



AKILLI BİNALARDA YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ ENERJİ YÖNETİMİ: BİR İNCELEME

Mertkan SİNOPLU^{1,a,*}, Eyüp Burak CEYHAN^{2,b}

¹Bartın Üniversitesi, LEE, Bilişim Sistemleri ve Teknolojileri Bölümü

²Bartın Üniversitesi, MMTF, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

^amertkansinoplu@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4642-5090

^beyupburak@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5005-968X

ÖZET

Günümüzde küresel iklim değişikliği sebebiyle enerji yönetim sistemlerine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu çalışmada akıllı binalarda yapay zekâ destekli enerji yönetimi ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. İncelemeye alınan çalışmaların araştırılmasında YÖKTEZ, IEEE, Web of Science, Science Direct ve ProQuest veri tabanlarından yararlanılmıştır. Bu veri tabanlarında önceden belirlenen anahtar kelimeler ile arama yapıp, konu ile yakın içerikteki çalışmaların incelenmiştir. İncelemede çalışmaların amaçları ve içerikleri ile ilgili bilgi verilmiştir. Ayrıca ilgili çalışmaların daha rahat analiz edilmesi için çalışmaların adını, türünü, gerçekleştirildiği ülkeyi, konusunu, veri toplama aracını, örneklem büyüklüğünü ve sınırlılıklarını içerecek şekilde literatürdeki 32 çalışmanın yer aldığı bir tablo oluşturulup, inceleme için bu tablodan yararlanılmıştır. İncelenen çalışmalar içeriklerine ve sonuçlarına göre yorumlanıp, ileride yapılabilecek çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur. Çalışma kapsamında yapılan inceleme sonucunda, akıllı binalarda enerji sistemlerinin büyük bir çoğunluğunun sadece elektrik enerjisinin yönetimi üzerinde durduğu görülmüştür. Buna ek olarak araştırma kapsamına dâhil edilen çalışmaların büyük bir çoğunluğunun Hindistan'da gerçekleştirildiği, yapılan inceleme sonucunda görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Enerji Yönetimi, Akıllı Sistemler, Akıllı Bina, Yapay Zekâ.

ABSTRACT

Today, the need for energy management systems is increasing due to global climate change. In this study, studies on artificial intelligence supported energy management in smart buildings in the literature were examined. YÖKTEZ, IEEE, Web of Science, Science Direct

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author)**

Geliş (Received): 13.05.2023

Atıf (Citation): Sinoplu, M., Ceyhan, E.B., "Akıllı Binalarda Yapay Zekâ Destekli Enerji Yönetimi: Bir İnceleme", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(1): 39-63, 2023.

Kabul (Accepted): 02.07.2023

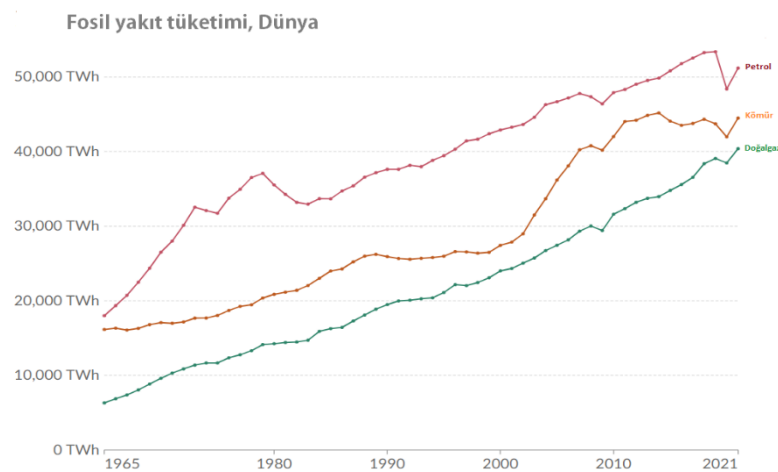
Yayın (Published): 16.07.2023

and ProQuest databases were used to search for the studies included in the review. In these databases, a search was made with predetermined keywords and 32 studies related to the subject were examined. In the review, information was given about the aims and contents of the studies. In addition, a table was created to include the name, country, type, subject of the studies, data collection tool, sample size and limitations of the study, and this table was used for easier analysis. Different interpretations were made according to the content and results of the studies examined, and suggestions were made about the features of the study that could be improved. As a result of the examination made within the scope of the study, it has been seen that the majority of energy systems in smart buildings only focus on the management of electrical energy. In addition, it was seen as a result of the examination that the majority of the studies included in the scope of the research were carried out in India.

Keywords: Energy Management, Smart Systems, Smart Building, Artificial Intelligence.

1. GİRİŞ

Enerji, yaşamı sürdürebilmek için gerekli olan bir kaynaktır ve günümüzde her alanda büyük bir rol oynamaktadır. Elektrik ve doğalgaz enerjinin en çok kullanıldığı iki kaynak türüdür. Doğalgazın ve elektriğin büyük bir çoğunluğu yenilenemez enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının başında fosil yakıtlar gelmektedir. Bu kaynakların kullanımı, geçmişten günümüze ciddi bir artış göstermektedir [1]. Bu nedenle bu kaynakların verimli bir şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır. Yıllar içinde artan fosil yakıt tüketimi Şekil 1’de görülebilmektedir.



Şekil 1. Dünyada yıllara göre fosil yakıt tüketimi [2]

Nesnelerin interneti (IoT), fiziksel nesnelerin birbirleriyle veya daha büyük sistemlerle bağlantılı olduğu iletişim ağıdır. Nesnelerin interneti, nesnelerin bu ağ yardımıyla birbirleriyle iletişim kurmasıyla, küçük parçalardan büyük bir sistem oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu büyük sisteme ekosistem de denilmektedir [3].

Yapay zekâ, bir bilgisayarın veya bilgisayar kontrolündeki bir robotun çeşitli faaliyetleri zeki canlılara benzer şekilde yerine getirme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır [4]. Bir başka deyişle algılama, öğrenme, düşünme ve karar verme gibi insana özgü şeyleri yapabilen işletim sistemlerine yapay zekâ denilmektedir.

Akıllı binalar, nesnelerin interneti ve yapay zekâ gibi kavramlar ile desteklenmiş; binaların içindeki ve dışındaki koşulların takip edilip tüketilen kaynakların en aza indirilmesi ve insanların kullanım kolaylıklarını arttırmak üzere tasarlanan binalar olarak tanımlanabilir.

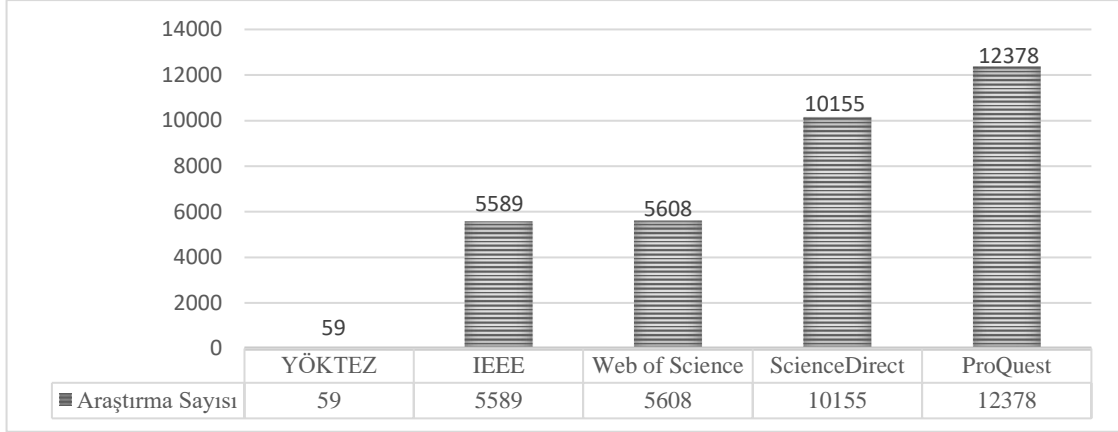
Enerji yönetim sistemleri, enerji kaynakları takip edilerek en doğru ve verimli bir şekilde kullanılması için oluşturulan sistemlerdir. Bu sistemler yazılım tarafında nesnelerin interneti ve yapay zekâ gibi kavramlar ile desteklenip, donanım tarafında sensörler ve aktüatörler ile oluşturulmaktadır.

Yapılan çalışmanın amacı, akıllı binalarda yapay zekâ destekli enerji yönetimi ile ilgili literatürdeki yakın konulu çalışmaların incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda çeşitli veri tabanlarında belirlenen anahtar kelimeler ile arama yapıp, araştırma konusuna en yakın çalışmalar seçilip incelenmiştir. Yapılan derleme çalışması ile akıllı binalarda enerji yönetim sistemlerinde hangi kriterler üzerinde durulduğu, hangi araçların kullanıldığı ve bu sistemlerin ne tür sınırlılıklara sahip olduğu açıklanıp, gelecekteki akıllı enerji yönetim sistemi çalışmaları için bu doğrultuda öneriler verilmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Araştırma kapsamında incelenen çalışmaların kaynak araştırması için Web of Science, ProQuest, IEEE, ScienceDirect ve YÖKTEZ veri tabanlarında “smart” ve “energy management” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Arama sonucunda çıkan sonuçlar Şekil 2’de görülmektedir. Ayrıca Bartın Üniversitesi’nin e-kaynaklara uzaktan erişim platformu ile de bu veri tabanlarına ek olarak Academia ve IOS Press veri tabanlarındaki çalışmalara ulaşılmıştır. Academia ve IOS Press veri tabanları ücretli veri tabanları oldukları için anahtar kelime

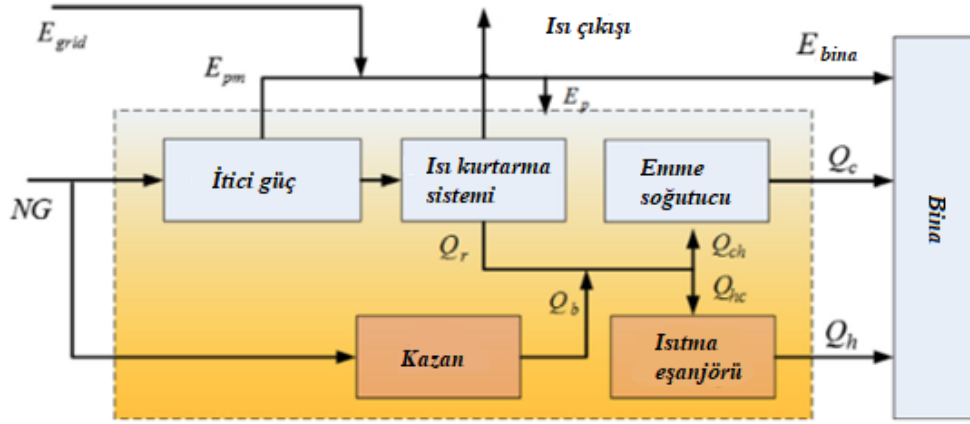
aramasına dâhil edilmemiştir. İncelenen ücretli veri tabanlarında bulunan çalışmalara Bartın Üniversitesi'nin E-Kütüphane sitesi üzerinden ulaşılmıştır. Yıl sınırlaması yapılırken 2010 ve sonrasındaki çalışmalar ele alınmıştır. Bu çalışmalarda konuya yakın olan 32 çalışma incelenmiştir.



Şekil 2. Veri tabanlarında anahtar kelimeler ile yapılan arama sonucu sayıları

Han ve Lim [5] çalışmalarında, düşük güç kullanımına ve IEEE 802 standartlarına sahip olan ZigBee teknolojisine dayalı bir akıllı ev enerji yönetim sistemi oluşturmak üzerinde durmuşlardır. ZigBee teknolojisinin bu projede kullanılmasının en önemli nedeninin düşük güç kullanımı olduğu belirtilmiştir. Çalışmada veri toplama aracı olarak ZigBee CC2430 modülü ve bu modül ile birlikte gaz, ısı, ışık ve hareket sensörleri kullanılmıştır. Geliştirilen sistem ile klima ve elektrik ile çalışan cihazların yönetimi yapılmıştır. Çalışma sonucunda ışık ve klima sisteminin otonom kontrolü sağlanmıştır. Bu çalışmanın geliştirilmesi için, farklı binalar için farklı ısınma kaynaklarının sisteme dâhil edilmesi özelliğinin eklenmesi önerilebilir.

Farmani vd. [6] çalışmalarında, kombine ısınma ve güç sistemleri için akıllı enerji yöntemi sistemi tasarlanması üzerinde durmuşlardır. Kombine ısınma sistemleri, ısınma, soğutma ve elektrik enerjisinin birlikte kullanıldığı sistemlerdir [2]. Çalışmada bu sistemlerin yönetimi için her bir sistem (ısınma – soğutma- elektrik) kendi içerisinde bir sistem olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada veri toplama araçları olarak ısı ve ışık sensörlerinden oluşan bir sensör ağı kullanılmıştır. Çalışmada ısınma ve soğutma yükleri hesaplanıp en verimli kullanılması için formüllerden yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda geliştirilen model sayesinde günlük işletme maliyetlerinin önemli bir ölçüde azaltılabileceği görülmüştür.



Şekil 3. Tipik bir CCHP sisteminin yapısı [6]

Han vd. [7] çalışmalarında, Zigbee ve PLC (programlanabilir mantık kontrolcüsü) ile yenilenebilir enerjinin de dâhil edildiği bir akıllı enerji yönetim sistemi oluşturma üzerinde durmuşlardır. Projede PLC, güneş enerjisi sisteminin kontrol edilmesi için kullanılmıştır. Veri toplama araçları olarak güç takip modülleri ve sensörler kullanılmıştır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisi de projeye dâhil edilmiştir. Geliştirilen sistem sayesinde hem enerji tüketimi hem de üretimi dikkate alınarak, önerilen modelin ev enerji yönetimini geliştirmesi ve enerji maliyetinden tasarruf etmesi beklenmektedir.

Zhou vd. [8] çalışmalarında, akıllı evler için enerji yönetim sistemleri konseptlerinin ve konfigürasyonlarının oluşturulması üzerinde durmuşlardır. Bu sistemleri oluştururken sistemi gözlem, kayıt, kontrol, alarm ve yönetim olarak bölümlere ayırmışlardır. Ayrıca sistemleri günlük maliyetler açısından değerlendirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda akıllı ev enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesinin, güvenilir ve yeşil bir enerji için küresel bir öncelik olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu sistem uygulanırken, sistem içerisindeki her cihaz farklı özelliklere sahip olabileceğinden modellemenin tam olarak gerçek ile örtüşememe olasılığı olduğu belirtilmiştir.

Anvari-Moghaddam vd. [9] çalışmalarında, akıllı evler için enerji yönetim sistemlerinde konforlu yaşam stiline ve enerji tasarrufunun en uygun düzeye getirilmesi üzerinde durmuşlardır. Sistem geliştirilirken güneşin solar radyasyon efekti ve binaların termal modelleri gibi değişkenleri de değerlendirmişlerdir. Ayrıca binadaki yer malzemelerinin yapıları ısı

özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Bunun yanında hangi kaynağın günün hangi saatlerinde ne kadar kullanılması gerektiği hakkında çıkarımlarda bulunmuşlardır. Çalışma sonucunda farklı sistemler ve farklı kullanıcılar için enerji kullanımı azaltılırken ev sakinleri için optimal bir termal bölge sağlandığı belirtilmiştir. Bu çalışmanın geliştirilmesi için, gerçek ev ortamlarındaki veriler ile çalışılmasının daha gerçekçi sonuçlar üretebileceği değerlendirilmektedir.

Ramani vd. [10] çalışmalarında, akıllı evler için enerji yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Sistemde Arduino ve ESP8266 modülleri ve sensörler kullanarak güneş ve şebeke enerjisinin yönetimi sağlanmıştır. Çalışma ile birlikte güneş enerjisinin en verimli şekilde kullanılması amaçlanmıştır. Kullanılan Arduino mikro kontrolcüsü sayesinde güneş panelinden sağlanan enerjinin yetmediği durumlarda şebeke elektriğinden yardım alınmaktadır. İki şebekenin birbirine bağlanması röleler ile sağlanmaktadır. Bu sayede şebeke elektriğinden çekilen yük miktarı güneş panellerinin çalışması ile değişmiş olur. Bu çalışmanın geliştirilmesi için, ısı kaynaklarının da sisteme eklenmesi önerilmektedir.

Michael vd. [11] çalışmalarında, akıllı ev sistemleri için merkezi olmayan enerji yönetimi tasarlamışlardır. Tasarımlarında sistemi maliyet ve verimlilik açısından değerlendirmişlerdir. Değerlendirme yapılırken elektrik fiyatı, hava durumu ve cihazların enerji kullanımı gibi ölçütlerden yararlanılmıştır. Hava durumu ve enerji fiyatlarını aktif değişken olarak değerlendirmişlerdir. Ayrıca Matlab ile simülasyonlar yapıp farklı araçların elektrik kullanımı ile ilgili hesaplamalar yapmışlardır. Geliştirilen sistem sayesinde enerji tüketiminin takip edilip en uygun senaryoda %55 azaltılabileceği belirtilmiştir.

Jenifer vd. [12] çalışmalarında, LabVIEW kullanarak akıllı bir evin otomasyonu ve enerji yönetimi üzerinde durmuşlardır. LabVIEW, laboratuvar sanal ortamı olarak açıklanabilir. Veri toplama araçları olarak nem, ısı ve ışık sensörleri kullanmışlardır. Bu sensörlerden elde edilen veriler, bu sanal ortamda değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda farklı evler için esnek bir akıllı enerji yönetim sisteminin nasıl geliştirilebileceği modellenmiştir. Bu çalışmanın geliştirilmesi için, farklı evler için farklı modeller geliştirilmesi önerilmektedir.

Kazmi vd. [13] çalışmalarında, akıllı evler için enerji yönetim sistemi üzerinde durmuşlardır. Sistemi tasarlarken ABLE (Otonom Enerji Yük Dengelemesi) sistemi göz önünde bulundurularak enerji geri beslemeli bir sistem tasarlamışlardır. Bu sistemin kullanıcıları enerjiiyi daha verimli kullanmak için teşvik özelliği mevcuttur. Sistem, teşvik için

enerji harcamalarını düşürecek öneriler sunmaktadır. Bu sayede bu sistemi kullanan tüketicilere tasarruf yaptırmaktadır. Sistemde veri toplamak için çeşitli sensörlerden yararlanılıp, iletişim için ZigBee modülü kullanılmıştır. Bu modül ile hangi kaynağın ne kadar ve ne zaman kullanıldığı takip edilmiştir. Çalışma sonucunda akıllı evler için geri beslemeli bir akıllı enerji sistemi geliştirilip ABLE sistemine uyarlanmıştır.

Pan vd. [14] çalışmalarında, akıllı evler için TOU tabanlı enerji yönetim sistemi üzerinde durmuşlardır. TOU, kullanım süresine göre fiyatlandırma olarak belirtilebilir. Sistem tasarlanırken bu fiyatlandırma yöntemi temel alınmıştır. Sisteme elektrikli araçların tüketimi de dâhil edilmiştir. Veri toplama araçları olarak enerji ölçen modüllerden ve sensörlerden yararlanılmıştır. Yapılan sistemin temeli, fiyatlar düşük olduğunda yerel bir depoda depolanan elektriğin elektrik fiyatları arttığında kullanılmasına dayanmaktadır. Sistem ile ilgili yapılan simülasyonlar sonucunda normal sisteme göre %31'lik bir fatura tasarrufu elde edilmiştir.

Vanus vd. [15] çalışmalarında, akıllı ev bakımı için enerji yönetim sistemi geliştirilmesi üzerinde durmuştur. Çalışmada elektrik, ısı, su ve gaz kaynakları takip edilip, SCADA enerji sistemine veri sağlanmıştır. SCADA, merkezi yönetim ve veri toplama olarak belirtilebilir. Veri toplama araçları olarak sensörler ve aktüatörlerden yararlanılmıştır. Ayrıca bu sisteme besleme olarak görüntü işleme ile su saatinin verilerinin takibi yapılmıştır. Geliştirilen bu sistem, ticari su tüketimi uygulamasında başarıyla kullanılıp hayata geçirilmiştir. Çalışmanın bir dezavantajı olarak okunan sayaçlar analog olarak tercih edilmiştir. Bu çalışmanın geliştirilmesi için, dijital ve analog sayaçların ikisinin de takibini yapabilme özelliğinin eklenmesi önerilmektedir.

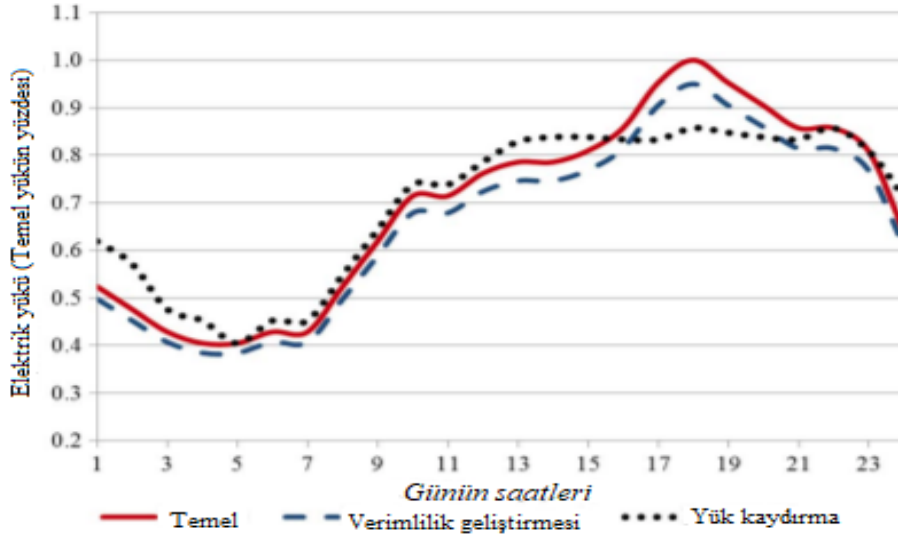


Şekil 4. Görüntü işleme ile sayıların tespiti [15]

Khan vd. [16] çalışmalarında, kullanıcı profili tabanlı bir akıllı ev enerji yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmada verileri elde etmek için 50 sensörden yararlanmışlardır. Ayrıca sistemi kullanıcı profili tanıma ve enerji yönetimi olarak iki özelliğe geliştirmişlerdir. Kullanıcı profili tanıma sayesinde gereksiz enerji kullanımının önüne geçilmesi planlanmıştır. Ayrıca sensörler arasındaki haberleşme için ZigBee teknolojisi kullanılmıştır. Geliştirilen sistem sayesinde kişilere özel profiller belirlenerek gereksiz enerji kullanımının önüne geçildiği ve elektrik ile çalışan farklı araçların manuel kullanıma göre daha az elektrik harcadıkları belirtilmiştir.

Kumar vd. [17] çalışmalarında, gerçek zamanlı fiyatlandırmaya dayalı akıllı ev enerji yönetim sistemi üzerinde durmuşlardır. Fiyatlandırmaya dayalı sistemin parçası olarak yerel bir elektrik depolama sistemi (akü) kullanılmıştır. Sistem tasarımında sensörlerden yararlanılırken aynı zamanda Raspberry Pi yardımı ile elektrik fiyat verisi takip edilmiştir. Bu veriler işlenerek Arduino MEGA 2560 mikrokontrolcüsüne gönderilmiştir. Sistemde Arduino, yerel depolama sisteminin yönetimi için kullanılmıştır. Yapılan sistem ile elektrik fiyatlarının az olduğu zamanda depolama yapılıp, fiyat artımı olduğunda depodan kullanılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak geliştirilen sistem sayesinde hem elektrik maliyeti azaltılıp hem de sistem üzerindeki yükün azaltılması sağlanmıştır.

Zipperer vd. [18] çalışmalarında, akıllı evlerde elektrik enerjisi yönetiminin teknolojiler ve kullanıcı davranışları açısından incelenmesi üzerinde durmuşlardır. Çalışmada otonom bir ev enerji yönetim sistemi tasarlayıp, bu sistemi tüketici davranışları ile desteklemişlerdir. Ayrıca tüketici tarafında bu sistem ile kullanılacak teknolojilerden bahsedilmiştir. Bu teknolojilere örnek olarak akıllı sayaçlar, telefon uygulamaları ve akıllı termostatlardan bahsetmişlerdir. Ayrıca Şekil 5’de görülebileceği gibi tipik elektrik şebekesi yükü grafiğine bakıldığında en çok yükün 17.00 – 19.00 saatleri arasında biniğini belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda akıllı evlerin yaygınlaşması ve bu sistemlerin daha çok evde kullanılması ile enerji kaynaklarının doğru kullanılmasının yaygınlaşacağı belirtilmiştir.



Şekil 5. Tipik bir günlük şebeke yük yoğunluğu [18]

Mani vd. [19] çalışmalarında, IoT tabanlı bir akıllı enerji yönetim sistemi üzerinde durmuşlardır. Sistemde ESP8266 kablosuz haberleşme için kullanılırken; arduino sensör verilerinin toplanması, Raspberry Pi ise verilerin analiz edilmesi ve web uygulaması için kullanılmıştır. Sistemde sıcaklık ve nem sensörü, ışık sensörü ve manyetik sensör kullanılmıştır. Manyetik sensör, sistemde kablolardan geçen elektrik yükünün ölçülmesi için kullanılmıştır. Yapılan sistem ile bir fan ve ampülün enerji yönetimi yapılmıştır. Bu çalışmanın geliştirilmesi için, ısı enerjisinin de bu sisteme katılması ve farklı cihazlar için farklı senaryolar denenmesi önerilmektedir.

Abdalla [20] çalışmasında, akıllı evler için enerji yönetim sistemi üzerinde durmuştur. Çalışmada kablosuz veri toplama için ZigBee, Zwave ve bluetooth; kablolu veri toplamak için de PLC ve Ethernet kullanılmıştır. Toplanan verileri anlamlı hale getirebilmek için Arduino MEGA2560'dan yararlanılmıştır. Ayrıca alınan kararları uygulamak için çeşitli rölelerden ve aktüatörlerden yararlanılmıştır. Ayrıca Şekil 6'da görülebileceği gibi Irak'da günlük elektrik şebekesine binen yükün saatlik olarak analizi verilmiştir. Yapılan analize göre en çok yük 18.00 saatlerinde gerçekleşmektedir. Yapılan çalışma ile farklı sensörlerden gelen veriler ile röleler aktive edilip en verimli enerji kullanımı sağlanmıştır. Çalışma test yatağında denenmiş, en ideal ortamda %60 daha az enerji kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmanın geliştirilmesi için, sistemin gerçek evlerde denenip, farklı evler için senaryoların hazırlanması önerilmektedir.



Şekil 6. Irak'da elektrik şebekesine binen yük miktarları [20]

Gaikwad vd. [21] çalışmalarında, güç sistemlerinin esnekliği açısından akıllı ev enerji sistemleri üzerinde durmuşlardır. Güç sistemlerinin esnekliği olarak güneş enerjisi sistemi ve bu sistemin beslediği batarya sisteminin şebeke elektriği ile olan dengesinden bahsedilmiştir. Bu sistemin asıl geliştirilmesindeki amacın kasırga sonrası olabilecek elektrik kesintilerinde güneş enerjisinin en verimli şekilde kullanılması olduğu belirtilmiştir. Enerji ölçme modülleri ve ışık sensörü veri toplama araçları olarak kullanılmıştır. Sistemlerin yüklerini belirlemek için farklı elektrikli cihazlar ile testler yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda geliştirilen sistem ile iki kat daha fazla verimlilik alındığı belirtilmiştir.

Kıvanç vd. [22] çalışmalarında, konfor ve maliyet faktörlerini göze alarak bir akıllı ev enerji yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Sistemde veri toplama araçları olarak sensörler, enerji ölçme modülleri ve ESP32 haberleşme modülü kullanılmıştır. Bu sistemde satış fiyatları, hava durumu, tüketim öngörüsü ve batarya doluluğu gibi faktörlerden çıkarım yapmak için bulanık mantık kontrolcüsü kullanmışlardır. Sistem sonuç olarak maliyet ve konfor değerleri üretmiştir. Bu değerler enerji dağıtımı için kullanılan algoritmaya girdi olarak verilip en uygun işlem yapılmaktadır (Şekil 7). Geliştirilen sistem evde bulunabilecek cihazlar ile kurulan bir laboratuvarında denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda sistemin enerji maliyetini %20 azalttığı belirlenmiştir.



Şekil 7. Tasarlanan enerji yönetim sistemi algoritması [22]

Agarwal ve Ramamritham [23] çalışmalarında, akıllı binalardaki enerji yönetimi için kullanılan sensörlerin minimize edilmesi üzerinde durmuşlardır. Çalışmada, sensörlerin sayısının daha önce elde edilen bilgilere dayanılarak ne kadar azaltılabileceğine cevap aranmıştır. Veri toplama araçları olarak çeşitli sensörlerden ve enerji ölçme modüllerinden yararlanılmıştır. Başlangıçta 48 farklı sensörden yararlanan bir sistem ele alınmıştır. Python programında çeşitli algoritmalar ile yapılan çalışma sayesinde sensörler hesaplanan yerlere konup sensör sayısı %72,9 azaltılarak 13 sensöre indirilebilmiştir. Sonuç olarak daha az sensör kullanılarak elektrik enerjisinden tasarruf yapılmıştır. Bu sistemin büyük şehirlerde uygulanmasıyla hem sensör maliyetinden hem de büyük miktarlarda boşa harcanacak enerjiden tasarruf edilmiş olacağı belirtilmiştir.

Ahmad vd. [24] çalışmalarında, gömülü nesnelere interneti ile akıllı enerji yönetim sistemi tasarlamak üzerinde durmuşlardır. Sistemde veri toplama araçları olarak sensörler ve ESP8266 Wi-Fi modülü içeren NodeMCU 12-E mikrokontrolcüsünden yararlanılmışlardır. Ek olarak cihazların kapatma zamanlarının gerçek zamanlı olarak belirlenebilmesi için RTC (Gerçek Zaman Saati) kullanılmıştır. Ayrıca geliştirilen sistemi güneş enerjisi destekli olarak geliştirmişlerdir. Sistemde cihazların çektikleri elektrik yüklerine göre öncelikler belirlenmiştir. Bu sistem ile en çok yük çekilen saatler belirlenip, bu saatteki yükler azaltılmıştır. Ayrıca bir web sayfası ve mobil uygulama ile bu verilerin incelenmesi ve yönetimi sağlanmıştır. Yapılan çalışma sayesinde elektrik şebekesinin yoğun olduğu ve yoğun olmadığı saatler belirlenerek en

çok elektrik kullanan cihazların yoğun olmayan saatlerde kullanılması sağlanmaktadır. Bu sayede elektrik faturalarının azalacağı belirtilmiştir.

Prajwal ve Gupta [25] çalışmalarında, bulanık mantığın sürekli güç kaynağı için kullanıldığı bir akıllı ev enerji yönetim sistemi üzerinde durmuşlardır. Bulanık mantık, kümelemeye dayanan bir mantık yapısıdır. Normal mantıkta elemanlar bir kümenin elemanıdır veya değildir. Bulanık mantıkta ise bir eleman birden çok kümenin elemanı olabilir. Çalışmalarında bu mantık yapısını kullanarak sistemin kontrolü sağlanmıştır. Çalışmada veri toplama araçları olarak güç ölçen modüllerden ve ısı sensörlerinden alınan veriler simülasyon ortamında temel olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elektrik faturasında %40 tasarruf edilebileceği belirtilmiştir.

George vd. [26] çalışmalarında, binalarda enerji yönetimi için akıllı kişisel öğrenme sistemi geliştirilmesi üzerinde durmuşlardır. Kişisel öğrenme sistemi, giyilebilen bir cihaz yardımı ile farklı kişilerin davranışları ve kullanımlarına göre verimli enerji yönetimi yapılması için geliştirilmiştir. Çalışmada veri toplama araçları olarak manyetik sensörler ve elektrik enerjisini takip etmek için enerji takip modülleri kullanılmıştır. Bu modüllerin birbirleri arasındaki iletişimi için de ZigBee teknolojisi kullanılmıştır. Geliştirilen sistem sayesinde kullanıcıların davranışları ve cihazları kullanım şekilleri göz önünde bulundurularak, en uygun koşullarda %22.6 enerji tasarrufu elde edilmiştir.

Al-Ali vd. [27] çalışmalarında, akıllı ev enerji yönetim sistemleri için nesnelerin interneti ve büyük veri kullanımı üzerinde durmuşlardır. Verileri toplamak için her bir cihazın enerji tüketimini ölçüp, ana sisteme yollamışlardır. Ayrıca klima ünitelerinin izlenmesi ve kontrolü için sıcaklık ve nem sensörleri kullanılmıştır. Cihazların elektrik akışlarının kontrolü için de katı hal röleleri kullanılmıştır. Toplanan veriler bir sunucuya gönderilip, verilere göre çıktılar elde edilmiştir. Bu çıktılar sonucunda gerekli modüller ile cihazların kontrolü sağlanmıştır. Ayrıca sistemin izlenmesi ve kontrol edilmesi için bir uygulama geliştirilmiştir. Yapılan sistem evlerin simüle edildiği bir laboratuvar ortamında denenmiştir. Çalışma sonucunda birçok ev için uygulanabilen ve verilerin tutulup işlendiği bir sistem ortaya çıkartmışlardır. Bu sistem sayesinde veriler analiz edilip, farklı elektrik ile çalışan cihazlar tarafından oluşabilecek elektrik faturalarının raporlanması sağlanmıştır.

Yamini ve Babu [28] çalışmalarında, akıllı ev enerji yönetim sistemi tasarımı ve uygulaması üzerinde durmuşlardır. Geliştirilen sistemde hem güneş ve rüzgâr enerjisinden

elektrik üretimi hem de elektrik tüketimlerinin yönetimi yapılmıştır. Sistemde veri toplama araçları olarak manyetik sensörlerden ve enerji takip modüllerinden yararlanılmıştır. Ayrıca bu modüller arasındaki iletişim için bluetooth ve ZigBee teknolojileri kullanılmıştır. Sistemde enerji üretiminin yönetimi için ARM7 işlemcisi, enerji tüketimi için 8051 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bilgisayar olmadan enerji üretimi ve tüketimi mikrodenetleyiciler ile gerçekleştirilebilmiştir. Bu sayede düşük maliyetli bir sistem oluşturulmuştur.

Korkua ve Thinsurat [29] çalışmalarında, talebe duyarlı akıllı ev enerji yönetim sistemi için ZigBee tabanlı bir kablosuz sensör ağı tasarımı üzerinde durmuşlardır. Çalışmada veri toplama araçları olarak manyetik sensörlerden ve enerji takip modüllerinden yararlanılmıştır. Bu modüllerin arasındaki kablosuz iletişim için CC2430 ZigBee çipinden yararlanılmıştır. Ayrıca çalışmada bu sistemin TOU sistemine göre geliştirildiği belirtilmiştir. Bu sistem enerji kullanım zamanına göre fiyatlandırma sistemi olarak açıklanabilir. Bu sistemin verimliliğinin artması için en uygun saatler belirlenmiştir. Geliştirilen sistem sayesinde en çok güç harcayan cihazların, şebekenin yük durumunun en az olduğu aralıkta çalıştırılması sağlanmıştır. Sonuç olarak geliştirilen sistem sayesinde %34'e kadar tasarruf elde edilebildiği görülmüştür. Fakat bazı senaryolarda da bu sistemin tasarruf sağlamadığı görülmüştür.

Rokonuzzaman vd. [30] çalışmalarında, nesnelerin interneti kapsamında akıllı evlerde enerji yönteminde kullanılabilecek bir akıllı priz geliştirmek üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında kullandıkları prizi nesnelerin internetine bağlamak için ENC28J60 ve ESP32 modüllerinden yararlanmışlardır. Ayrıca bu modüllerden alınan verilerin görüntülenebildiği bir mobil uygulama geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistemin uygulamasını testbed üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak elektrik enerjisi için ne kadar enerji harcandığı ve tüketimin tutarının ne kadar olduğunun görülebildiği bir sistem tasarlamışlardır.

Shan vd. [31] çalışmalarında, akıllı binalar için enerji yönetim sistemi üzerinde durmuşlardır. Sundukları sistem çerçevesinde akıllı binalarda lokal bir enerji yönetimi için mobil cihazların, sensörlerin, güç anahtarlarının ve düşük enerjili bluetooth ile çalışan cihazların kullanılmasını önermişlerdir. Çalışma kapsamında yaptıkları simülasyon sonucunda boşa harcanan enerjinin önlenmesi için farklı cihazların kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Stolajescu-Crisan ve Gal [32] çalışmalarında, akıllı binalarda enerji takibi için bir sistem geliştirilmesi üzerinde durmuşlardır. Çalışmada enerji takibi için nesnelerin interneti için

ESP8266 entegreli cihazlardan yararlanmışlardır. Ayrıca bu cihazların kontrolünü ve izlenmesini sağlamak için qToggle adında bir uygulama geliştirmişlerdir. Çalışmada geliştirilen sistem ile üretilen ve tüketilen enerjinin takibini sağlayıp, enerjinin en fazla hangi alanlarda kullanıldığının belirlenmesini ve dolayısıyla bu kullanımın azaltılabilmesinin sağlanmasını gerçekleştirmişlerdir.

Challa vd. [33] çalışmalarında, akıllı sınıflarda enerji yönetimi üzerinde durmuşlardır. Geliştirdikleri sistemde sınıflardaki ışık, fan vb. elektronik eşyaların boşa kullanılmasını engellemek için bir kamera yardımıyla sınıfta insan olup olmadığının kontrol edilmesini sağlamışlardır. Kameranın iletişimi için ESP32 modülünden yararlanmışlardır. Sonuç olarak sınıflarda kullanılan elektronik eşyaların boşa açık kalmamasını sağlayarak enerji tasarrufu etmeyi amaçlamışlardır.

Kumar vd. [34] çalışmalarında, güneş enerjisinden yararlanan verimli bir ev enerji yönetim sistemi üzerinde durmuşlardır. Sistemin verimliliğini artırmak için akıllı bir enerji takip sistemi geliştirip, kullanıcıların günlük davranışlarını takip etmişlerdir. Bu takip için de sensörlerden ve akıllı ev aletlerinden yararlanmışlardır. Kullanıcılardan aldıkları veriler ile alışkanlıkları belirleyip, gerek duyulmayan elektronik cihazların kapatılmasını sağlamışlardır. Çalışma sonucunda geliştirdikleri sistem ile standart enerji yönetim sistemlerine göre daha verimli bir enerji yönetim sistemi geliştirmişlerdir.

Zenginis vd. [35] çalışmalarında, akıllı evler için güneş enerjisi sistemi, enerji depolama ve ısınmayı (CCHP) yöneten bir sistem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistemin amacı, şartlı öğrenme ile bu sistemlerin verimliliğinin artırılması ile enerji tasarrufu sağlanmasıdır. Isınma için harcanan enerjiden tasarruf sağlamak için iç ve dış mekan sıcaklıklarına göre ısınma sistemlerinin yönetimini sağlamışlardır. Sonuç olarak akıllı evlerde ısınma ve elektrik enerjisinin verimli kullanıldığı bir sistem geliştirmişlerdir.

Ma vd. [36] çalışmalarında, yapay zekâ temelli bir akıllı ev enerji sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistemde enerji fiyat bilgisi ve elektrik enerjisini ölçmek için kullanılan sensörler yardımı ile tasarruf etmeyi amaçlamışlardır. Ayrıca güneş enerjisinin kullanıldığı bir senaryo için de model geliştirmişlerdir. Sonuç olarak akıllı evler için kullanıcıların enerji tüketimlerini takip edebilecek ve tasarruf yaptırabilecek bir sistem geliştirmişlerdir.

3. LİTERATÜRDEKİ AKILLI BİNALARDA YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ ENERJİ YÖNETİMİ ÇALIŞMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışma kapsamında araştırılan veri tabanlarında bulunan çalışmaların daha rahat analiz edilmesi için çalışmaların adını, yapılan ülkeyi, yılını, türünü, konusunu, veri toplama aracını, örneklem büyüklüğünü, sınırlılıklarını, önerileri ve çalışmanın bulunduğu kaynağı içerecek şekilde bir tablo oluşturulup, inceleme için bu tablodan yararlanılmıştır. İncelenen çalışmalar Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Araştırma kapsamında incelenen çalışmalar

Çalışma	Yıl	Ülke	Türü	Konusu	Veri Toplama Araçları	Örneklem Büyüklüğü	Sınırlılıklar
Han ve Lim[5]	2010	Güney Kore	Araştırma	Düşük güç kullanımına ve IEEE 802 standartlarına sahip olan ZigBee teknolojisine dayalı bir akıllı ev enerji yönetim sistemi oluşturmak.	Sensörler (Isı ve hareket)		Tek bir ev konfigürasyonu üzerinde denenmiştir. Ayrıca sadece ışık ve klimanın yönetimi yapılmıştır.
Farmani vd. [6]	2018	İran	Araştırma	Kombine ısıtma ve güç sistemleri için akıllı enerji yöntem sistemi tasarlanması.	Sensörler – Modüller (Isı ve elektrik)	10 (Apartman Dairesi) 1 (Bina)	Binaların günlük enerji tüketiminin kesin olmaması
Han vd. [7]	2014	Güney Kore	Araştırma	Zigbee ve PLC ile yenilenebilir enerjinin de dahil edildiği bir akıllı enerji yönetim sistemi oluşturmak.	Sensörler - Modüller (Elektrik ve ısı)	1 (Ev)	Tek bir ev konfigürasyonu üzerinde denenmiştir.
Zhou vd. [8]	2016	Çin	Derleme	Akıllı evler için enerji yönetim sistemleri konseptlerinin ve konfigürasyonlarının oluşturulması.	Veri tabanı (ABD Enerji Bakanlığı)		Her cihaz farklı özelliklere sahip olabileceğinden model geliştirmede zorluklar olabilir.
Anvari-Moghaddam vd. [9]	2014	İran	Araştırma	Akıllı evler için enerji yönetim sistemlerinin konforlu yaşam stilini ve enerji tasarrufunu en uygun düzeye	Sensörler (Hareket ve ısı)	1 (Ev)	Tek bir ev konfigürasyonu üzerinde denenmiştir. Diğer konfigürasyonlarda koşullar belirsiz olabilir.

Tablo 1 (Devamı). Araştırma kapsamında incelenen çalışmalar

Çalışma	Yıl	Ülke	Türü	Konusu	Veri Toplama Araçları	Örneklem Büyüklüğü	Sınırlılıklar
Ramani vd. [10]	2019	Hindistan	Araştırma	Akıllı evler için enerji yönetimi	Sensörler - Modüller (Elektrik)	1 (Testbed)	Gerçek evlerde denenmemiştir.
Michael vd. [11]	2019	Almanya	Derleme	Akıllı Ev Sistemleri için Merkezi Olmayan Enerji Yönetimi	Almanya günlük ortalama elektrik kullanımı veri tabanı	1 (Simülasyon)	Sadece simülasyonda denenmiştir.
Jenifer vd. [12]	2016	Hindistan	Araştırma	LabVIEW kullanarak akıllı bir evin otomasyonu ve enerji yönetimi	Sensörler – Modüller (Hareket ve elektrik)	1 (Ev)	Tek bir konfigürasyon denenmiştir.
Kazmi vd. [13]	2013	İrlanda	Araştırma	Akıllı evler için enerji yönetimi	Sensörler – Modüller (Hareket ve elektrik)	1 (Ev)	Farklı mevsimlerde farklı enerji kullanımları olabilmektedir.
Pan vd. [14]	2013	Çin	Araştırma	Akıllı evler için TOU tabanlı enerji yönetimi sistemi	Sensörler – Modüller (Hareket ve elektrik)	1 (Simülasyon)	Gerçek evlerde denenmemiştir.
Vanus vd. [15]	2016	Çekya	Araştırma	Akıllı ev bakımında gelişmiş enerji yönetim sistemi geliştirilmesi	Sensörler – Modüller (Hareket ve elektrik)	1 (Ev)	Sistem analog sayaçlar üzerine kurulmuştur.
Khan vd. [16]	2020	Güney Kore	Araştırma	Kullanıcı profili tabanlı bir akıllı ev enerji yönetim sistemi geliştirmek	Sensörler – Modüller (Hareket, elektrik ve RFID)	1 (Ev)	Farklı kullanıcı profilleri için farklı zaman uzunluklarında öğrenme
Kumar vd. [17]	2020	Hindistan	Araştırma	Gerçek zamanlı fiyatlandırmaya dayalı akıllı ev enerji yönetim sistemi	Sensörler – Modüller (Elektrik)	1 (Testbed)	Sadece elektrik enerjisi yönetimi üzerinde durulmuştur.

Tablo 1 (Devamı). Araştırma kapsamında incelenen çalışmalar

Çalışma	Yıl	Ülke	Türü	Konusu	Veri Toplama Araçları	Örneklem Büyüklüğü	Sınırlılıklar
Zipperer vd. [18]	2013	ABD	Derleme	Akıllı evlerde elektrik enerjisi yönetimi	Veri tabanı (NREL veri tabanı)		Sadece elektrik enerjisi yönetimi üzerinde durulmuştur.
Mani vd. [19]	2017	Hindistan	Araştırma	IoT tabanlı bir akıllı enerji yönetim sistemi	Sensörler - Modüller (Hareket ve elektrik)	1 (Testbed)	Sadece iki cihazın enerji yönetimi yapılmıştır.
Abdalla vd. [20]	2019	Türkiye	Araştırma	Akıllı evler için enerji yönetim sistemi	Sensörler – Modüller (Hareket ve elektrik)	1 (Testbed)	Gerçek evlerde denenmemiştir.
Gaikwad vd. [21]	2020	ABD	Araştırma	Güç sistemlerinin esnekliği açısından akıllı ev enerji sistemleri	Sensörler – Modüller (Hareket ve elektrik)	1 (Ev)	Tek bir konfigürasyonun testi yapılmıştır.
Kıvanç vd. [22]	2020	Türkiye	Araştırma	Konfor ve maliyetin göze alındığı bir akıllı ev enerji yönetim sistemi	Sensörler – Modüller (Hareket, ısı ve elektrik)	1 (Laboratuvar)	Sadece elektrik enerjisi yönetimi üzerinde durulmuştur.
Agarwal ve Ramamritham [23]	2020	Hindistan	Araştırma	Akıllı binalardaki enerji yönetimi için kullanılan sensörlerin minimize edilmesi	Sensörler – Modüller (Hareket ve elektrik)	1 (Sınıf)	Sensörlerin sayısı altıdan fazla olmalıdır.
Ahmad vd. [24]	2020	Pakistan	Araştırma	Gömülü nesnelerin interneti ile akıllı enerji yönetim sistemi tasarlamak	Sensörler – Modüller (Hareket, ısı ve elektrik)	1 (Ev)	Sadece elektrik enerjisi yönetimi üzerinde durulmuştur.
Prajwal ve Gupta [25]	2018	Hindistan	Derleme	Bulanık mantığın sürekli güç kaynağı için kullanıldığı bir akıllı ev enerji yönetim sistemi	Sensörler – Modüller (Hareket, ısı ve elektrik)	1 (Simülasyon)	Sadece simülasyonda denenmiştir.
George vd. [26]	2017	Hindistan	Araştırma	Binalarda enerji yönetimi için akıllı kişisel öğrenme sistemi geliştirmek	Sensörler – Modüller (Hareket, elektrik ve RFID)	3 (Kişi) - 1 (Ev)	Sadece elektrik enerjisi yönetimi üzerinde durulmuştur.

Tablo 1 (Devamı). Araştırma kapsamında incelenen çalışmalar

Çalışma	Yıl	Ülke	Türü	Konusu	Veri Toplama Araçları	Örneklem Büyüklüğü	Sınırlılıklar
Al-Ali vd. [27]	2017	Birleşik Arap Emirlikleri	Araştırma	Akıllı ev enerji yönetim sistemleri için nesnelerin interneti ve büyük veri kullanımı	Sensörler – Modüller (Elektrik)	1 (Laboratuvar)	Sadece laboratuvar ortamında denenmiştir. Gerçek ev senaryoları farklılık gösterebilir.
Yamini ve Babu [28]	2016	Güney Kore	Araştırma	Akıllı ev enerji yönetim sistemi tasarımı ve uygulaması	Sensörler – Modüller (Isı ve elektrik)	1 (Testbed)	Sadece testbed üzerinde denenmiştir. Gerçek ev senaryoları farklılık gösterebilir.
Korkua ve Thinsurat [29]	2013	Tayland	Derleme	Talebe duyarlı akıllı ev enerji yönetim sistemi için ZigBee tabanlı bir kablosuz sensör ağı tasarımı	Sensörler – Modüller (Isı ve elektrik)	1 (Ev)	Bazı senaryolarda elektrikten tasarruf edilememiştir.
Rokonuzaman vd. [30]	2021	Malezya	Araştırma	Nesnelerin internet ile uyumlu akıllı priz ve uygulamasının geliştirilmesi	Modüller (İletişim)	1 (Testbed)	Sadece testbed üzerinde denenmiştir. Gerçek ev senaryoları farklılık gösterebilir.
Shan vd. [31]	2022	Güney Kore	Araştırma	Akıllı binalarda boşa harcanan enerjinin önlenmesi	Sensörler (Hareket), Modüller (Düşük enerjili Bluetooth)	1 (Simülasyon)	Sadece simülasyonda test edilmiştir. Gerçek senaryolar farklılık gösterebilir.
Stolajescu-Crisan ve Gal [32]	2022	Romanya	Araştırma	Akıllı binalarda enerji yönetim ve izleme sistemi geliştirilmesi	Modüller (İletişim)	1 (Ev)	Sistem sadece elektrik enerjisinin takibini yapmaktadır.

Tablo 1 (Devamı). Araştırma kapsamında incelenen çalışmalar

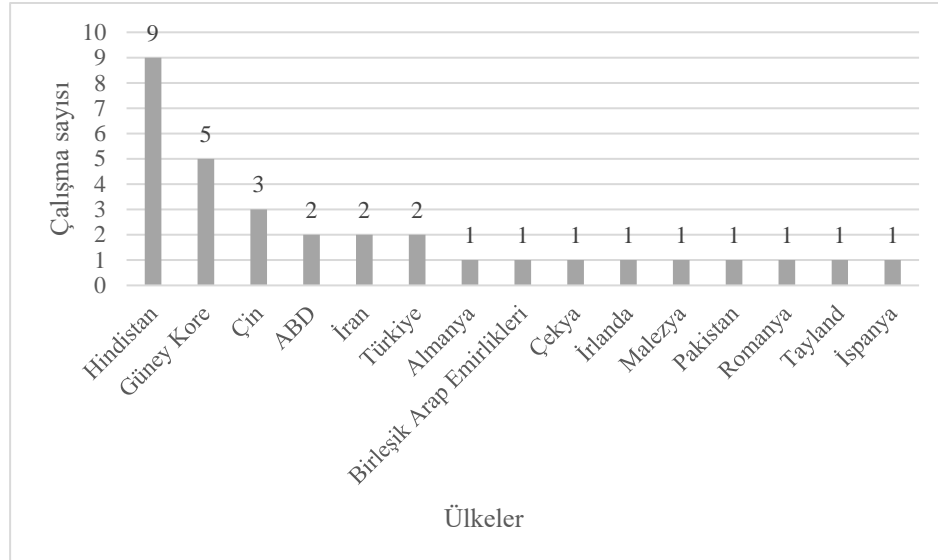
Çalışma	Yıl	Ülke	Türü	Konusu	Veri Toplama Araçları	Örneklem Büyüklüğü	Sınırlılıklar
Challa vd. [33]	2023	Hindistan	Araştırma	Sınıflarda boşa kullanılan elektrik enerjisinin önlenmesi	Modüller (İletişim, Sensörler (Kamera)	1 (Sınıf)	Sadece elektrik enerjisi yönetimi üzerinde durulmuştur.
Kumar vd. [34]	2023	Hindistan	Araştırma	Verimli bir ev enerji takip sisteminin geliştirilmesi	Modüller (İletişim), Sensörler (Elektrik)	1 (Simülasyon)	Sadece simülasyonda test edilmiştir. Gerçek senaryolar farklılık gösterebilir.
Zenginis vd. [35]	2022	İspanya	Araştırma	Akıllı evlerde güneş enerjisi ve CCHP sistemi yönetimi	Modüller (İletişim), Sensörler (Isı, Elektrik)	1 (Ev)	Farklı mevsimlerde farklı enerji kullanımları olabilmektedir.
Ma vd. [36]	2021	Çin	Araştırma	Akıllı evler için yapay zekâ destekli enerji yönetim sistemi geliştirilmesi	Modüller (İletişim), Sensörler (Isı, Elektrik)	10 (Ev)	Enerji tasarrufu oranı kullanıcı sayısına göre değişkenlik gösterebilmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Akıllı binalar için enerji yönetim sistemleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların büyük bir çoğunluğunun elektrik enerjisinin yönetimi üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Bu sonuçtan yararlanılarak ileride yapılacak bir çalışma ile enerji kaynağı olarak doğalgazın da yönetiminin yapılması, akıllı enerji sistemlerinin gelişmesine ve elektrik enerjisi dışında ısınma için gerekli doğalgaz enerjisinin akıllı bir şekilde yönetilebilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu konu ile ilgili ileride geliştirilebilecek sistemin yapay zekâ teknolojileri ile desteklenmesi ile farklı uygulama senaryolarını destekleyen ve çok daha esnek bir sistem olabileceği öngörülmektedir. Ayrıca bu konu ile ilgili YÖKTEZ platformunda az

sayıda çalışmaya rastlandığından, akıllı binalar için elektrik enerjisinin yanında doğalgaz enerjisini de kapsayan akıllı enerji yönetim sistemi tez çalışmalarının, literatüre önemli bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Çalışmaların ülkelere göre dağılımları Şekil 8’de verilmiştir. Çalışmaların ülkelere göre dağılımları incelendiğinde, en çok çalışmanın incelenen 30 çalışmadan dokuzunun Hindistan’da gerçekleştirildiği görülmüştür. Buna ek olarak Hindistan’ı yakın olarak beş çalışma ile Güney Kore takip etmektedir. Bu sonuca bakarak bu ülkelerdeki araştırmacıların akıllı binalarda enerji yönetim sistemleri konularına daha fazla önem verdiği ve bu konularda daha fazla araştırma yaptığı söylenebilmektedir.



Şekil 8. Çalışmaların ülkelere göre dağılımları

Çalışmada kullanılan veri toplama araçları incelendiğinde, büyük bir çoğunlukla modüller ve sensörler kullanıldığı görülmüştür. Gerçekleştirilen akıllı enerji yönetim sistemlerinde, kullanılan modüller ve sensörler ile nesnelerin interneti kapsamında elde edilen veriler yardımıyla yönetim yapıldığı görülmüştür.

Çalışmaların sınırlılıkları incelendiğinde; en çok rastlanılan durumun, geliştirilen sistemlerin gerçek ortamlarda denenmemiş olması olduğu görülmüştür. Bu sonuç göz önünde bulundurulduğunda, gelecek çalışmaların gerçek ortamlarda test edilmesi ile birlikte gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda, literatür taraması için kullanılan anahtar kelimelerin farklılaştırılması ile akıllı binalar alanında daha kapsamlı bir araştırma yapılabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Sefa Özbek. "Panel Veri Yöntemi ile Seçilmiş Ülke Ekonomilerinde Fosil Yakıt Talebinin İncelenmesi." Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 30(1), 113-131, 2023.
- [2] Our World in Data. Global fossil fuel consumption. <https://ourworldindata.org/fossil-fuels>. Yayın tarihi 2022. Erişim Tarihi Mayıs 30, 2023.
- [3] Kinza Shafique, Bilal A. Khawaja, Farah Sabir, Sameer Qazi & Muhammad Mustaqim. "Internet of Things (IoT) for Next-Generation Smart Systems: A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for Emerging 5G-IoT Scenarios". IEEE Access, 8, ss. 23022-23040, IEEE, 2020.
- [4] Vasif Vagifoğlu Nabiyev. "Yapay zeka: insan-bilgisayar etkileşimi". Seçkin Yayıncılık, 2012.
- [5] Dae-Man Han ve Jae-Hyun Lim. "Smart home energy management system using IEEE 802.15. 4 and zigbee." IEEE Transactions on Consumer Electronics, 56.3, ss. 1403-1410, 2010.
- [6] Farid Fermani, Mehdi Parvizimosaed, Hassan Monsef ve Ashkan Rahimi-Kian "A conceptual model of a smart energy management system for a residential building equipped with CCHP system.", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 95, ss. 523-536, 2018.
- [7] Jinsoo Han, Chang-sic Choi, Wan-ki Park, Ilwoo Lee ve Sang-ha Kim. "Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC.", IEEE Transactions on Consumer Electronics, 60.2, ss. 198-202, 2014.
- [8] Bin Zhou, Wentao Li, Kaw Wing Chan, Yijia Cao, Yonghong Kuang, Xi Liu ve Xiong Wang. "Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies.", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 61, ss. 30-40 2016.

- [9] Amjad Anvari-Moghaddam, Hassan Monsef ve Ashkan Rahimi-Kian. "Optimal smart home energy management considering energy saving and a comfortable lifestyle.", IEEE Transactions on Smart Grid, 6.1, ss. 324-332, 2014.
- [10] U. Ramani, T. Santhoshkumar ve M. Thilagaraj. "IoT based energy management for smart home.", 2019 2nd International conference on power and embedded drive control (ICPEDC), ss. 533-536, IEEE, 2019.
- [11] Jan Michael, Christian Henke ve Ansgar Trächtler. "Decentralized Energy Management for Smart Home System of Systems.", IEEE International Systems Conference (SysCon), IEEE, 2019.
- [12] J. Ashley Jenifer, T. Sivachandrabanu ve A. Darwin Jose Raju. "Automation and energy management of smart home using LabVIEW.", International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), ss. 845-849, IEEE, 2016.
- [13] Aqeel H. Kazmi, Michael J. OGrady ve Gregory M. P. OHare. "Energy management in the smart home.", IEEE 10th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing ve IEEE 10th International Conference on Autonomic and Trusted Computing, ss. 480-486, IEEE, 2013.
- [14] Zhaoguang Pan, Hongbin Sun ve Qinglai Guo. "TOU-based optimal energy management for smart home.", IEEE PES ISGT Europe, ss. 1-5, IEEE, 2013.
- [15] Jan Vanus, Zdenek Machacek, Jiri Koziorek, Wojciech Walendziuk, Vaclav Kolar ve Zdenek Jaron. "Advanced energy management system in Smart Home Care.", International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 52.1-2, ss. 517-524, 2016.
- [16] Murad Khan, Muhammad Toaha Raza Khan, Malik Muhammad Saad ve Dongkyun Kim. "A User Profile-based Smart Home Energy Management System.", International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), ss. 646-651, IEEE, 2020.
- [17] Anand Kumar, Rahul Singh, Yiqin Cai ve Santiago Grijalva. "Smart Home Energy Management System With Optimal Source Selection in a Real-Time Pricing Environment.", IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), ss.1-6, IEEE, 2020.

- [18] Adam Zipperer, Patricia A. Aloise-Young, Siddharth Suryanarayanan, Robin Roche, Lieko Earle, Dane Christensen, Pablo Bauleo ve Daniel Zimmerle. "Electric energy management in the smart home: Perspectives on enabling technologies and consumer behavior.", Proceedings of the IEEE 101.11, ss. 2397-2408, 2013.
- [19] Vignesh Mani, Gunasekhar Abhilash, ve Suresh Lavanya. "Iot based smart energy management system.", International Journal of Applied Engineering Research, 12.16, ss. 5455-5462, 2017.
- [20] Saman Hasan Abdalla, "Energy management system for smart home,", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Türkiye, 2019.
- [21] Ninad Gaikwad, Naren Srivaths Raman ve Prabir Barooah. "Smart home energy management system for power system resiliency.", IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA), ss. 1072-1079, IEEE, 2020.
- [22] Ömer Cihan Kıvanç, Bekir Tefvik Akgün, Semih Bilgen, Salih Barış Öztürk, Suat Baysan ve Ramazan Nejat Tuncay. "Designing a smart home energy management system to improve cost/comfort factor.", 12th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), ss. 44-48, IEEE, 2020.
- [23] Anshul Agarwal ve Krithi Ramamritham. "Sensor Minimization for Energy Management in Smart Buildings.", IEEE First International Conference on Smart Technologies for Power, Energy and Control (STPEC), ss. 1-6, IEEE, 2020.
- [24] Zara Ahmad, Misbah Hassan Abbasi, Aabshar Khan, Ibsan Seith Mall, Muhammad Faisal Nadeem Khan ve Intisar Ali Sajjad. "Design of IoT embedded smart energy management system.", International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET), ss. 1-5, IEEE, 2020.
- [25] K. T. Prajwal ve V. S. N. V. Sitaram Gupta. "Smart home energy management system using fuzzy logic for continuous power supply with economic utilisation of electrical energy.", 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), ss. 274-279, IEEE, 2018.

- [26] Sweatha Rachel George, Aryadevi Remanidevi Devidas ve Maneesha Vinodini Ramesh. "Smart personalized learning system for energy management in buildings.", International Conference on Computation of Power, Energy Information and Commuincation (ICCPEIC), ss. 36-42, IEEE, 2017.
- [27] Abdul-Rahman Al-Ali, Imran A. Zualkernan, Mohammed Rashid, Rahini Gupta ve Mazin Alikarar. "A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach." IEEE Transactions on Consumer Electronics, 63.4, ss. 426-434, 2017.
- [28] J. Yamini ve Y. Ratna Babu. "Design and implementation of smart home energy management system." 2016 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), ss. 1-4, IEEE, 2016.
- [29] Suratsavadee K. Korkua ve Kamon Thinsurat. "Design of ZigBee based WSN for smart demand responsive home energy management system.", 13th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), ss. 549-554, IEEE, 2013.
- [30] Mohammad Rokouzzaman, Mahmuda Khatun Mishu, Mohammad Raishul Islam, Mohammad Imran Hossain, Mohammad Shakeri ve Nowshad Amin. "Design and Implementation of an IoT-Enabled Smart Plug Socket for Home Energy Management", 5th International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC), ss. 50-54, IEEE, 2021
- [31] Gaoyang Shan, Hojin Lee ve Byeong-hee Roh." Indoor Localization-based Energy Management for Smart Home", IEEE PES 14th Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), IEEE, ss. 1-5, 2022.
- [32] Cristina Stolojescu-Crisan ve Janos Gal. "A Home Energy Management System", 2022 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), ss. 1-4, IEEE, 2022.
- [33] Manoj Challa, Kumbham Shreya Reddy, Merin Jacob ve Nikita S. Varna. "Smart Energy Management in Classroom using IoT", 2023 International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things (IDCIoT), ss. 81-83, IEEE, 2023

- [34] Gautam Kumar, Lalit Kumar ve Sanjay Kumar. “Multi-objective control-based home energy management system with smart energy meter.”, *Electrical Engineering*, ss.1-11, 2023.
- [35] Ioannis Zenginis, John Vardakas, Nikolas E. Koltakis ve Christos Verikoukis. “Smart Home's Energy Management Through a Clustering-Based Reinforcement Learning Approach”, *IEEE Internet of Things Journal*, 9 (17), ss. 16363-16371, 2022.
- [36] Yunlong Ma, Xiao Chen, Liming Wang ve Jianlan Yang. “Study on Smart Home Energy Management System Based on Artificial Intelligence”, *Journal of Sensors*, ss. 1-9, 2021.