ise ısı iletkenlik özelliği tahmin edilmeye çalışılmaktadır

Tablo 2. Üretilen hafif betonların mekanik ve ısı iletkenlik özellikleri*

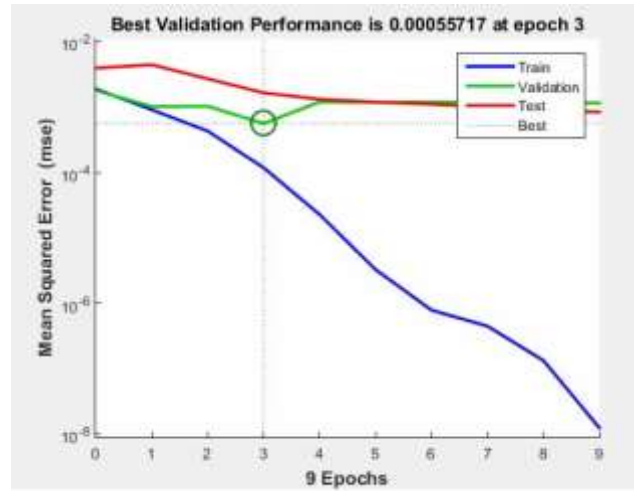
Beton tipi ve agrega oranları	Basma mukavemeti σ_c (MPa)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Porozite ϕ (%)	Isı iletkenlik λ (W/mK)
NB	51.85	2345.09	9.69	1.96
HSB	48.11	2288.86	8.41	1.91
GPB (%10)	31.21	2139.09	12.86	1.51
GPB (%20)	19.02	1885.52	18.37	1.22
GPB (%30)	10.01	1559.44	23.28	0.70
GPB (%40)	8.15	1376.56	26.12	0.50
GPB (%50)	4.88	1168.63	28.20	0.36
PB (%10)	33.46	2005.34	11.23	1.54
PB (%20)	23.39	1851.02	16.55	1.29
PB (%30)	13.07	1559.95	22.05	0.76
PB (%40)	9.90	1400.72	24.20	0.54
PB (%50)	9.51	1329.97	27.28	0.41
LB (%10)	42.04	2244.30	9.19	1.72
LB (%20)	30.41	2148.07	11.43	1.44
LB (%30)	19.04	2033.93	12.23	1.22
LB (%40)	9.51	1874.62	14.19	0.89
LB (%50)	4.53	1644.98	16.35	0.62

* Bu özellikler her bir deney serisine ait 6 numunenin ortalamasının alınarak elde edilmiştir.

Çalışmamızda geliştirilen yapay zekâ modelinin performansını test etmek için yapay zekaya gösterilen gerçek çıkış değeri ve yapay zekanın tahmin ettiği değerin farkını alıp karesini hesaplayan istatistiksel bir yöntem olan ortalama karesel hata (Mean Square Error-MSE) tercih edilmiştir. Ortalama karesel hata regresyon eğrisinin bir noktaya kadar karşılaştırılan değerlerin birbirine ne kadar yakın olduğunu göstermektedir. Temel olarak değeri her zaman pozitifdir. Bu değer sıfıra yakın olması yapay zekanın performansının iyi olduğunu göstermektedir. Denklem 12 ortalama karesel hatanın bulunması için kullanılmaktadır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n e_i^2 \quad (12)$$

Bu denklemde e_i yapay zekâya gösterilen gerçek değer ve yapay zekânın hesapladığı değer arasındaki farktır. n ise örneklem sayısıdır. Eğitim (train), doğrulama (validation) ve test aşamaları için ortalama karesel hata değerleri Şekil 3’de verilmiştir. Bu şekilde eğitim 9 iterasyonda tamamlanmış doğrulama aşamasında ortalama karesel hata 3 iterasyonda 0.00055717 olarak hesaplanmıştır. 3 iterasyon sonrasında test ve doğrulama aşamaları için benzer olarak kalmıştır.



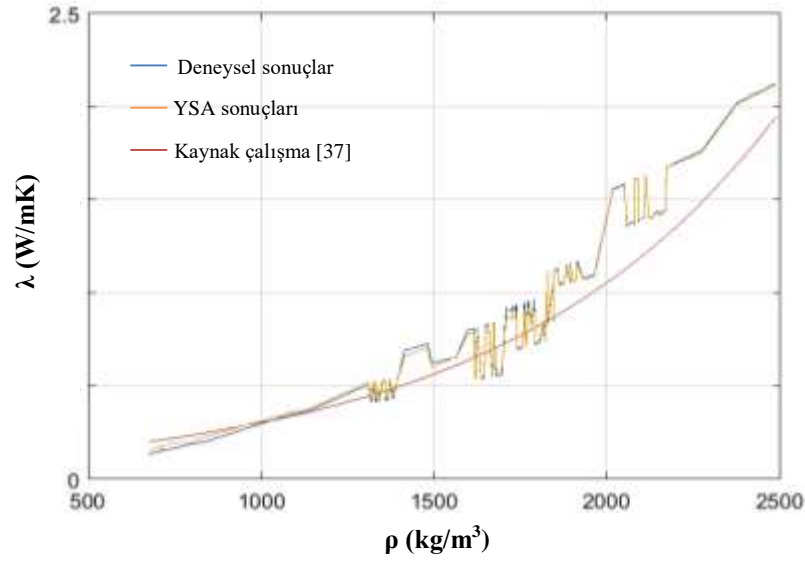
Şekil 4. Geliştirilen yapay zekânın performansı

“YSA’nın eğitimi tamamlandıktan sonra deneysel sonuçlardan elde edilen hafif betonlara ait ısı özelliklerinin tahmin edilen ve gerçek deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 3’te gösterilen deneysel ve tahmin edilen veriler, oluşturulan YSA’nın performansının iyi olarak kabul edilebilecek düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu tabloya göre oluşturulan yapay sinir ağı, hafif betonlara ait ısı özellikleri % -1.09 ile % 6.4 arasında bir hata ile tahmin etmektedir. Bu değerler üretilen hafif betonlar için oldukça kabul edilebilir değerler olmakla birlikte hatanın %5’in altına düşürülmesi ve doğru sonuçlar elde etmek için daha fazla deneyin yapılması çeşitli yapay sinir ağlarının denenmesi gerekmektedir.

Tablo 3. Deneysel çalışmadan elde edilen ve YSA’nın tahmin ettiği veriler

Beton tipi	Agrega oranı (%)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Basma dayanımı σ_c (MPa)	Porozite ϕ (%)	Isıl iletkenlik λ (W/mK)		
					Deneysel sonuçlar	YSA tahmini	Hata
GPB (40%)	45	1283.88	6.74	26.68	0.50	0.468	% 6.4
PB (20%)	25	1737.80	17.23	20.63	1.29	1.276	% -1.09
LB (30%)	35	1998.06	13.36	13.13	1.22	1.268	% 3.93
GPB (45%)	45	1283.88	6.74	26.68	0.42	0.4363	% 3.88
PB (25%)	25	1737.80	17.23	20.63	0.97	0.9893	% 1.99
LB (35%)	35	1998.06	13.36	13.13	1.15	1.1357	% -1.24

Literatürde betonun ısı özelliklerini mekanik özellikler yardımıyla tahmin etmeye çalışan çok az sayıda çalışma vardır. Yapılan bazı çalışmalarda, bu özelliklerin deneysel sonuçlarından elde edilen regresyon analizlerinin kullanılmasıyla bazı korelasyonlar ortaya çıkarılmıştır. Amerikan Beton Enstitüsü'nün yapmış olduğu kapsamlı bir çalışmada farklı agrega malzemelerinden üretilen betonların yoğunlukları tespit edilerek ısı özelliklerinden olan ısı iletim katsayısının arasındaki ilişkiyi ortaya çıkararak bir korelasyon denklemi elde edilmiştir. Çalışmamızda üretilen betonların yoğunlukları bu korelasyon denklemine girilerek elde edilen ısı iletim katsayıları ile çalışmamızda YSA tarafından elde edilen ısı iletim katsayıları Şekil 5' te karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. Deneysel sonuçların, YSA ve Kaynak çalışmasında (ACI Committee, 2002) elde edilen ısı iletim katsayıları ile karşılaştırılması

Şekil incelendiğinde 1600 kg/m³ değeri altındaki yoğunluk değerlerinden elde edilen ısı iletim katsayıları karşılaştırıldığında YSA ve korelasyon sonuçları arasında anlamlı bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun sebebini çalışmada belirtildiği gibi korelasyon denkleminin 320 ila 1600 kg/m³ yoğunluklar arasında daha iyi sonuçlar vermesinden kaynaklanmaktadır. [37] Sonuç olarak, ısı iletim katsayıları tahmin etmek için kullanılan doğrusal regresyon modelleme yaklaşımının yetersiz olmasına rağmen, ısı iletim katsayılarının özelliklerini mükemmel bir şekilde temsil eden YSA kullanımı ile daha hassas sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir. Bunun nedeninin ise, YSA'nın herhangi bir varsayım olmaksızın mekanik ve ısı özellikleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri ortaya çıkarabilmesidir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada binalarda enerji verimliliğini sağlamak amacıyla, uygun mekanik özellikler korunarak yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip olan yeni yapı tipleri elde etmek amacıyla deneysel ve teorik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 102 farklı yapı malzemesi üretilmiş olup, bu malzemelerin sadece mekanik özelliklerinin kullanılarak ısıl iletkenlik değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Normalde matematiksel olarak hesaplanması neredeyse imkansız olan ısıl iletkenlik katsayısının yapay sinir ağları kullanılarak yaklaşık olarak tahmin edilebilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmanın asıl konusu böyle bir tahmini gerçekleştirebilecek bir ağın oluşturulması ve başarının test edilmesi hakkındadır. Uygun yapay sinir ağını oluşturmak için farklı sayıda katman ve nörondan oluşan ağlar denenmiş olup 3 katmanlı 4-5-1 nörondan oluşan yapay sinir ağının, denenmiş olan diğer ağlara göre daha iyi tahminde bulunduğu gözlemlenmiştir. Oluşturulan bu ağ Levenberg-Marquardt (LM) algoritması kullanılarak eğitilmiş olup, ortalama karesel hata yaklaşık olarak 0.94 bulunmuştur. Ağa eğitim sırasında gösterilmeyen ancak doğrulama amaçlı kullanılan bir kısım verinin sonuçları ile YSA'dan elde edilen sonuçların karşılaştırıldığında birbirlerine yakın değerlere sahip oldukları ve mutlak maksimum hata payının % 6.4 olmasından dolayı kabul edilebilir olduğu görülmüştür. Böyle bir başarı ile enerji kaybının çok büyük sorunlara sebep olduğu binalarda, yapay zeka yöntemlerinin yapıların enerji verimliliğini göstermesi bakımından alternatif ve çok pratik bir yöntem olduğu bu çalışma ile gösterilmiştir. Sonuç olarak, yapıların ısı iletkenlik özelliklerinin tespiti noktasında YSA yönteminin kullanılarak güvenilir sonuçlar edildiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada beton yapılarının ısıl özelliklerini tahmin etmek için önerilen YSA modelinin fizibilitesinin ve uygulanabilirliğinin gösterilmesi ayrıca sinir ağları literatürüne önemli bir katkı sağlamaktadır.

Kaynaklar

- ACI Committee 122, Guide to thermal properties of concrete and masonry systems, American Concrete Institution, ISBN 9780870310850, 2002.
- Alshihri, M. M., Azmy, A. M., & El-Bisy, M. S. (2009). Neural Networks for Predicting Compressive Strength of Structural Light Weight Concrete, *Construction and Building Materials*, **23**, 6, 2214-2219.
- Asan, H. (2006). Numerical Computation of Time Lags and Decrement Factors for Different Building Materials, *Building and Environment*, **41**, 5, 615-620.
- Asan, H., & Sancaktar, Y. S. (1998). Effects of Wall's Thermophysical Properties On Time Lag and Decrement Factor, *Energy and Buildings*, **28**, 2, 159-166.
- Bansal, K., Chowdhury, S., & Gopal, M. R. (2008). Development of CLTD Values for Buildings Located in Kolkata, India, *Applied Thermal Engineering*, **28**, 10, 1127-1137.

- Barrios, G., Huelsz, G., Rechtman, R., & Rojas, J. (2011). Wall/roof thermal Performance Differences Between Air-Conditioned and Non Air-Conditioned Rooms, *Energy and Buildings*, **43**, 1, 219-223.
- Dağsöz, A. K., Işıkel, K., & Bayraktar, K. G. (1999). Yapılarda Sıcak Etkisinin Getirdiği Problemlerin Isı Yalıtımı İle Çözümü ve Enerji Tasarrufu, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 329-339.
- Dias, W. P. S., & Pooliyadda, S. P. (2001). Neural Networks for Predicting Properties of Concretes with Admixtures, *Construction and Building Materials*, **15**, 7, 371-379.
- Eldin, N. N., & Senouci, A. B. (1994). Measurement and Prediction of the Strength of Rubberized Concrete, *Cement and Concrete Composites*, **16**, 4, 287-298.
- Fausett, L., (1994). Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications (No. 0063), *Prentice-Hall*.
- Freeman, J. A., & Skapura, D. M. (1991). Algorithms, Applications, and Programming Techniques, *Addison-Wesley Publishing Company*, USA.
- Handbook, A. S. H. R. A. E. (2007). HVAC applications, *ASHRAE Handbook, Fundamentals*. insulation placements, *Applied energy*, 112, 325-337.
- Jin, X., Zhang, X., Cao, Y., & Wang, G. (2012). Thermal Performance Evaluation of the Wall Using Heat Flux Time Lag and Decrement Factor, *Energy and Buildings*, **47**, 369-374.
- Khan, M. I. (2002). Factors Affecting the Thermal Properties of Concrete and Applicability of Its Prediction Models, *Building and Environment*, **37**, 6, 607-614.
- Kim, K. H., Jeon, S. E., Kim, J. K., & Yang, S. (2003). An Experimental Study on Thermal Conductivity of Concrete, *Cement and Concrete Research*, **33**, 3, 363-371.
- Kontoleon, K. J., Theodosiou, T. G., & Tsikaloudaki, K. G. (2013). The Influence of Concrete Density and Conductivity On Walls' Thermal Inertia Parameters Under a Variety of Masonry and Insulation Placements, *Applied Energy*, **112**, 325-337.
- Lai, S., & Serra, M. (1997). Concrete Strength Prediction By Means of Neural Network, *Construction and Building Materials*, **11**, 2, 93-98.
- Masri, S. F., Chassiakos, A. G., & Caughey, T. K. (1993). Identification of Nonlinear Dynamic Systems Using Neural Networks, *Journal of applied mechanics*, 60, 1, 123-133.
- McQuiston, F. C., & Parker, J. D. (1994). Heating, Ventilating, and Air Conditioning: Analysis and Design, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.
- McQuiston, F. C., & Spitler, J. D. (1992). Cooling and Heating Load Calculation Manual, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.
- Ni, H. G., & Wang, J. Z. (2000). Prediction of Compressive Strength of Concrete by Neural Networks, *Cement and Concrete Research*, **30**, 8, 1245-1250.
- Oktay, H., Yumrutaş, R., & Akpolat, A. (2015). Mechanical and Thermophysical Properties of Lightweight Aggregate Concretes, *Construction and Building Materials*, **96**, 217-225.
- Threlkeld, J. L. (1998). Thermal Environmental Engineering. *Prentice Hall*.
- Zhang, Y., Chen, Q., Zhang, Y., & Wang, X. (2013). Exploring Buildings' Secrets: The Ideal Thermophysical Properties of a Building's Wall for Energy Conservation, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **65**, 265-273.

- Zhang, Y., Du, K., He, J., Yang, L., Li, Y., & Li, S. (2014). Impact Factors Analysis on the Thermal Performance of Hollow Block Wall, *Energy and Buildings*, **75**, 330-341.
- Zhang, Y., Lin, K., Zhang, Q., & Di, H. (2006). Ideal Thermophysical Properties for Free-Cooling (or heating) Buildings with Constant Thermal Physical Property Material, *Energy and Buildings*, **38**, 10, 1164-1170.