

YAPAY ZEKÂ MODELLERİ İLE BETONARME YAPILARA AİT ENERJİ PERFORMANS SINIFLARININ TAHMİNİ

Melda YÜCEL *
Ersin NAMLI **

Alınma: 02.08.2017; düzeltme: 18.11.2017; kabul: 31.12.2017

Öz: Günümüzde giderek önemi artan enerji verimliliği ve etkin enerji kullanımı, hayatın her alanında ihtiyaç duyulan enerji ve kaynaklarının daha bilinçli ve verimli kullanılmasını gerektirmiştir. Özellikle inşaat sektörü enerji verimliliği konusunun en dikkat çeken uygulamalarına sahip alanıdır ve inşaat sektörüne ait birçok alanda enerji konusunda çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu açıdan bakıldığında bir sistemin enerjisiyi kullanımı ve ne ölçüde etkin/verimli tüketildiğinin göstergesi sayılabilecek enerji performansı, özellikle inşaat sektöründe önemli bir konuma gelmiştir. Bina enerji performansının hesaplanma zorluğuna ek olarak hesaplama işleminin uzmanlık istemektedir ve uzun sürmektedir. Bu çalışmada binaların enerji performansını belirleyen enerji sistemlerinin verimlilik seviyesini gösteren enerji sınıflarının yapay zekâ tabanlı bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla, betonarme yapıda çeşitli niteliklerdeki 127 binanın mimari proje ve enerji kimlik belgeleriyle girdi ve çıktı nitelikleri belirlenerek özgün bir veri seti oluşturulmuştur. Isıtma sınıfı modelinde çok katmanlı yapay sinir ağı (YSA), Bayes sınıflandırıcı, k-en yakın komşu sınıflandırıcısı ve C4.5 algoritması; soğutma sınıfında ise yalnızca YSA modeli kullanılmıştır. Isıtma sınıflandırma tahmin modelinde 127 veriden 117' sinin doğru sınıflandırılmasıyla en yüksek sınıflandırma doğruluk değeri %92.126 olarak YSA algoritmasıyla elde edilmiştir. Soğutma sınıflandırma tahmin modelinde ise YSA algoritması ve parametre optimizasyonlarının gerçekleştirilmesiyle %62' ye varan bir doğruluk oranı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, Bina enerji performansı, Yapay Zekâ, Makine Öğrenme.

Energy Performance Classes Prediction of Concrete Buildings with Artificial Intelligence Models

Abstract: Today, increasingly important energy efficiency and effective use of energy necessitate more conscious and efficient use of the energy and resources are necessary in every area of life. Especially the construction sector has the most remarkable applications of energy efficiency and various studies on energy area are carried out in many construction activities. When considered from this point of view, in recent years, energy performance which is an indicator of energy usage of a system and how effective and efficiently it is consumed takes an important place especially in the construction sector. In addition to difficulty in calculating of building energy performance, the calculation process requires expertise and calculation takes long time. In this study, an artificial intelligence based model developed for predicting energy classes which represents energy systems' efficiency level. With this aim, Input and output attributes are determined from architecture projects and energy performance certificates of 127 buildings' which are reinforced concrete structures with various qualities, so an original data set generated. In heating class model, multilayer artificial neural networks (ANN), Bayesian classifier, k-nearest neighbor classifier and C4.5 algorithm; for cooling class, only ANN based model was used. In heating

* İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Avcılar 34320, İstanbul, Türkiye

** İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Avcılar 34320, İstanbul, Türkiye

İletişim Yazarı: Ersin NAMLI (enamli@istanbul.edu.tr)

classification prediction model the best classification accuracy value 92.126% were achieved by ANN algorithm, 117 of 127 instances correctly classified. In cooling classification prediction model, with ANN algorithm and application of parameter optimizations 62% accuracy rate is obtained.

Keywords: Energy efficiency, Building energy performance, Artificial intelligence, Machine learning.

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar gelinen süreçte yaşamın devamlılığı ana amaç olmak üzere çeşitli konularda ve alanlarda çeşitli enerji kaynaklarından yararlanılmıştır. Bu durum da enerjinin insan hayatındaki yerini ve önemini ortaya koyan bir durumdur. Bu açıdan yaşamın devamlılığı için enerji kullanımı bir zorunluluktur ve bu kullanım olabilecek en doğru şekilde gerçekleşmelidir.

Enerji ve kaynaklarının bilinçli ve doğru bir şekilde kullanılması, birçok sektörde enerji tüketim oranlarında gerçekleşecek olan azalma ile enerji verimliliğinin artmasını sağlayacaktır. Bu sektörlerden biri olan inşaat sektörü için enerji verimliliği konusu, özellikle bulunduğumuz yy. da bina enerji tüketimi ve performansı konularında giderek önem kazanmaya başlamıştır.

Bu açıdan enerji tüketimi bir yapı içerisinde, uygulanan tüm faaliyetlerin can damarı olarak hayati bir rol oynamaktadır. Yapılar içerisinde nerede ve ne zaman enerji tüketildiğini analiz etmek, enerji alanında yaşanan sorunları daha iyi anlamak ve bu sorunlara etkili çözümler önermek açısından önemlidir (Bakar ve diğ., 2015).

Bakar ve diğ. (2015) ise çalışmalarında bir binadaki enerji tüketiminin performansını izlemek için kullanılan bir gösterge olan Enerji Verimliliği Endeksi/Ölçütü (EEI) hakkında bir inceleme sunmuşlardır. Fossati ve diğ. (2016) de yapmış oldukları çalışmada dünyanın her yerinde kullanılmakta olan bina enerji verimliliğini gösteren sınıfların ve bu sınıfların yer aldığı şemaların yeniden incelenmesinin yanısıra Brezilya'daki konut binaları için kabul edilen enerji sınıfı şemalarını ele almışlardır. Bu çalışmada, mevcut durumdaki şemanın uygulanma sürecinde, şemanın güçlü ve zayıf yönleri ile uluslararası kullanılan diğer şemalarla olan benzerlik ve farklılıkları tanımlanmaktadır. Farklı bir çalışma olan Martinez-Molina ve diğ. (2016) ise çalışmalarında binaların, sürdürülebilirlik ve enerji performansının geliştirilmesi ve miras tarihi yapıların korunması için güncel enerji verimliliği ve ısı konforu standartlarına göre yenilenmesi gerektiğini göstermişlerdir. Ayrıca çalışmalarında yapmış oldukları incelemeleri farklı yapı türlerini (konut, dini, akademik, kentsel alan, müze vb.) ele alarak gerçekleştirmişlerdir. Chandel ve diğ. (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise inşaat sektöründe enerji tüketiminin azaltılmasının önemini göz önünde bulundurarak Hindistan' daki yapı yönetmelikleri için binaların enerji verimliliğinin ölçülebilmesinde gerekli olan etkili ve uygulanabilir bir strateji belirlenmesi için farklı ülkelerin enerji verimliliği önlemlerini, kodlarını ve standartlarını incelemişlerdir.

Ülkemizde ise Yıldız ve Arsan (2011) tarafından yapılan çalışmada İzmir' de mevcut bir apartmanın tasarımı dikkate alınarak sıcak-nemli iklimlerde binalar için en önemli parametrelerin belirlenmesi için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Düzgün ve Kömürgöz (2014) ise çalışmalarında, birçok piyasa tabanlı enerji verimliliği politikalarından biri olan Ticari Beyaz Sertifika veya Enerji Verimliliği Yükümlülükleri olarak adlandırılan sistemi ele almaktadır. Yapmış oldukları bu çalışmada aynı zamanda Türkiye'de enerji alanının mevcut durumunun yanısıra sektörler tarafından gerçekleştirilen enerji tüketimini, her bir sektörün enerji verimliliği potansiyelini ve enerji verimliliği politikalarını ele almışlardır. Diğer yandan Mangan ve Oral (2016) ise binalarda yenilenebilir enerji kullanımının azlığı, kaynak kullanımının çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve yüksek enerji maliyetleri nedeniyle bina enerji performansının ölçülmesi gerektiğini öngörmüştür. Bu nedenle çalışmalarında bina enerji performansının iyileştirilmesinde etkili olan önlemlere yönelik tasarlanan, ülke kaynakları ve karar vericiler için optimum kullanım sağlamanın amaçlandığı farklı iklim bölgeleri geliştirmişlerdir. Özellikle son yıllarda giderek artan etkin bina tasarımı, çevreci yaklaşım ve enerji verimli binalar konusunda

gerçekleştirilen çalışmalar sayesinde enerji verimliliği ve performansı konusunda bilinç oluşturularak yapıların enerji performansının belirlenebilmesi açısından çeşitli düzenlemeler de hayata geçirilmiştir.

Enerji verimliliği faaliyetlerine artan ilgi nedeniyle binalar için birtakım standartlar ve yönetmelikler oluşturulmuştur. Binalarda Enerji Performansı Direktifi uyarınca 2006 yılında Avrupa ülkeleri için enerji performans sertifikaları zorunlu hale getirilmiştir. Bu bağlamda Türkiye' de de Enerji Verimliliği Kanunu, Binaların Enerji Performansı Yönetmeliği, Enerji Kaynaklarının ve Son Kullanma Etkinliğinin Artırılmasına Dair Yönetmelik ile Enerji Verimliliği Strateji Belgesi gibi birçok yasal düzenleme yapılmıştır (Yiğit ve Acarkan, 2016).

Bu amaçla binaların enerji performansını belirleyen enerji sistemlerinin sahip olduğu verimlilik derecesini yansıtan enerji sınıflarının kolayca tahmin edilebilmesi için gerçekleştirilmiş olan bu çalışma, bu konu adı altında yapay zekâ yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen ilk çalışmadır. Yapılmış olan uygulamalar sonucunda ısıtma enerjisi alanında %92' yi aşan bir başarı elde edilmiştir. Soğutma enerjisi için de %62' ye varan bir başarı sağlanarak enerji sınıflarının kolayca tahmin edilebilmesi yolunda önemli bir adım atılmıştır. Bu açıdan bu çalışma birçok uzun ve zorlu işlem gerektiren enerji kimlik belgesi (EKB) edinme sürecinin kolaylaşmasını ve böylece bina performansının kısa bir zamanda ve hızlı bir şekilde belirlenebilmesini sağlayacak bir gelişme içermektedir.

2. BİNALARDA ISI YALITIMI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Binalarda ısı yalıtımı, konut, ticaret ve sanayi sektörüne uygulanabilen, basit ancak son derece yüksek enerji verimliliği sağlayan bir teknik olarak düşünülmektedir (Aditya ve diğ., 2017). Yaşanacak ısı kaybı/kazançlarının, ısının iletildiği ortamlar veya maddeler arasında yapılacak olan ısı yalıtımı uygulamaları sayesinde en aza indirilmesi ile enerji verimliliğinin de artması sağlanmalıdır.

2.1. Isı Yalıtımı ve Önemi

Isı yalıtımı prensibi, ısı kaybını veya ısı kazancını azaltacak olan enerji verimli malzemeleri kullanarak yalıtımın doğru bir şekilde uygulanması ile enerji maliyetlerinin azaltılmasını sağlamaktır (Aditya ve diğ., 2017). İnsanların birçoğu ısı yalıtımının genel olarak ısı kaybının önlenmesi amacıyla yapılmakta olduğunu düşünse de özellikle yaz ayları için dış ortamdan iç ortama doğru geçen ısının kazanımı da söz konusu olmakta ve bu gibi durumlarda da yalıtım yapılması mümkün olmaktadır. Diğer yandan yalıtım, temel amacı olan ısı alışverişinin doğru sağlanmasının yanısıra güneşlenme, rüzgâr enerjisi gibi diğer enerji aktarımları açısından da fayda sağlamaktadır.

Binalarda uygulanan ısı yalıtımı ise, binaların dış yüzeyleri boyunca gerçekleşen ısı akışını azaltarak binaları, yazın daha serin ve kışın da daha sıcak tutmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle yalıtım malzemelerinin seçimi, kullanılacağı uygulamaya göre belirlenmekte ve gerekli izolasyon miktarı da binanın yapıldığı yerin iklimi, enlemi ve yükseltisine bağlı olmaktadır. Isı yalıtımı yapılarak binalarda kaybedilen ısı miktarı azaltabilir ve bundan dolayı enerji ve paradan tasarruf etmek mümkün olmaktadır (Gellert, 2010). Binalarda yapılacak olan ısı yalıtımı özellikle bina performansı açısından büyük bir öneme sahiptir. Bunun nedeni ise binalar tarafından kullanılacak olan enerjinin, yapılacak yalıtım uygulamaları sayesinde kontrollü bir şekilde olması ve binanın enerji verimliliğini en uygun seviyeye getirmesidir.

Bu bağlamda bina verimliliğini etkileyen ısı yalıtımı için kilit kanun, 2000 yılında zorunlu hale gelen Binalarda Isı Yalıtımı Gereklilikleri Ulusal Standardı TS 825' dir. TS 825 standardı, Bina Enerji Performansı Yönetmeliği ile birlikte binaların enerji performansını artırmak amacıyla destek sağlamaktadır. Bu standart, uluslararası standartlara uygun olup yeni binalar ve bina zarfının (bina iç ile dış ortamını ayıran yapı elemanları) en az %15' inin onarımının

yapıldığı mevcut binalar için ısı yalıtım koşullarını belirlemekte ve binalarda ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının hesaplama kurallarını tanımlamaktadır (Elsland ve diğ., 2014).

2.2. Bina Enerji Performansı ve Verimliliğinin Yönetimi

Binaların enerji performansı hem yeni binalar hem de mevcut binaların enerji verimliliği için kullanılabilir olan bir terimdir. Enerji performansı sadece m² veya ayak-kareye düşen birim enerji olarak ifade edilebileceği gibi, bu terimlerin tamamını içerecek şekilde de ifade edilebilir (Laustsen, 2010).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanmış olan “Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği (BEP)”, bir binaya ait tüm enerji tüketimlerinin değerlendirilmesini sağlayan hesaplamaları, birincil enerji ve sera gazı (CO₂) emisyonu sınıflarını, yeni veya tadilat yapılacak mevcut binalar için gereken minimum enerji performans koşullarını belirlemek, diğer yandan yenilenebilir enerji kaynaklarının durumunu değerlendirmek, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünün yapılıp sera gazı emisyonlarını da sınırlandırmak, binaların performans şartlarını belirlemek ve çevrenin korunmasını düzenlemeyi hedeflemektedir. Bu yönetmelik Avrupa Birliği’ nin 2002 yılına ait “Binaların Enerji Performansı Direktifi (Energy Performance of Buildings Directive)” esas alınarak oluşturulmuştur (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010).

Günümüzde yaşanan nüfus artışı ve dolayısıyla teknoloji kullanımının da yaygınlaşması nedeniyle enerji kullanımı giderek artmakta, bu da çevreye verilecek olan zararların daha yüksek oranlarda olmasına neden olmaktadır. Oluşabilecek çevre sorunlarıyla başa çıkabilmek için ise enerjiyi doğru bir şekilde ve doğru oranlarda kullanmak, bu konuda büyük bir ilerleme sağlayacaktır. Ayrıca enerji kaynaklarının kapasitesinin de kısıtlı olduğunu göz önünde bulundurursak, enerji kullanımının doğru yönetilmesi sayesinde enerji verimliliğini sağlamak da mümkün olacaktır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’ nın yapmış olduğu tanıma göre ise enerji verimliliği: “Binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin düşmesine sebebiyet vermeden enerji tüketiminin azaltılması” dır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010). Ayrıca konut sektöründe binalar için enerji verimliliğini sağlama ve sürdürme konusunda farklı kanunlar ve yönetmelikler oluşturulmuştur. Bu kanun ve yönetmelikler bazı zamanlarda ise yenilenecek kapsamları genişletilmiştir.

Tablo 1’ de yer alan bilgiler ve açıklamalar Türkiye’ de bina sektöründe kullanılan ve enerji verimliliğinin artırılmasının amaçlandığı kanun, yönetmelik ve düzenlemeleri belirtmektedir. Burada 2007 yılında yürürlüğe girmiş olan Enerji Verimliliği Kanunu, önemli bir role sahiptir. Bunun nedeni ise kanunun tüm sektörler için enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjilerin geliştirilmesi için gerekli olan koşulları içermesidir. İnşaat sektörü için ise bu kanunun amacı, enerji verimliliğini sağlamak ve korumak için alınacak önlemleri destekleyen bir yapı oluşturmaktır (Elsland ve diğ., 2014).

2.2.1. Enerji Kullanımı

Dünya üzerindeki kaynakların doğru bir şekilde kullanılarak çevreye verilebilecek olası zararların önüne geçmek ve bu zararları en aza indirmek açısından uygun enerji tüketim politikalarını benimsemek, enerji verimliliğinin gerçekleştirilmesi konusunda önemli bir gelişme sağlayacaktır.

Bu bakımdan bina enerji kullanımının tahmini, enerji verimliliğinin ölçülmesini sağlayarak bina enerjisinin korunması ve yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır (Wang ve Srinivasan, 2017).

Bununla birlikte günümüzde binalar dünya çapındaki enerji tüketiminin yaklaşık olarak %40’ ından sorumlu olup, konut sektörü hacminin 2050 yılına kadar %67’ ye yükseleceği düşünülmektedir. Enerji tüketimini azaltmak ve binaların neden olduğu çevre kirliliğini en aza indirmek için ülkeler yeşil bina değerlendirme ve enerji performansı sertifika sistemlerini

geliştirmeye başlamıştır (Yiğit ve Acarkan, 2016). Diğer yandan yapılar hem iç ortam hem de dış ortamda enerjiyi ve kaynaklarını kullanabilmektedir. İç ortamda kalorifer, klima vb. gibi ısıtma ve soğutma sistemlerinde, sıcak su kullanımında ve aydınlatma gibi uygulamalarda; dış ortamda ise su iletim sistemlerinde, güneş panellerinde ve elektrik dağıtımı gibi alanlarda enerjinin kullanımı söz konusudur.

Ülkemizde bu bağlamda, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı binalarda enerji kullanım alanı sayılabilecek bölgeleri: “Binanın inşa edilmiş ve kullanılmakta olan tüm bölümlerinin; duvarlar, kolonlar, aydınlıklar, giriş koridorları, açıkta kalan çıkımlar, havalandırma bacaları, saçaklar, tesisat boşlukları, binanın kendi ihtiyacı için kullanacağı otopark olarak kullanılan kısımlar, yangın merdivenleri, asansörler, doğal zemin seviyesindeki teraslar, kalorifer dairesi, kömürlük, sığınak, su deposu ve hidrofor dairesi gibi alanların çıkarılması sonucunda elde edilen alan” olarak ifade etmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010).

Tablo 1. Türkiye Konut Sektörü Enerji Verimliliği Düzenlemeleri (Elsland ve diğ., 2014)

Kanun/Yönetmelik	Konut Sektörüyle İlgili Amaç ve Kapsam	Yürürlüğe Girme
Enerji Verimliliği Kanunu (5627 Sayılı) (EVK, 2013)	Tüm sektörlerde enerji verimliliği politikaları ve daha belirgin yönetmeliklerin uygulanması için geniş bir çerçeve.	2007
Enerji Verimlilik Yönetmeliği (EVY, 2013a, 2013b)	Kamu kuruluşları ve enerji yöneticileri dahil olmak üzere enerji verimliliği danışman şirketleri için enerji verimliliği eğitimlerinin yetki ve standartları.	2008 (2011’de düzenlendi)
Bina Enerji Performans Yönetmeliği (BEPY, 2013a, 2013b)	Binalar için minimum enerji performans standartlarının belirlenmesi ve hesaplamalarının düzenlenmesi, yenilenebilir enerjilerin kullanımı ve HVAC sistemleri.	2008 (Isı yalıtımına geçiş ile 2010’da yenilendi)
Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği (BIYY, 2013a, 2013b)	Bina yalıtımının termal verimliliği için gerekenler.	2000
Binalar İçin Isı Yalıtım Şartlarına İlişkin Ulusal Standart (TS 825) (TS, 2013)	Bina yalıtımı standartları için hesaplama prosedürleri.	2000 (2008’de düzenlendi)

Binaların iç ve dış kısımlarının birbirinden ayrılabilmesi amacıyla yapılan duvarlar, pencere ve kapılar, tavan, çatı vb. gibi diğer yapı elemanları binayı, dışarıdan gelen rüzgâr, aşırı ısınma/soğuma, nem gibi etkenlerden korumalı ve ısı kayıp/kazançlarının önüne geçmek veya bu değerlerin en az oranda olmasını sağlamak için binalarda doğru yalıtım uygulamaları belirlenmelidir. Bu şekilde binaların kullanım süresini uzatıp çevreyi korumak ve bina sahiplerine düşecek olan maliyet yükünün ve enerji harcamalarının da en uygun hale gelmesini sağlamak, ülke ekonomisini destekleyecektir. Bu bakımdan yapı sahiplerinin korunmasının yanı sıra çevre ve milli enerji politikalarının benimsenmesi açısından enerji verimliliği ve etkin enerji kullanımını sağlamak amacıyla ülkemizde hem mevcut binalar hem de yeni yapılacak olan binalar için Enerji Verimliliği Kanunu oluşturulmuştur.

2.2.2. Bina Enerji Performansının Belirlenmesi

Binaların iç ve dış kısımlarının birbirinden ayrılabilmesi amacıyla yapılan duvarlar, pencere ve kapılar, tavan, çatı vb. gibi diğer yapı elemanları binayı, dışarıdan gelen rüzgâr, aşırı ısınma/soğuma, nem gibi etkenlerden korumalı ve ısı kayıp/kazançlarının önüne geçmek veya bu değerlerin en az oranda olmasını sağlamak için binalarda doğru yalıtım uygulamaları belirlenmelidir. Bu şekilde binaların kullanım süresini uzatıp çevreyi korumak ve bina sahiplerine düşecek olan maliyet yükünün ve enerji harcamalarının da en uygun hale gelmesini sağlamak, ülke ekonomisini destekleyecektir. Bu bakımdan yapı sahiplerinin korunmasının yanı sıra çevre ve milli enerji politikalarının benimsenmesi açısından enerji verimliliği ve etkin enerji kullanımını sağlamak amacıyla ülkemizde hem mevcut binalar hem de yeni yapılacak olan binalar için Enerji Verimliliği Kanunu oluşturulmuştur.

Binaların enerji performansı hem yeni binalar hem de mevcut binaların enerji verimliliği için kullanılabilir olan bir terimdir. Enerji performansı sadece m² veya ayak-kareye düşen birim enerji olarak ifade edilebileceği gibi, bu terimlerin tamamını içerecek şekilde de ifade edilebilir (Laustsen, 2010). Bununla birlikte günümüzde binalar için önemi giderek artan bir kavram haline gelen bina ömrü, bina performansı ile bağlantılı bir durumda olup bina ömrünün ne kadar olacağına ilişkin bir tahminde bulunabilmek için de bina performansı hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir.

Bu bakımdan ülkemizde binaların performansına ilişkin yönetmelikler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanmaktadır. Ayrıca, binaların enerji performansı ile ilgili olarak yapılacak projelerin takibi ve uygulanmasından da Bakanlık sorumludur. Bu çalışmalardan biri olarak ise 2008 yılı “Enerji Verimliliği Yılı” ilan edilmiş ve verimli lambalar, yüksek etkinliğe sahip ev aletleri, bina yalıtımı, verimli elektrik motorları, değişken hızlı sürüş sistemleri gibi konularda da halkın bilinçlendirilmesi için adımlar atılmıştır (Düzgün ve Kömürgöz, 2014). Ayrıca daha önce de belirtilmiş olduğu gibi bina performansı değerlendirme hakkında hazırlanmış olan bir yönetmelik de mevcuttur. Bu yönetmelik Bina Enerji Performansı Yönetmeliği’dir.

Yönetmelik aslen endüstriyel, ticari ve kamu binalarına odaklanmasına rağmen, enerji ile bağlantılı olan cihaz ve ekipmanları tanımlama sistemlerini gerektirmesi açısından konut sektörüyle de ilgili durumdadır. 2008’de kanunlaştırılmış ve 2011’de de yenilenmiş olan Bina Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanmıştır. Diğer yandan BEP Yönetmeliğinin amacı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından: “Bu yönetmeliğin amacı, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli bir biçimde kullanılmasına, enerji israfının önlenerek çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir.” şeklinde açıklanmıştır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010). Yönetmeliğin ana hedefleri ise, binaların toplam enerji kullanımı için hesaplama yöntemlerini, performans kriterlerini ve uygulama ilkelerini tanımlamak, birincil enerji kullanımı ile CO₂ emisyonlarına göre binaları sınıflandırmak, yüksek oranda onarım halindeki mevcut binalar için gereken minimum enerji performansı gereksinimlerini belirlemek, yeni binaların en az C enerji verim seviyesine sahip olmasını ve yapı sahipleri tarafından ısıtma ve soğutma sistemlerinin periyodik olarak kontrol edilmesini sağlamaktır (Elsland ve diğ., 2014). Bu bağlamda konut binalarındaki enerji tüketimi ve sera gazı (CO₂) emisyonları, BEP-TR olarak adlandırılan yazılım kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu yazılım, binaların enerji performansının belirlenmesi ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesi için geliştirilmiştir (Yiğit ve Acarkan, 2016).

BEP-TR, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından hazırlanan web tabanlı bir program olup bu program “Binalar için Enerji Verimliliği Direktifi” ne göre 1000 m²’lik bir yapıyı içermektedir. Programda yer alan örnek bina metre kare başına düşen yıllık enerji tüketimini, sera gazı (CO₂) emisyonlarını ve enerji sınıfı belirleme işlemlerinde referans değerleri kullanıp, diğer binayla karşılaştırma yaparak bu işlemlere A’ dan G’ ye kadar olan bir değer vermektedir. Diğer yandan bu program, binaların enerji performansının hesaplanma yöntemini (BEP-HY), enerji tüketimini etkileyen tüm parametreleri, binanın enerji verimliliğinin ve enerji performansının etkisini kullanarak enerji sınıflarına karar verme yöntemini kullanmaktadır. Ayrıca BEP-TR ve BEP-HY programları, konutlar, ofis binaları, eğitim binaları, sağlık binaları, oteller, alışveriş merkezleri ve ticaret merkezlerinin yanı sıra yeni binaların da enerji performansının ve mevcut bina çeşitlerinin değerlendirilmesini sağlamaktadır (Durmuş ve Önal, 2015).

2.2.3. Dünya’ daki Enerji Performansı Sertifikalandırma Sistemleri

Binaların enerji tüketimini azaltmak için uluslararası kabul gören ve kullanılmakta olan seçeneklerden biri olarak görülen enerji performansı sertifikası, binaların enerji performansı koşullarına göre değerlendirilmesi ve sınıflandırılması için çeşitli standartlar sunmaktadır (Fossati ve diğ., 2016).

Enerji performansı/verimliliği sertifikası enerji performansının belgelendirilmesi amacıyla, bireysel binaların konut, ticari ya da kamuya açık olmalarına bakılmaksızın, kullanıcılara beklenen düzeydeki konfor ve işlevselliği sağlamak amacıyla gerekli olan enerji miktarıyla alakalı olan, binaların ne kadar verimli veya verimsiz olduklarını hakkında değerlendirme yapma aracı sunmaktadır (Laustsen, 2010).

Günümüzde birçok ülke enerji verimliliği konusuna önem vermekte ve bu açıdan çeşitli çalışmalar sürdürmektedir. Enerji performansının bir belge yardımı ile görselleştirilerek değerlendirmelerin kolayca takibi, yapılacak çalışmalar ve düzenlemeler konusunda daha bilinçli olunmasını ve bu şekilde enerji kullanımının doğru bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayarak verimliliğin artmasına olanak tanıyacaktır.

Enerji performansı sertifikalandırma sistemlerinin ilk örneği ise İngiltere’ de Yapı Araştırma Kuruluşu tarafından hazırlanmış yeşil bina sertifika sistemi olan, Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi (BRAEEM)’ dir. Diğer ülkeler tarafından kullanılmakta olan sertifika sistemlerinden bazıları ise şu şekildedir: Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik (LEED), Konut Enerji Hizmetleri Ağı (RESNET) ve Enerji Star (ABD), Binalar İçin Yeşil Marka (GM), Enerji Smart (Singapur), Yapıların Çevresel Verimliliği İçin Kapsamlı Değerlendirme Sistemi (CASBEE) (Japonya), EkoProfil (Norveç), Çevresel Durum (İsveç), PromisE (Finlandiya), SBAT (Güney Afrika), Yeşil Yıldız (GS) ve Avustralya Ulusal Yapılı Çevresel Değerlendirme Sistemi (NABERS) (Avustralya), Hong Kong Bina Çevresi Değerlendirme Yöntemi (HK-BEAM) (Hong Kong), Enerji ve İç Hava Kalitesi Sertifikasyonu Sistemi (SCE) (Portekiz), Yeşil Bina Endeksi (GBI) (Malezya), Üç Yıldız Sistemi (3-Star) (Çin), Yeşil Bina Kanada (BuiltGreenCan) (Kanada), Kore Yeşil Bina Council (KGBC) (Kore) (Yiğit ve Acarkan. 2016, Skaikh ve diğ. 2017, Laustsen. 2010).

2.2.4. Türkiye’ deki Enerji Performansı Sertifikalandırma Sistemi

Daha önceki bölümde anlatılmış olduğu üzere ülkemizde binaların enerji performanslarının belgelendirilmesi için kullanılan yazılım olan BEP-TR veri tabanı, enerji kimlik belgelerinin düzenlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Bu veri tabanına erişim yetkisi, enerji kimlik belgesi düzenlemek için yetkiye sahip olan çeşitli kuruluşlara verilmektedir. Ancak verilecek olan yetki, EKB’ yi düzenlemesi için yetki verilmiş olan kuruluş adına, düzenlenecek olan eğitim programlarına katılarak enerji performansı belgelendirme yapabilecek, Bakanlık tarafından sertifikalandırılmış olan gerçek kişiler tarafından kullanılmaktadır. Diğer yandan yetkilendirilmiş olan bu kişilerin çalıştıkları kuruluşlardan ayrılmaları ve EKB düzenlemeye yetkisi olan başka kuruluşlarda çalışmalarını durumunda, yeniden eğitim programlarına katılmalarına gerek kalmamakta ve çalışılmakta olan kuruluşun isteği üzerine BEP-TR’ ye erişim hakkı tanınabilmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010). Bakanlık tarafından hazırlanan BEP Yönetmeliğine göre, mevcut veya yapılacak olan tüm binalarda ısı verimliliği, sera gazı emisyonları, enerji performans derecelendirmesi, yalıtım özellikleri, ısıtma/soğutma sistemleri hakkında bilgi içeren bir 'Bina Enerji Performansı Sertifikası' bulunması gerekmektedir. 2011 yılının ocak ayından beri, yeni binalar için enerji performans belgeleri zorunlu hale getirilmiştir (Elsland, 2014).

Şekil 1’ de ülkemizde geçerli olmak üzere kullanılan binalar için düzenlenecek enerji kimlik belgesinin asıl hali bulunmaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017). Enerji Kimlik Belgesinde binanın enerji ihtiyacı, ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinin verimi/etkenliği ve binanın enerji tüketim sınıflandırması ile ilgili bilgilerle birlikte belgenin ilk bölümünde bina ile ilgili genel bilgiler, binanın kullanım alanı (m²) ve binanın kullanım amacı, ikinci bölümünde birincil enerji tüketimine göre enerji sınıfı, nihai enerji tüketiminin oluşturduğu sera gazlarının kullanım alanı başına yıllık miktarı (kg CO₂/m².yıl) ve A ile G arasında değişen bir referans ölçeğine göre sınıflandırılması bulunmaktadır. Binanın yenilenebilir enerji tüketim değeri, son bölümünde ise binanın ısıtılması, soğutulması, iklimlendirmesi, havalandırması ve sıhhi sıcak su temini için kullanılan enerjinin miktarı (kWh/yıl), bina tarafından tüketilen her bir enerji türü

için yıllık birincil enerji miktarı (kWh/yıl), binaların kullanım alanı başına düşen yıllık birincil enerji tüketimi ile bu tüketimin A ile G arasında değişen bir ölçeğe göre sınıflandırılması, binanın aydınlatma enerjisi tüketim değeri, yalıtım özellikleri ile düzenleme ve düzenleyen bilgileri gösterilmektedir (Fossati ve diğ. 2016).

Başka bir ifadeyle bir binanın enerji sınıfı, binanın enerji performansını değerlendiren ve basitleştirilmiş bir grafikte tasvir eden enerji sertifikasının bir parçasıdır. EKB' ler aynı zamanda binanın enerji performansını bir standartla veya diğer benzer binaların değerleriyle karşılaştırabilir (Laustsen, 2010). Diğer yandan enerji tüketimlerinin her biri çeşitli hesaplamalar aracılığıyla, bina enerji performansı ve enerji tüketim düzeylerini gösteren verim düzeyinin A' dan G' ye doğru azalma gösterdiği bu sınıflardan birine dahil edilmektedir.

Enerji Kullanım Alanı	Kullanılan Sistem	Nispet (kWh/yıl)	Sınırlı (kWh/yıl)	Kullanım Alanı Başına (kWh/m².yıl)	Sınıfı
TOPLAM					ABCDEF G
ISITMA					ABCDEF G
SIRHI SICAK SU					ABCDEF G
SÖĞÜTME					ABCDEF G
HAVALANDIRMA					ABCDEF G
AYDINLATMA					ABCDEF G

Şekil 1:

Binalar İçin Düzenlenecek Olan Enerji Kimlik Belgesi (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017)

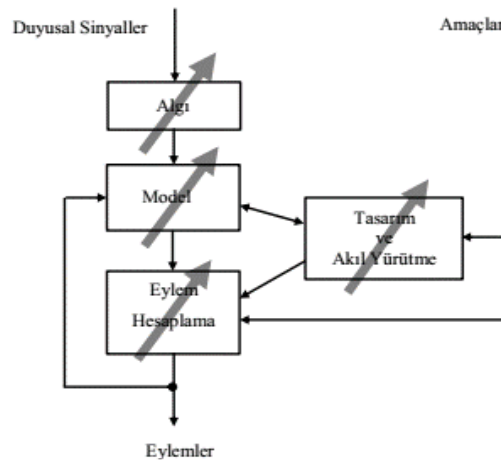
3. YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİSİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ

Yapay zekâ alanı daha çok bilgisayar bilimleri ve mühendislik disiplinlerinden yararlanmakta ve biyoloji ve genetik, psikoloji, dil öğrenimi ve anlama, matematik gibi birçok alandan faydalanılarak oluşturulmuş bir bilim ve teknoloji alanıdır. Bu sebeple de yapay zekâyı, akıllı insanların düşünce davranışlarına benzer bilgisayarlar, bilgisayar kontrollü robotlar veya akıllıca düşünen yazılımlar üretmenin bir yolu olarak söylemek mümkündür.

Bu açıdan bakıldığında yapay zekâ, insan beyninin karmaşık düşünme yapısının anlaşılması zor bir konu olmasının yanı sıra, bazı karmaşık sorunlar için verimli bir şekilde çalışacak akıllı varlıkları oluşturmak için insan düşüncesini anlamaya çalışmaktadır (Jha ve diğ., 2017). Diğer yandan McCarthy (2007) ise yapay zekâ teknolojisinin, insan zekâsını anlamak için bilgisayarları kullanmak gibi bir görevle ilgili olmasına rağmen kendisini biyolojik olarak ölçülebilir yöntemlerle sınırlamak zorunda olmadığını belirtmiştir (McCarthy, 2007). Ancak yapay zekânın önemli bir şekilde yükseliş göstermesinin asıl nedeni de akıl yürütme, öğrenme

ve problem çözme gibi insan zekâsıyla bütünleşik olan bilgisayar fonksiyonlarındaki gelişmelerle mümkün olmuştur.

Yapay zekanın bir alanı olan makine öğrenimi ise yalnızca bilgi oluşturma araçlarında değil aynı zamanda klasik istatistik teknikler için genel bilgi modelleme araçlarında da kullanılabilir (Chou ve diğ., 2014).



Şekil 2:

Yapay Zekâ Sistemi (Nilsson, 1998)

Bu durumu daha açık anlatmak için Şekil 2’ de tipik bir yapay zekâ aracının yapısı gösterilmiştir. Bu araç öncelikle çevresinden gelen bilgileri algılar ve buna uygun modellemeyi gerçekleştirir. Sistem, modellerin oluşturacağı muhtemel etkileri tahmin ederek uygun olan eylemleri hesap eder. Diğer yandan şekilde görülen yapay zekâ bileşenlerinden herhangi birinde meydana gelebilecek değişimler öğrenme olarak sayılabilir. Ayrıca alt sistemlerden hangisinin değiştiğine bağlı olarak farklı öğrenme mekanizmaları çalıştırılabilir (Nilsson, 1998).

3.1. Yapay Zekâ Algoritmaları

3.1.1. Çok Katmanlı YSA

Bir yapay sinir ağı (YSA) basit ve oldukça yüksek oranda birbirine bağlı durumda olan işlem öğelerinden oluşan, insan sinir sistemi modelinin basitleştirilmiş halidir (Erdal ve diğ., 2013). (YSA) algoritması genellikle kara-kutu olarak adlandırılır ve kompleks, doğrusal olmayan problemlerin çözümü için idealdir (Seyhan ve diğ., 2005) Aralarında bulunan bağlar sayesinde birbirlerine bilgi iletimi sağlayan bu işlem öğeleri, yapay sinir hücreleri (nöron) olarak bilinmesiyle birlikte genel olarak düğüm kavramı ile adlandırılmaktadır. Düğümler arasındaki her bağlantı ise bir ağırlık değerine sahiptir. Hücreler bu ağırlıklara göre işlem görmekte ve oluşacak bilgiler de ağırlık değerlerine göre şekil almaktadırlar (Erdal, 2015).

Bu ağlar bir denklem formuna ihtiyaç duymaz. Bunun yerine, yeterli giriş-çıkış verisine ihtiyaç duymaktadır. Yöntemin temel unsuru ise, “perceptron” olarak adlandırılan ve ağırlıklarla bağlı tabakalar halinde düzenlenen biyolojik bir nöronun matematiksel bir modeli ve sinirsel yaklaşım ile matematiksel eğitim süreçlerini kullanarak girdi ve çıktı verisi arasındaki ilişkiyi öğrenmekten ibarettir. Mühendislik problemlerinde ise YSA’ nın en önemli özelliğine göre, örneklerden doğrudan öğrenme ve varsayımlar olmadan deney ve alan verilerini direkt olarak kullanabilme yetenekleri, YSA ‘nın önemli bir avantajıdır (Erdal ve diğ., 2013).

Şekil 3, üç katman halinde düzenlenmiş nöronlardan oluşan bir sinir ağı yapısını göstermektedir. Bu tabaklar girdi katmanı, gizli katman, çıktı katmanıdır. Girdi katmanına

gelecek olan tahmini veya bağımsız değişkenlerin eğitiminin, çıktı katmanıyla ilgili olan bağımlı değişkenlerin tahmin edilmesinde kullanışlı olduğuna inanılmaktadır.

Öğrenme sürecinde ağ, sürekli olarak giriş-çıkış verilerine maruz bırakarak bağlantı ağırlıklarını ayarlama işlemi gerçekleştirilir. En popüler ve başarılı öğrenme tekniği ise hatayı geriye yayarak öğrenme yöntemidir. Bu süreç, geleneksel bir geri yayılım yapay sinir ağı kullanılmaktadır (Rokach ve Maimon, 2010).

Gizli katmandaki bir nöronun aktivasyonu aşağıdaki gibidir (Chou ve diğ., 2015):

$$net_k = \sum w_{kj}o_j \text{ and } y_k = f(net_k) \quad (1)$$

Burada net_k , k. nöronun aktivasyonu; j, önceki katmana ait nöron seti; w_{kj} , k ve j nöronları arasındaki bağlantının ağırlığı; o_j , nörona ait çıktı ve y_k ise sigmoid veya lojistik transfer fonksiyonu olarak gösterilmektedir.

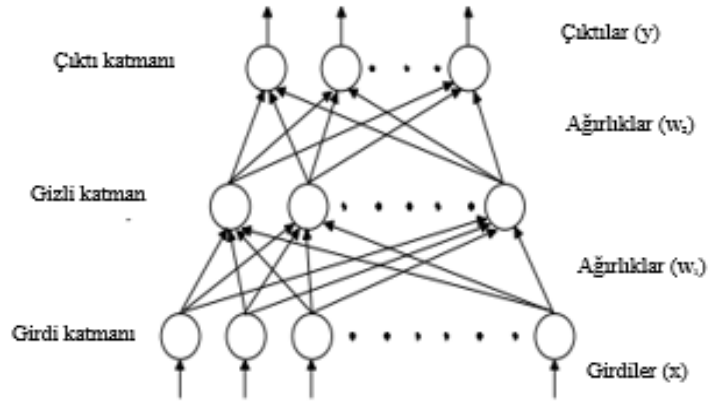
$$f(net_k) = \frac{1}{1+e^{-net_k}} \quad (2)$$

Her çevrimdeki eğitim ve güncelleme ağırlıkları, w_{kj} :

$$w_{kj}(t) = w_{kj}(t-1) + \Delta w_{kj}(t) \quad (3)$$

Değişim değeri, $\Delta w_{kj}(t)$ ' nin hesaplanması:

$$\Delta w_{kj}(t) = \eta \delta_{pj} o_{pj} + \alpha w_{kj}(t-1) \quad (4)$$



Şekil 3:
Çok Katmanlı İleri Beslemeli Sinir Ağı (Rokach ve Maimon, 2010)

Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağlarında, ağın öğrenme işlevini yerine getirebilmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri olan ve hatayı geri yayma adıyla da bilinen geri yayılım yöntemi bir tür algoritmadır. Bu ağlarda, ağ yapısındaki ardışık katmanlar arasında meydana gelebilecek hataların farklı şekillerde yayılması olası bir durumdur.

Geri yayılım öğrenme algoritması, hata düzeltme faaliyetine dayalı öğrenme kuralı tabanlı çalışmaktadır ve sayede çıktı hatasını en aza indirmek için ağırlık bölgesinde oluşan değişimi kullanma yoluyla, çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağları üzerinde çalışır. Algoritma lokal olarak en uygun çözüme ulaşır ve çeşitli uygulamalarla başarılı bir şekilde kullanılır. Ancak, tüm tepe tırmanış tekniklerinde olduğu gibi, algoritmanın küresel (tüm sinir ağı yapısını kapsayacak biçimde) bir çözüm bulacağı hakkında kesin bir durum yoktur. Ayrıca, algoritmanın

istenilen sonuca yaklaşması genellikle çok yavaş olmaktadır (Russell ve Norvig, 1995, Aydoğmuş ve diğ. 2015).

Hatayı geri yayma algoritması tarafından gerçekleştirilen bu yaklaşım, çıktı katmanında başlamakta ve hata gizli katmanlar boyunca geriye doğru yayılmaktadır. Luger (2009) öğrenme işleminin delta kuralıyla incelediğinde, bir nöron üzerindeki ağırlıkları yeniden düzenlemek için hata miktarı dışında gerekli olan tüm bilgilerin o nörona özgü ve yerel olduğunu belirtmiştir. Çıktı düğümleri için ise bu, asıl çıktı değerleri ve istenen değerler arasındaki fark olarak kolay bir şekilde hesaplanabilmektedir. Gizli katmanlardaki düğümler için ise, hatanın kaynaklandığı düğümü belirlemek daha zordur. Bu algoritmanın aktif hale gelebilmesi için kullanılan en yaygın hesaplama fonksiyonu ise lojistik fonksiyondur. Burada x_i girdi sinyali/vektörünü, w_i bağlantı ağırlığını ve λ , sıkıştırma parametresini ifade etmekte ve (5) aktifleşme seviyesini, (6) ise eşik fonksiyonu yani lojistik fonksiyonu göstermektedir (Luger, 2009).

$$net = \sum x_i w_i \quad (5)$$

$$f(net) = \frac{1}{(1+e^{-\lambda * net})} \quad (6)$$

3.1.2. Bayes Sınıflandırıcı

Bayes sınıflandırıcıları istatistiksel sınıflandırıcılardan biridir. Belirli bir grubun belirli bir sınıfa ait olma olasılığı gibi sınıf üyeliklerinin olasılıklarını önceden tahmin etmektedir. Bununla birlikte Bayes sınıflandırması Bayes Teoremi' ne dayanmaktadır. Teorem adını 18. yüzyılda, olasılık ve karar teorisi alanlarındaki ilk çalışmaları yapan ve İngiliz bir din adamı olan Thomas Bayes' den almıştır (Han ve Kamber, 2006). Bayes öğrenme algoritmalarından biri olan Naive Bayes sınıflandırıcısı ise belirli öğrenme problemleri için kullanılan en pratik yöntemlerden biri olup hipotezlerin olasılıklarını hesaplamaktadır (Mitchell, 1997).

Diğer yandan bu teorem koşullu olasılık durumlarında kullanılmakta ve iki farklı durumun birbirlerine göre meydana gelme olasılıkları saptanmış olmaktadır. Örneğin X gibi bir veri grubu verilmiş olsun. Bayes kurallarına göre X, eğitim verisi (gözlemlenecek olay) olarak kabul edilir. H ise X veri grubunun belirli bir C sınıfına ait olması gibi bir hipotez grubudur. Sınıflandırma problemlerinde H hipotezinin verilen X verisini sağlama olasılığı ise P(H/X) olarak belirlenir. Diğer bir ifadeyle X' in C sınıfına ait olma olasılığı aranmış olmaktadır. Bu nedenle P(H/X), H' in X üzerinde koşullandırılmış olasılığıdır (Han ve Kamber, 2006). Burada P(X) eğitim verisinin başlangıç olasılığını, P(H) bağımsız veri grubunun başlangıç olasılığını ve P(X/H) ise H hipotezinin belirli bölgelerinin eğitim verisini içerme olasılığı ifade etmekte olup P(H/X) olasılığını hesaplamak için kullanılan (7) denklemi ile Bayes teoremi şu şekilde olmaktadır (Mitchell, 1997):

$$P\left(\frac{H}{X}\right) = \frac{P\left(\frac{X}{H}\right)P(H)}{P(X)} \quad (7)$$

3.1.3. K-En Yakın Komşu Sınıflandırıcısı

K-en yakın komşu sınıflandırıcısı ilk olarak 1950' li yılların başında tanımlanmıştır. Parametrik olmayan sınıflandırma tekniğidir. Dağılımı bilinmeyen veya normal dağılıma uymayan veri setlerinde çok yüksek doğru sınıflandırma oranlarına ulaşabilir (Hwang ve Wen, 1998). En yakın komşu sınıflandırıcıları benzetme yoluyla öğrenmeye, yani eğitim gruplarıyla birlikte belirli bir test grubunu kendisine benzer eğitim gruplarıyla kıyaslamaya dayanmaktadır. Bu eğitim grupları n tane nitelik olarak tanımlanmaktadır ve her bir grup n boyutlu alandaki bir noktayı temsil etmektedir. Bu şekilde tüm eğitim grupları n boyutlu bir desen alanında depolanmış olur. Bilinmeyen bir grup verildiğinde k-en yakın komşu sınıflandırıcısı, bilinmeyen

4.1. Veri Kaynağı ve Uygulama Alanı

Bina enerji performansı belirleyicilerinden ısıtma ve soğutma sınıflarına ait sınıflandırma uygulamaları sonucunda yeni sınıfların tahmin edilebilmesi için yapılmış olan bu çalışmada kullanılan veri setinde, 127 adet binanın mimari projesinden ve enerji kimlik belgelerinden yararlanılmıştır. Matematiksel hesaplamalardan ve uzman görüşlerinden faydalanarak modelin girdi nitelikleri belirlenmiştir. Ardından konutlara ait girdi nitelikleri ve değerler proje metraj çalışmalarından ve enerji kimlik belgelerinden elde edilmiş ve veri setini oluşturmak üzere sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanmıştır.

4.1.1. Ana Modelin Oluşturulması ve Niteliklerin Belirlenmesi

Bina enerji performans sınıflarının verimliliğini ifade eden enerji sınıflarının sınıflandırılma ve tahmin edilmesi için yapılan bu çalışmada, veri setinin oluşturulması ve ardından niteliklere ait veri türlerinin dönüştürülme işlemi ile birlikte temel çalışma modeli oluşmuştur. Bu modelde on adet girdi değişkeni, iki adet ise çıktı değişkeni bulunmakta olup proje ismi niteliği ise tanımlayıcı bir nitelik olarak modelde yer almış ancak model uygulamaları sırasında bu niteliğin ana modelden çıkarılması ile çalışma sürdürülmüştür. Temel modelde yer alan proje ismi niteliği tanımlayıcı bir nitelik olup cam sayısı, yüzey alanı, kat adedi, açık kapı sayısı, daire sayısı, çatı alanı, bina yüksekliği, cam alanı ile depo ve dükkân olup olmama durumunu ifade eden nitelikler girdi değişkeni, ısıtma ve soğutma sınıfı nitelikleri ise çıktı değişkeni olup ısıtma ve soğutma sınıflarının belirlenmesinde uygulanacak olan modeller üzerinde kullanılmak üzere düzenlenmiştir.

Ana model için oluşturulan veri setinde kullanılacak olan nitelikleri belirleyebilmek için, ısıtma ve soğutma sınıflarını etkilediği düşünülen unsurlar hakkında inceleme yapılmış, uzman görüşleri alınmış ve gerekli nitelikler belirlenmiştir. Diğer yandan ısıtma ve soğutma sınıflarının verimi, kullanılacak olan ısı miktarına da bağlı olmakla birlikte bu değerler de ısı yalıtımının özellik ve kalitesi ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca bina zarfı olarak bilinen ve bina ile dış ortam arasında ayırıcı katman görevini alan yapı elemanları da verimli bir şekilde ve bu yalıtıma uygun olarak düzenlenmeli ve ısıtma ve soğutma enerjilerinin etkin olarak kullanılmasına engel olabilecek her türlü etki ortadan kaldırılmalıdır.

Bu açıdan pencere ve camlar, balkon kapıları gibi dış havayla doğrudan temas halinde olan unsurlar ile ısı sistemlerinin kullanılmış olduğu iç ortam ve çatı gibi alanların yanısıra özellikle ısı kaybına neden olabilecek dükkân ve depo olma durumunun nitelik olarak seçilmesi uygun görülmüştür. Veri setini oluşturulan niteliklerden proje ismi tanımlayıcı bir nitelik olup girdi nitelikleri cam sayısı, yüzey alanı, kat adedi, açık kapı sayısı, daire sayısı, çatı alanı, bina yüksekliği, cam alanı, depo/dükkân olup olmama durumu; çıktı nitelikleri ise ısıtma ve soğutma sınıfı olarak belirlenmiştir.

4.1.2. Veri Setinin Oluşturulması

Veri setinin oluşturulmasında 127 farklı mimari proje incelenmiştir. Bina enerji performans sonuçlarını etkileyecek niteliklerin belirlenmesinin ardından bu nitelikler için her bir binaya ait gerekli veriler işlenmiş ve veri seti oluşturulmuştur. Bununla birlikte niteliklere ve içerdiği verilere ait tür, birim gibi bazı tanımlayıcı bilgiler aşağıda yer alan Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Niteliklere Ait Tanımlayıcı Bilgiler

NİTELİK ADI	TÜR	TANIMLAMA	İÇERİK	BİRİM
Proje İsmi	Nominal	Yapı sahibinin bilgileri	Sözcük	-
Cam Sayısı	Nümerik	Yapıdaki toplam cam sayısı	Sayma Sayısı	adet
Yüzey Alanı (EKB)	Nümerik	Enerji kimlik belgelerinden alınmış olan ve kapalı kullanım alanı olarak belirtilen alan	Gerçek Sayı	m ²
Kat Adedi	Nümerik	Yapının dışarıdan görünen toplam yüksekliğine karşılık gelen kat sayısı	Sayma Sayısı	adet
Açık Kapı Sayısı	Nümerik	Balkon, bahçe vb. gibi açık hava ile teması bulunan kısımlara ait kapıların yapıdaki toplam sayısı	Sayma Sayısı	adet
Daire Sayısı	Nümerik	Yapıdaki toplam daire sayısı	Sayma Sayısı	adet
Çatı Alanı	Nümerik	Yapıya ait çatının alanı	Gerçek Sayı	m ²
Bina Yüksekliği	Nümerik	Yapının zemin üst kotundan itibaren binanın en üst kotuna kadar olan yüksekliği	Gerçek Sayı	m
Cam Alanı	Nümerik	Yapıdaki tüm camların toplam alanını	Gerçek Sayı	m ²
Depo	Nümerik	Depo olup olmama durumu	0 veya 1	-
Dükkan	Nümerik	Dükkan olup olmama durumu	0 veya 1	-
Isıtma Sınıfı	Nominal	Isıtma sınıfı bilgisi	Harf	-
Soğutma Sınıfı	Nominal	Soğutma sınıf bilgisi	Harf	-

4.1.3. Veri Türlerinin Biçimlendirilmesi

Yapılan bu çalışmada kullanılan makine öğrenme algoritmaları için Weka 3.8 yazılımı kullanılmıştır. Weka yazılımı, veri setinde yer alan niteliklerin türlerini, veri içeriğini algılayarak otomatik olarak belirlemektedir (Frank ve diğ., 2016). Ancak oluşturulan veri setinde yer alan bazı nitelikler, Weka yazılımının belirlemiş olduğu türlere uygun bir içerik ve yapıya sahip değildir. Bu nedenle bu niteliklerden cam sayısı, kat adedi, açık kapı sayısı, daire sayısı ile depo ve dükkân olup olmama durumuna ait veri türlerinin nümerik yapıdan nominal yapıya dönüştürülerek niteliklerin biçimlendirilmesi sağlanmıştır.

4.2. Yapay Zekâ Algoritmalarının Uygulanması ve Elde Edilen Bulgular

• Isıtma Sınıfı Modeli

Isıtma enerjilerinin verimini gösteren sınıfların belirlenebilmesi için oluşturulan modelde on adet girdi değişkeni ile bir adet çıktı değişkeni bulunmakta olup girdi değişkenlerinin çıktı değişkeni olan ısıtma sınıfı üzerine olan etkileri ve bu etkiler sonucunda oluşacak olan sınıflandırma sonuçlarının analiz edilmesi için uygulanacak olan farklı türdeki sınıflandırma metodları diğer bölümlerde anlatılacaktır.

Bu modelde yer alan çıktı değişkeni yani ısıtma sınıfı değişkenine ait üç adet farklı sınıf bulunmaktadır. Bu sınıflar B, C ve D enerji sınıfları olup veri setinde B sınıfına ait 101 adet, C sınıfına 25 adet ve D sınıfına ait olan veri miktarı ise 1 adet olmak üzere toplamda 127 adet veri ile çalışılmıştır. Bununla birlikte model üzerinde dört farklı sınıflandırma algoritması uygulanmıştır. Bu algoritmalar çok katmanlı yapay sinir ağları (Multilayer Perceptron), Bayes sınıflandırma yöntemi (Naive Bayes), C4.5 algoritması (J48) ve k-en yakın komşu sınıflandırıcısı (Ibk) olarak belirlenmiştir. Ayrıca tüm yöntemlerde model, “cross-validation” çapraz doğrulama yöntemi ile on adet kümeye ayrılarak kümelerde yer alan verilerin dokuzu eğitim biri ise test edilmek üzere kullanılmıştır (Namlı ve diğ., 2016).

- **Soğutma Sınıfı Modeli**

Çalışmada kullanılacak olan bir diğer model ise soğutma sınıfı modelidir. Bu model için yalnızca çok katmanlı YSA uygulaması yapılacak olup bu uygulama için çeşitli iyileştirmeler de gerçekleştirilecektir. Uygulamanın gerçekleştirilebilmesi için kurulacak olan soğutma sınıfı modeli, ana modelden proje ismi ve ısıtma sınıfı niteliklerinin, kullanıcı ara yüzünden erişilen “attributes” bölümünden seçilerek çıkarılması sonucunda oluşturulmuştur. Soğutma enerjilerinin verimini ifade eden soğutma sınıflarını belirlemek açısından oluşturulan bu modelde de ısıtma sınıfı modelinde olduğu gibi on adet girdi değişkeni ile bir adet çıktı değişkeni bulunmaktadır. Diğer yandan bu modelin uygulanmasındaki amaç, girdi değişkenlerinin çıktı değişkeni olarak ele alınan soğutma sınıfı niteliği üzerinde oluşturdukları etkilerin araştırılmasıdır. Kurulan modelde kullanılan çıktı değişkeninin yani soğutma sınıfının iki adet kategorisi bulunmakta olup bunlar D ve E enerji sınıflarıdır. Kullanılan veri setinde bulunan 127 adet binanın sahip olduğu soğutma sınıflarının 88’ i D, 39’ u ise E sınıfından olmak üzere çalışma gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Isıtma Sınıfı Modeline Ait Uygulamalar

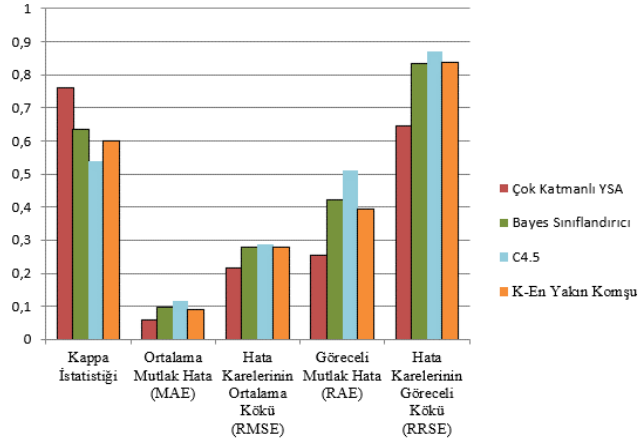
Çalışmada ısıtma sınıfı modeli için dört adet sınıflandırma yöntemi kullanılmış ve bu uygulamalar sonucunda çeşitli sınıflandırma ve tahmin sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlara ait özet tablolardan biri olan Tablo 3 aşağıda görülebilmektedir.

Tablo 3 incelendiğinde sınıflandırma yüzdesinin en yüksek olduğu yöntem çok katmanlı YSA olarak görülmektedir. Doğru sınıflandırılmış veri sayısında da diğer yöntemlere göre belirgin bir fark bulunmaktadır. Bu bulgular doğrultusunda YSA modelinin sınıflandırmada yüksek bir başarı sağladığı görülmektedir. İkinci olarak ortalama mutlak hata değerleri incelendiğinde yine en düşük hata payının çok katmanlı YSA modelinde olduğu görülmektedir. Bu durum yöntemin sınıflandırmadaki başarısını pekiştirmektedir.

Tablo 3. Sınıflandırma Uygulamalarının Sonuçlarına Yönelik Özet Tablo

	<i>Çok Katmanlı YSA</i>	<i>Bayes Sınıflandırıcı</i>	<i>C4.5</i>	<i>K-En Yakın Komşu</i>
Sınıflandırma Başarısının Oranı	%92,126	%86,6142	%86,6142	%88,189
Doğru Sınıflandırılan Örnek Sayısı	117	110	110	112
Kappa İstatistiği	0,7594	0,6332	0,5377	0,5986
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	0,0565	0,0945	0,115	0,0881
Hata Karelerinin Ortalama Kökü (RMSE)	0,2133	0,2751	0,2889	0,2773
Göreceli Mutlak Hata (RAE)	0,25114	0,419755	0,511074	0,391388
Hata Karelerinin Göreceli Kökü (RRSE)	0,643474	0,830073	0,871665	0,836459
Toplam Örnek Sayısı	127	127	127	127

Diğer yandan sınıflandırma güvenini ve sınıflandırılan verilerin gerçekte ne kadar örtüşüğünü ifade eden Kappa istatistiği ile de aynı durum söz konusudur. Bunun nedeni en yüksek Kappa değerine sahip olan yöntemin çok katmanlı YSA yöntemi olmasıdır. Ayrıca sınıflara ait gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkın durumunu gösteren RMSE değeri de diğer yöntemlere kıyasla YSA yönteminde daha düşük elde edilmiştir. Bu durumda sınıflandırılan verilere ait tahmin edilen değerlerin gerçeğe oldukça yakın oranlarda elde edildiği görülmektedir. Bu sonuçların daha belirgin incelenebilmesi açısından Grafik 1 özet olarak verilmiştir.



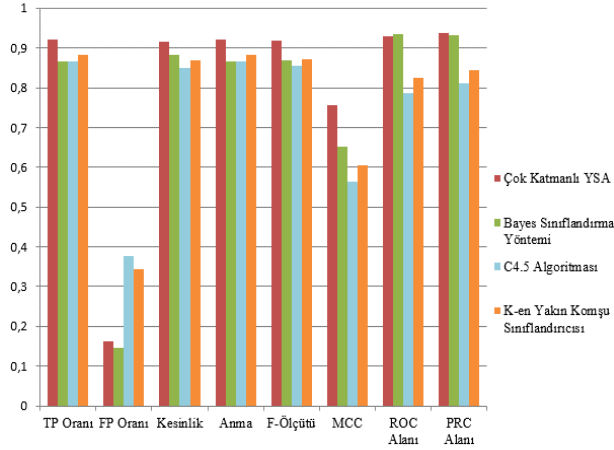
Grafik 1:
Sınıflandırma Sonuçlarının Özeti

Uygulamalar sonucunda sınıflandırma başarısı hakkında detaylı bilgiler sunan bazı ölçütlere ait bir diğer özet tablo ise Tablo 4' de gösterilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde TP oranının en yüksek elde edildiği yöntem çok katmanlı YSA olarak görülmektedir. Ancak yanlış sınıflandırma oranı olan FP oranı Bayes yöntemininkinden %1.6 kadar yüksek çıkmıştır. Ancak bu fark yine de sınıflandırma başarısını düşürecek bir orana sahip değildir. Diğer yandan kesinlik ve anma değerleri de gözle görünür bir fark oluşturacak şekilde çok katmanlı YSA yönteminde daha yüksek olarak elde edilmiştir. Özellikle bir verinin doğru sınıflandırılabilme olasılığı veya yeteneği olarak görülen anma değeri diğer yöntemlere kıyasla daha yüksektir. Bu durum YSA modelinin başarısını kanıtlamaktadır. Elde edilen PRC alanı da bu başarıyı destekleyen bir orandır.

Tablo 4. Sınıflandırma Yöntemlerinin Başarı Göstergeleri

	TP Oranı	FP Oranı	Kesinlik	Anma	F-Ölçütü	MCC	ROC Alanı	PRC Alanı
Çok Katmanlı YSA	0,921	0,163	0,915	0,921	0,918	0,756	0,929	0,937
Bayes Sınıflandırıcı	0,866	0,147	0,883	0,866	0,87	0,653	0,936	0,932
C4.5 Algoritması	0,866	0,377	0,85	0,866	0,854	0,565	0,786	0,811
K-en Yakın Komşu Sınıflandırıcısı	0,882	0,344	0,87	0,882	0,872	0,606	0,826	0,845

Sınıflandırma başarısını gösteren çeşitli ölçütlere ait bilgiler Grafik 2' de özetlenmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi çok katmanlı YSA yöntemi ile tüm başarı göstergeleri açısından diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.



Grafik 2:
Sınıflandırma Yöntemlerinin Başarısının Karşılaştırılması

4.2.2. Soğutma Sınıfı Modeline Ait Uygulamalar

Soğutma sınıfı modeli üzerinde gerçekleştirilecek tek yöntem olan çok katmanlı YSA modeli için onlu “çapraz-doğrulama” yöntemi ile öğrenme oranı 0.3 ve iterasyon sayısı da 500 olarak belirlenmiş ve YSA modeli çalıştırılmıştır. Bu uygulamanın ardından daha yüksek sınıflandırma başarısına sahip bir model elde edebilmek için ise parametre optimizasyonu yapılarak model parametrelerinden öğrenme oranının 0.3’ den 0.1’ e düşürülmesi, eğitim zamanının ise 500’ den 1500’ e yükseltilmiştir. Elde edilen yapay sinir ağı modeli ile sınıflandırma tahmini yapılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7’ de yer gösterilmiştir.

Tablo 5. Soğutma Sınıfı Ana Model ve İyileştirilmiş Model Tahmin Sonuçları kıyaslanması

	Ana Model	İyileştirme Modeli
Sınıflandırma Başarısının Oranı	%57,48	%62,20
Doğru Sınıflandırılan Örnek Sayısı	73	79
Kappa İstatistiği	0,0286	0,099
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	0,4205	0,3932
Hata Karelerinin Ortalama Kökü (RMSE)	0,596	0,5861
Göreceli Mutlak Hata (RAE)	%98,49	%92,09
Hata Karelerinin Göreceli Kökü (RRSE)	%129,18	%127,02
Toplam Örnek Sayısı	127	127

Tablo 6. Soğutma Sınıfı Ana Model ve İyileştirilmiş Model Tahmin Sonuçlarının değerleri

	TP Oranı	FP Oranı	Kesinlik	Anma	F-Ölçütü	MCC	ROC Alanı	PRC Alanı
Ana Model	0,575	0,545	0,587	0,575	0,58	0,029	0,535	0,596
İyileştirme Sonucu	0,622	0,524	0,617	0,622	0,619	0,099	0,565	0,642

Tablo 7. Modellere Göre Doğru ve Hatalı Sınıflandırılan Veriler

	a	B	Sınıflandırma
Ana Model	59	29	a = D
İyileştirme Modeli	65	23	
Ana model	25	14	b = E
İyileştirme modeli	25	14	

Elde edilen bu tablolardaki verilere göre oluşturulan ana modelin parametre optimizasyonu yaparak iyileştirilmesi ile 6 adetlik doğru sınıflandırma artışı ile 127 veriden 79' unun doğru sınıflandırılması sağlanmıştır. Sınıflandırma başarısı bu açıdan %5' e varan bir oranda artış göstererek %62.2' ye ulaşmıştır. Doğru sınıflandırma oranında artış, hatalı sınıflandırma da ise düşüş sağlanarak gerçekleştirilen sınıflandırmanın %61.7 oranında kesin bir tahmin gerçekleştirdiği görülmüştür.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada inşası tamamlanmış olan 127 adet binaya ait mimari proje ve enerji kimlik belgelerinden elde edilen verilerin kullanılması ile geliştirilen modeller üzerinde çeşitli yapay zekâ sınıflandırma teknikleri uygulanarak yöntemlerin enerji performans sınıflarını belirlemedeki başarıları değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre soğutma sınıfı üzerinde yapılan uygulama sonucunda %62.2' lik bir başarı elde edilmiştir. Bu başarı oranı iyi bir düzeyde görülmektedir. Isıtma sınıfı modelinde uygulanan dört farklı yöntemden ise %92.126 ile en yüksek başarı oranına sahip olan yöntem çok katmanlı yapay sinir ağı olmuştur. Ayrıca bu yöntemin %75.94 oranında güvenilir sonuçlar vermesi ile sınıflandırma sisteminin uygulanabilirliği açısından önemlidir. %5 gibi bir hata payı ile gerçekleştirilen sınıflandırma işlemleri, enerji sınıflarının belirlenmesinde doğru sonuçlar elde edilme olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Bu açıdan enerji konusunda dışa bağımlı bir ülke olarak ekonomide yaşanan cari açıkları önlenmesi ve milli enerji politikaları geliştirme yoluyla enerji tasarrufu konusunda bilinç oluşturarak günümüzde önemi gitgide artan enerji verimliliğinin sağlanması yolunda atılmış önemli bir adım olan bu çalışma sayesinde enerji sınıflarının öğrenilebilmesi için gereken enerji kimlik belgelerinin edinilmesinde yaşanan uzun ve zorlu süreçler ortadan kaldırılarak bina enerji performansının kolayca öğrenilmesi sağlanmıştır.

Hedefler doğrultusunda çalışmamızın sonucunda, enerji kimlik belgelerinin alınabilmesi için gerekli olan çeşitli mimari planlar, ısı yalıtım projeleri, tesisat projeleri, imar durum planı vb. gibi birçok belge ve evraka gereksinim olmadan, bunun yanısıra uzman görüşlerine ihtiyaç duyulmaksızın ısıtma ve soğutma enerji sınıflarının kolayca ve kısa bir sürede, uzun hesaplama süreçlerine gerek kalmaksızın, ayrıca maliyetlerin de daha düşük oranda olduğu bir yapay zekâ tabanlı destek sistemi ortaya konmuştur. Kullanım açısından da son derece kolay ve teknolojiden yararlanmasından dolayı yenilikçi bir sistem haline gelmiştir. Bu doğrultuda geliştirilen modelin web tabanlı bir sistem üzerinden hizmete sunulması ile her düzeyde kullanıcı internet üzerinden satın almak, kiralamak istediği veya yaşadığı bina hakkında basit bilgiler vererek binanın enerji performansı hakkında %90' ın üzerinde bir doğruluk oranı ile fikir sahibi olabilecektir. Modelin geliştirilme sürecinde tüm mimari projeler ve EKB sertifikaları incelenerek birçok hesaplama yapılmıştır. Gerçekleştirilen incelemeler ve hesaplamalar sonucunda oluşturulan veri seti ile ileride yapılacak çalışmalar için akademisyen ve araştırmacılara kullanım imkânı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Aditya, L., Mahliaa, TMI., Rismanchi, B., Ng, HM., Hasan, MH., Metselaar, HSC., Murazaf, O. ve Aditiya, HB. (2017) A review on insulation materials for energy conservation in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1352-1365. doi: 10.1016/j.rser.2017.02.034.
2. Aydoğmuş, H. Y., Erdal, H. İ., Karakurt, O., Namli, E., Türkan, Y. S., & Erdal, H. (2015). A comparative assessment of bagging ensemble models for modeling concrete slump flow. *Computers and Concrete*, 16(5), 741-757. doi: 10.12989/cac.2015.16.5.741

3. Bakar, NNA., Hassan, M.Y., Abdullah, H., Rahman, H.A., Abdullah, M.P. ve Hussin, F., Bandi, M. (2015) Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 1-11. doi: 10.1016/j.rser.2014.12.018
4. Chandel, S.S., Sharma, A. ve Marwaha, B.M. (2016) Review of energy efficiency initiatives and regulations for residential buildings in India, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1443-1458. doi: 10.1016/j.rser.2015.10.060
5. Chou, J. S., Lin, C. W., Pham, A. D., & Shao, J. Y. (2015). Optimized artificial intelligence models for predicting project award price. *Automation in Construction*, 54, 106-115. doi: 10.1016/j.autcon.2015.02.006
6. Chou, J.S., Tsai, C.F., Pham, A.D. ve Lu, Y.H. (2014) Machine learning in concrete strength simulations: multi-nation data analytics, *Construction and Building Materials*, 73, 771-780. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.054
7. Clarke, J.A., Johnstone, C.M., Kelly, N.J., Strachan, P.A. ve Tuohy, P. (2008) The role of built environment energy efficiency in a sustainable UK energy economy, *Energy Policy*, 36(12), 4605-4609. doi: 10.1016/j.enpol.2008.09.004
8. Durmuş, G. ve Önal, S. (2015) Assessment of energy performance of buildings constructed in different regions of Turkey, *2nd International Sustainable Buildings Symposium*, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 920-924.
9. Düzgün, B. ve Kömürçöz, G. (2014) Turkey's energy efficiency assessment: white certificates systems and their applicability in Turkey, *Energy Policy*, 65(47), 465-474. doi: 10.1016/j.enpol.2013.10.036
10. Elsland, R., Divrak, C., Fleiter, T. ve Wietschel, M. (2014) Turkey's strategic energy efficiency plan—an ex anten impact assessment of the residential Sector, *Energy Policy*, 70 (2), 14-29. doi: 10.1016/j.enpol.2014.03.010
11. Ercan, T. (2006). Performance Analysis of Decision Tree Algorithms on Water-Consumption Domain, Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi, Türkiye.
12. Erdal, H. (2015). Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin İnşaat Sektörüne Katkısı: Basınç Dayanımı Tahminlemesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(3), 109-114. doi: 10.5505/pajes.2014.26121
13. Erdal, H.I., Karakurt, O. ve Namli, E. (2013) High performance concrete compressive strength forecasting using ensemble models based on discrete wavelet transform, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(4), 1246-1254. doi: 10.1016/j.engappai.2012.10.014
14. Fossati, M., Scalco, V.A., Linczuk, V.C.C. ve Lamberts, R. (2016) Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 1216-1231. doi: 10.1016/j.rser.2016.06.048
15. Frank E., Hall, M.A., Witten, I.H. ve Pal CJ. (2016) *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, 4th ed, Morgan Kaufmann, Cambridge, Massachusetts, USA.
16. Gellert, R. (2010) "Inorganic Mineral Materials for Insulation in Buildings", *Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings*, Editör: Hall, MR., Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Cambridge, UK, 193-228.
17. Han, J., Kamber, M. (2006) *Data Mining: Concepts and Techniques*, 2nd ed., Morgan Kaufmann, California, USA.

18. Heravi, G. ve Qaemi, M. (2014) Energy performance of buildings: The evaluation of design and construction measures concerning building energy efficiency in Iran, *Energy and Buildings*, 75, 456-464. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.02.035
19. Hwang, W.J. ve Wen, K.W. (1998) Fast kNN classification algorithm based on partial distance search, *Electronics Letters*, 34(21), 2062-2063. doi: 10.1049/el:19981427
20. Jha, S.K., Bilalovic, J., Jha, A., Patel, N. ve Zhang, H. (2017) Renewable energy: Present research and future scope of Artificial Intelligence, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 297-317. doi: 10.1016/j.rser.2017.04.018
21. Kumar, V. ve Wu, X. (2009) *The Top Ten Algorithms in Data Mining*, Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
22. Laustsen, J. (2010) *Energy Performance Certification of Building*, The IEA Policy Pathway, Paris, Fransa.
23. Li, B. ve Yao, R. (2009) Urbanisation and its impact on building energy consumption and efficiency in China, *Renewable Energy*, 34(9), 1994-1998. doi: 10.1016/j.renene.2009.02.015
24. Li, J., Colombier, M. ve Giraud, P.N. (2009) Decision on optimal building energy efficiency standard in China—the case for Tianjin, *Energy Policy*, 37(7), 2546-2559. doi: 10.1016/j.enpol.2009.01.014
25. Luger, G.F. (2009) *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*, 6th ed., Pearson Education, Boston, USA.
26. Mangan, S.D. ve Oral, G.K. (2016) Assessment of residential building performances for the different climate zones of Turkey in terms of life cycle energy and cost efficiency, *Energy and Buildings*, 110, 362-376. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.11.002
27. Martínez-Molina, A., Tort-Ausina, I., Cho, S. ve Vivancos, J.L. (2016) Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 70-85. doi: 10.1016/j.rser.2016.03.018
28. Mccarthy, J., (2007). What is Artificial Intelligence?. Erişim adresi: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai.html> (Erişim Tarihi: 28.01.2017)
29. Mitchell, T.M. (1997) “*Bayesian Learning*”, Machine Learning, Editör: Eric, M., McGraw Hill Education, Boston, Massachusetts, USA, 154-200.
30. Namlı, E., Erdal, H.İ. ve Erdal, H. (2016) Dalgacık dönüşümü ile beton basınç dayanım tahmininin iyileştirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 19(4), 471-480. doi: 10.2339/2016.19.4
31. Nilsson, N.J. (1998) Introduction To Machine Learning An Early Draft of A Proposed Textbook. Erişim adresi: <http://ai.stanford.edu/~nilsson/MLBOOK.pdf> (Erişim Tarihi: 30.01.2017)
32. Seyhan, A.T., Tayfur, G., Karakurt, M. ve Tanoğlu, M. (2005) Artificial neural network (ANN) prediction of compressive strength of VARTM processed polymer composites, *Computational Materials Science*, 34(1), 99-105. doi: 10.1016/j.commatsci.2004.11.001
33. Rokach, L. ve Maimon, O. *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*, 2nd ed, Springer, New York, USA.
34. Ruggieri, S. (2002) Efficient C4.5 [classification algorithm], *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 14(2), 438-444. doi: 10.1109/69.991727

35. Russell, S.J. ve Norvig, P. (1995) *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
36. Shaikh, P.H., Nor, N.B.M., Sahito, A.A., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I. ve Shaikh, M.S (2017) Building energy for sustainable development in Malaysia: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1392-1403. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.128
37. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Enerji Verimliliği Daire Başkanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği ve Enerji Etkin Bina Tasarım Prensipleri. Erişim adresi: <http://www.bep.gov.tr/MERKEZIIISITMA/Sunumlar.aspx> (Erişim Tarihi: 20.04.2017)
38. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2010). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Dair Yönetmelik. Erişim adresi: [http://www.enerjikimlikbelgesi.com/wp-content/uploads/2017/05/Binalarda Enerji Performansi Yonetmeliği-28-04-2017.pdf](http://www.enerjikimlikbelgesi.com/wp-content/uploads/2017/05/Binalarda_Enerji_Performansi_Yonetmeliği-28-04-2017.pdf), (Erişim Tarihi: 11.05.2017)
39. Wang, Z. ve Srinivasan, R.S. (2017) A review of artificial intelligence based building energy use prediction: Contrasting the capabilities of single and ensemble prediction models, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 796-808. doi: 10.1016/j.rser.2016.10.079
40. Xu, P., Chan, E.H.W. ve Qian, Q.K. (2011) Success factors of energy performance contracting (EPC) for sustainable building energy efficiency retrofit (BEER) of hotel buildings in China, *Energy Policy*, 39(11), 7389-7398. doi: 10.1016/j.enpol.2011.09.001
41. Yıldız, Y. ve Arsan, Z.D. (2011) Identification of the building parameters that influence heating and cooling energy loads for apartment buildings in hot-humid climates, *Energy*, 36(7), 4287-4296. doi: 10.1016/j.energy.2011.04.013
42. Yiğit, K. ve Acarkan, B. (2016) Assessment of energy performance certificate systems: a case study for residential buildings in Turkey, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24(6), 4839-4848. doi: 10.3906/elk-1407-87

