
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

MEVCUT GELENEKSEL BİNALARIN AKILLI BİNA SİSTEMLERİNE DÖNÜŞÜMÜNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ KAPSAMINDA FAYDA MALİYET ANALİZİ

Usame Tarık NAMLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞUSTOS 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Usame Tarık NAMLI

16/08/2022

MEVCUT GELENEKSEL BİNALARIN AKILLI BİNA SİSTEMLERİNE DÖNÜŞÜMÜNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ KAPSAMINDA FAYDA MALİYET ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Usame Tarık NAMLI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2022

ÖZET

Enerji krizlerinin yaşandığı ve enerji maliyetlerinin arttığı günümüzde, enerji tüketiminde büyük payı bulunan konutlarda kullanılan enerjinin verimliliği konusu önem kazanmaktadır. Ancak mevcut konutların büyük çoğunluğu, teknolojik donanımlardan yoksun geleneksek binalardan oluşmaktadır. Günümüzde ise akıllı bina teknolojileri, oldukça büyük bir ivme ile gelişim göstermektedir. Her nekadar inşa edilen yeni binalar bir takım akıllı bina eklentileri barındırsa da mevcut geleneksel binalarda yaşam, bu teknolojilerden yoksun ve fazla enerji tüketilerek devam etmektedir. Bu bağlamda akıllı binalar inşa etmenin yanı sıra mevcut geleneksel binaların akıllı teknoloji eklentileriyle dönüştürülmesi ile enerji tüketimleri azaltılacak ve konfor şartları artırılacaktır. Bu çalışmada enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla akıllı bina sistemleri detaylı olarak incelenmiş, bu sistemlerin enerji verimliliğine olan katkıları değerlendirilmiş ve mevcut geleneksel binaların akıllı binalara dönüşümünde maliyet ve fayda analizleri yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlar sayesinde mevcut geleneksel binaların akıllı binalara dönüştürülmesinin, enerji verimliliği sağladığı ve enerji tüketim bedellerini düşürdüğü, buna ek olarak konfor ve güvenlik koşullarını iyileştirdiği sonuçlarına varılmıştır.

Bilim Kodu : 91129
Anahtar Kelimeler : Akıllı binalar, akıllı bina teknolojileri, enerji, enerji verimliliği
Sayfa Adedi : 75
Danışman : Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU

COST BENEFIT ANALYSIS WITHIN THE CONTEXT OF ENERGY EFFICIENCY FOR THE TRANSFORMATION OF EXISTING TRADITIONAL BUILDINGS TO SMART BUILDING SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Usame Tarık NAMLI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2022

ABSTRACT

In today's world, where energy crises are experienced and energy costs increase, the issue of energy efficiency used in residences, which has a large share in energy consumption, gains importance. However, the majority of existing residences consist of traditional buildings lacking technological equipment. Today, smart building technologies are developing with a great acceleration. Although the newly constructed buildings contain some smart building add-ons, life in existing traditional buildings continues without these technologies and with excessive energy consumption. In this context, in addition to constructing smart buildings, energy consumption will be reduced and comfort conditions will be increased by transforming existing traditional buildings with smart technology add-ons. In this study, smart building systems have been examined in detail in order to ensure energy efficiency, the contribution of these systems to energy efficiency has been evaluated, and cost and benefit analyses have been made in the transformation of existing traditional buildings into smart buildings. Thanks to the results, it was concluded that the conversion of existing traditional buildings into smart buildings provides energy efficiency, reduces energy consumption costs, and improves comfort and safety conditions.

Science Code : 91129
Key Words : Smart buildings, smart building technologies, energy, energy efficiency
Page Number : 75
Supervisor : Prof. Dr. Salih YAZICIOGLU

TEŞEKKÜR

Tez yazımına başladığım günden itibaren desteğini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU'na, Prof. Dr. Yılmaz ARUNTAŞ'a ve Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN'e teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitimim boyunca beni motive eden, destek veren ve zaman zaman ihmal ettiğim başta babam İhsan Yalçın NAMLI olmak üzere, NAMLI ailesinin bütün fertlerine minnet duygularımla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

RESİMLERİN LİSTESİ xi

SİMGELER VE KISALTMALAR xiii

1. GİRİŞ 1

2. AKILLI BİNALAR 7

2.1. Akıllı Bina Kavramı 7

2.2. Akıllı Binaların Tarihsel Gelişimi 9

2.3. Akıllı Binaların Küresel ve Ulusal Kullanım Yoğunlukları 13

2.4. Akıllı Binaların ‘Akıllılık’ Kapsamında İşlevleri ve Kazanımları 14

2.5. Akıllı Bina Değerlendirme Yöntemleri 14

2.6. Akıllı Bina Sistemlerinin Sınıflandırılması 16

3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ SİSTEMLERİ 21

3.1. İklimlendirme Sistemleri (HVAC) 22

3.2. Aydınlatma Sistemleri 25

3.2.1. Aydınlatma verimliliği 28

3.2.2. Aydınlatma otomasyonu sistem elemanları 30

3.3. Pencere Gölgeleme Sistemleri 31

3.4. Pencere Açma Kapatma Sistemleri 33

3.5. Enerji ve Veri Yönetim Sistemleri 34

Sayfa

3.6. Asansör Sistemleri 37

3.7. Su Vana Armatür Sistemleri 38

4. MEVCUT GELENEKSEL BİNALARIN AKILLI BİNALARA DÖNÜŞÜMÜ 39

4.1. Sistemin İşleyişi 40

4.2. Akıllı İklimlendirme Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması 41

4.3. Akıllı Aydınlatma Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması 43

4.4. Akıllı Pencere Gölgeleme Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması 47

4.5. Akıllı Pencere Açma Kapatma Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması 49

4.6. Enerji Yönetim Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması 50

4.7. Akıllı Su Vana Armatür Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması 51

5. MALİYET VE FAYDA ANALİZİ 53

5.1. Akıllı İklimlendirme Sistemlerinin Maliyet ve Fayda Analizi 54

5.2. Akıllı Aydınlatma Sistemlerinin Maliyet ve Fayda Analizi 56

5.3. Akıllı Pencere Gölgeleme Sistemlerinin Maliyet Analizi 57

5.4. Akıllı Pencere Açma Kapatma Sistemlerinin Maliyet Analizi 58

5.5. Akıllı Pencere Açma Kapatma ve Gölgeleme Sistemlerinin Fayda Analizi 58

5.6. Enerji Yönetim Sistemlerinin Maliyet ve Fayda Analizi 59

5.7. Akıllı Su Vana Armatür Sistemlerinin Maliyet ve Fayda Analizi 61

5.8. Bütün Sistemin Maliyet ve Fayda Analizi 62

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 63

KAYNAKLAR 67

ÖZGEÇMİŞ 75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Akıllı binaların gelişim süreci 11

Çizelge 2.2. Akıllı bina değerlendirme yöntemlerinin hiyerarşik gelişiminin bir özeti 15

Çizelge 3.1. En az aydınlık düzeyi çizelgesi (EN12464-1) 26

Çizelge 5.1. Yapılan otomasyon türüne göre enerji kazanımları 53

Çizelge 5.2. Akıllı sistemlerin enerji kazanımları 53

Çizelge 5.3. Akıllı ısıtma sistemlerinin maliyet ve fayda analiz çizelgesi 54

Çizelge 5.4. 246 m^3 harcama yapan sistem için örnek karlılık gösterimi 55

Çizelge 5.5. Akıllı aydınlatma sistemlerinin maliyet ve fayda analiz çizelgesi 56

Çizelge 5.6. 300 W'lık sistem için örnek karlılık gösterimi 57

Çizelge 5.7. Akıllı pencere gölgeleme sistemlerinin maliyet ve fayda analiz çizelgesi 57

Çizelge 5.8. Akıllı pencere açma kapatma sistemlerinin maliyet ve fayda analiz çizelgesi 58

Çizelge 5.9. 640 W'lık sistem için örnek karlılık gösterimi 59

Çizelge 5.10. Enerji yönetim sistemlerinin sistemlerinin maliyet ve fayda analiz çizelgesi 59

Çizelge 5.11. 650 W'lık sistem için örnek karlılık gösterimi 60

Çizelge 5.12. Akıllı su vana armatür sistemlerinin maliyet çizelgesi 61

Çizelge 5.13. 9 m^3'lük sistem için örnek karlılık gösterimi 62

Çizelge 5.14. Bütün sistemin maliyet ve fayda analiz çizelgesi 62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. HVAC sistem fonksiyonları 22

Şekil 3.2. HVAC şeması 25

Şekil 3.3. Aydınlatma otomasyonu sistemiyle oluşabilecek enerji tasarrufu 29

Şekil 3.4. Örnek konut aydınlatma armatürlerinin gösterim çizimi..... 31

Şekil 3.5. Örnek konut aydınlatma armatürlerinin gösterimi 31

Şekil 6.1. Tüm sistemler için maliyet dağılımı 64

Şekil 6.2. Tüm sistemler için amortisman süreleri 64

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. İlk akıllı bina city place 10

Resim 2.2. İlk akıllı binanın kesiti 10

Resim 3.1. Sıcaklık ve nem sensörü 24

Resim 3.2. Klasik elektrik tesisatı sembolik görünüm 27

Resim 3.3. Otomasyon sistemine bağlı elektrik tesisatı sembolik görünüm 28

Resim 3.4. Pencere gölgeleme sistemi 32

Resim 3.5. Pencere otomasyon sistemleri 34

Resim 3.6. Enerji veri yönetim sistemi mobil uygulama 35

Resim 3.7. Enerji veri yönetim sistem şeması 36

Resim 4.1. Akıllı konut sistemleri 39

Resim 4.2. Baz alınan proje konutu için kat planı 40

Resim 4.3. Sistemin işleyişi 41

Resim 4.4. Akıllı valf 42

Resim 4.5. NodeMCU mikroişlemci kartı 42

Resim 4.6. Akıllı termostat 43

Resim 4.7. Örnek bir aydınlatma otomasyonu 44

Resim 4.8. 220 volt aydınlatma devresi 44

Resim 4.9. Ara devre elemanları eklenmiş devre 45

Resim 4.10. Devrenin prize monte edilmiş biçimi 45

Resim 4.11. Akıllı priz genel yapısı 46

Resim 4.12. Akıllı priz 47

Resim 4.13. Step motor 47

Resim 4.14. Aluminyum profil 48

Resim 4.15. Tente 48

Resim 4.16. Akıllı pencere açma kapatma sistemi 49

Resim **Sayfa**

Resim 4.17. Enerji yönetim sistemi 50

Resim 4.18. Akıllı su vana armatürü 51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
m^3	Metreküp
V	Volt

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
HVAC	Heating, ventilation, and air conditioning (İklimlendirme Sistemleri)
vb.	Ve benzeri

1. GİRİŞ

İnsanın yaşamında metabolik ve çevresel olarak hayatının devamlılığını sağlayacak önemli ihtiyaçlardan biri enerjidir. Dünya üzerindeki bütün kaynaklar sınırlı şartlara sahip ve belirli döngülerle var olmaktadır. Fakat insanlar bu sınırlı kaynakları bu zamana kadar bilinçsizce tüketmiş ve insanlığı tehdit eden sonuçların doğmasına sebebiyet vermiştir.

Günümüzde sıkça duyduğumuz küresel ısınma, belirli bölgelerdeki su kaynaklarının tükenmesi, havadaki oksijen oranının azalması ve topraktaki azot dengesinin bozulması, bilinçsizliğin ve nüfus artışının neticesinde elde edilmiş sonuçlardır.

Bu sonuçlar, ekolojik dengenin devamlılığını ve enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak adına, daha tasarruflu ve daha verimli kullanım sağlayan akıllı sistemlerin gerekliliğini gündeme getirmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde ise enerji tüketiminin %40'ının binalara ait olduğu sonucuna varılmış olup, bu binalar kapsamına evler, fabrikalar, ticaret ve hükümet binaları, mağazalar ve hastaneler girmektedir (Benavente Peces, 2019). Verimsiz tüketim alışkanlıkları, iklimlendirme, havalandırma, sıcak su temini, aydınlatma gibi ihtiyaçlar sebebiyle binalardaki enerji tüketimi diğer sektörlere göre daha fazladır. Öte yandan, son yıllarda yapılaşmada meydana gelen artışla birlikte binaların enerji tüketimindeki payı giderek artmakta ve bu payı azaltacak yöntemlerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır (Kaplan, 2018: 12-13).

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de tüketilen toplam enerjinin önemli bir kısmı binalarda ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır (Çolak, 2010). Binalarda günden güne artan enerji kullanımı ile çevreye verilen zarar da sürekli olarak artmaktadır. Bu durum binalarda enerji tasarrufunun önemini göstermektedir (Kayın, 2019: 1).

Öte yandan enerji tasarrufu amacıyla ortaya konulan teknolojik gelişmeler, ekolojik devamlılığa destek sağlamanın yanında, konut sakinleri için güvenlik ve konfor değerlerini de artırmaktadır (Uçkun, 2017: 9-11). Bu amaçla birçok yeni elektromekanik cihaz konutlara entegre edilmekte ve bu sayede ortam koşulları sürekli kontrol altında tutulmaktadır. Bu

cihazlar deprem, yangın, duman vs tehlikelere karşı hızla uyarılarda bulunarak, hatta bazı ekipmanlarla müdahale ederek güvenlik faktörlerini arttırabilmektedir. Aynı zamanda konut içerisinde kimse olmadığı zaman veya konut sakinleri uyku halinde iken bile, konutun genel sıcaklık, oksijen gibi yaşamı etkileyen değerlerini sürekli kontrol edebilmekte ve gereksiz tüketimi azaltarak enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Bu sonuçların akıllı bina eklentilerinin önemine ve gerekliliğine işaret etmesi ile yeni yapılan binalarda teknolojik altyapıların kullanımındaki artış sürmektedir.

Her nekadar inşa edilen yeni binalar bir takım akıllı bina eklentileri barındırsa da mevcut geleneksel binalarda yaşam, bu teknolojilerden yoksun ve fazla enerji tüketilerek devam etmektedir. Ekonomik ömrünü tamamlayana kadar eski teknolojiler ile işletileceği düşünülen geleneksel binaların, enerji tüketimindeki payı oransal üstünlüğünü bir süre daha koruyacaktır. Bu bağlamda, akıllı binalar inşa etmenin yanı sıra mevcut geleneksel binaların akıllı teknoloji eklentileriyle dönüştürülmesi ile enerji tüketimleri azaltılması ve aynı zamanda konfor şartlarının iyileştirilmesi husususları önem kazanmaktadır.

Çalışmanın amacı

Enerji tüketimi ile birlikte dünya, yerkürenin ısınması gibi önemli çevresel sorunlarla karşılaşmaktadır. Sağlıksal, çevresel ve ekonomik sebeplerle birçok çeşitli proje geliştirilmektedir. Geliştirilen bu projelerle birlikte, endüstriyel strateji planlaması gün geçtikçe daha çok önem arz etmektedir (Cedeño-Laurent, 2018). Bu strateji planlamasının en önemli sacayaklarından birisi de enerjidir.

Türkiye'de kullanılan toplam enerjinin %37'si binalarda kullanılmaktadır (Yılmaz, 2005: 338). Aynı zamanda yapılan çalışmalarda akıllı ve enerji etkin binaların ilk yatırım maliyetinin geleneksel binalara göre yüksek olmasına rağmen büyük oranda enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür (Atılgan ve Bayar, 2015).

Ülkemizde 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile binalar için enerji kimlik belgesi alma zorunluluğu getirilmiştir (T.C. Resmi Gazete, 2007). Akabinde mevcut geleneksel binalarda bir süreç dâhilinde, dış cephe matolama uygulaması başta olmak üzere bir takım tedbirler alınmak zorunda kalınmıştır. Alınan bu tedbirler, mevcut binaların dönüştürülmesi ile yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanacağını göstermiş

olup, yakın zamanda enerji verimliliği başlığı altında bir takım başkaca tedbirler alınması ihtimal dahilinde görülmektedir.

Bu çalışmada, yukarıda zikredilen dönüşüm süreci ve akabinde elde edilen enerji verimliliği örneğinde olduğu gibi, yapı stoğunun büyük çoğunluğunu oluşturan mevcut geleneksel binaların akıllı bina teknolojileri ile dönüştürülmesi konusu araştırılacaktır.

Akıllı bina teknolojileri ile işletilmek üzere tasarlanan yeni binaların yanı sıra mevcut geleneksel binaların da bir takım akıllı teknolojiler ile dönüştürülmesi, bu vesile ile enerji tasarrufuna katkı sağlaması amaçlamaktadır.

Bu doğrultuda akıllı bina sistemleri incelenecek, bu sistemlerin enerji verimliliğine katkı sağlayan elemanları detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Bu elemanların enerji verimliliğine sunduğu katkılar değerlendirilecek ve mevcut geleneksel binaların akıllı binalara dönüşümünde maliyet ve fayda analizleri yapılacaktır.

Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile pratikte dönüşüm gerçekleştirmek isteyen kişilerin mevcut dönüşümde karşılaşacağı maliyet ve elde edeceği fayda hakkında fikir sahibi olması ve karar verme aşamasına katkı sunulması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın yöntemi

Akıllı bina sistemleri kullanıcılar için bir takım menfaatler sağlarken, belirli ilk yatırım maliyetleri doğurmaktadır. Bu maliyetler sistemlerin entegrasyonundan önce hesaplanır. Maliyetleri doğrudan etkileyen sistem kapasiteleri ve ortalama verimlilik değerleri, sistemlerin teknik verileri ve daha önceden yapılan uygulamalar vasıtasıyla belirlenebilmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar ortalama tasarruf değerlerini elde etmemizi sağlamakta ve bu öngörü sektörel anlamda fikirler vermektedir.

Bina işletme maliyetlerinin düşürülebilmesi için henüz tasarım aşamasındayken bilgisayar simülasyonlarının kullanılması yoluyla bina performansının yüksek oranda iyileştirilmesi mümkün olabilmektedir (Dadashi-Rad, Ghasemi-Marzbali ve Ahangar, 2020; Oğuz, 2007).

Mesela bir çalışma sonucunda, "…Aydınlatmada, gereksiz ışıkların kapatılması, cihazların kullanım yeri, ucuz tarife zamanlarına göre programlama ile elektrik enerji tüketimi % 15-

40 oranında azalabilir. Eğer aydınlatma armatürleri doğru seçilirse bu oran % 75' e çıkabilir. Armatürleri tam parlaklıkları yerine % 90 parlaklıkta kullanarak, ampullerin ömrünü iki katına çıkarmakla beraber enerji tüketimleri % 30 oranında azaltabilir…." sonucu elde edilmiştir (Aslan, 2014: 13-15). Bu değerler de sistem tasarımı için gereklidir.

Binaların kullanım amaçlarına göre tüketim profilleri değişmektedir. Dolayısıyla akıllı sistem entegrasyonlarında tüketim profilleri de göz önünde bulundurularak çözümler üretilmelidir (Al Dakheel, Del Pero, Aste ve Leonforte, 2020). İşlevini uygun olarak yerine getirebilmesi için akıllı sistemler uygulanacağı bina ve kullanım amaçlarına göre seçilmelidir. Bu bağlamda dönüşüm planlanan yapıların kullanım amaçları, tüketim değerleri, bulunduğu coğrafi bölge önem kazanmaktadır.

Yapılan bir çalışmaya göre ofis, ticari ve eğitim yapılarındaki tüketim yüzdeleri arasındaki farklılıklar kullanım amacının ve iklim faktörlerinin tüketim değerleri üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Örneğin gündüz süresinin uzun olduğu yerlerde aydınlatma tüketimi düşerken, ılıman iklim yaşanan bölgelerde ısıtma değerleri düşebilmektedir (Brotas, Roaf ve Nicol, 2017a).

Akıllı bina sistemleri kapsamında yapılan entegrasyonlar, montaj akabinde verimlilik yönünden analiz edilmelidir. Akıllı olmayan bir eve sonradan eklenen akıllı sistemlerin analizini, tüketim verilerini kıyaslayarak kolaylıkla yapılabilmektedir. Fakat sıfırından akıllı sistemler eklenerek inşa edilen binalarda enerji verimliliği ve tasarruf değerleri de akıllı sistemler tarafından ölçülmekte ve analiz edilebilmektedir (Gündüz, 2015; Karadişanoğulları, 2013). Enerji ve veri yönetim sistemleri bu noktada aktif rol oynamaktadır. Ölçüm süreleri de belirli bir süreyi kapsamalıdır. "Binanın enerji tasarruflu bir şekilde çalışmakta olan sisteminin inşaat sonrası en az 1 yıllık bir sürede Uluslararası Performans Ölçüm ve Doğrulama Protokolü kapsamında kontrol edilerek, denetlenmesi değerlendirilmektedir." (Diker, 2016; Sarıkaya, 2016; Irak, 2019).

Bu bağlamda, İstanbul'da bulunan ve dört kişinin ikamet ettiği geleneksel dairenin kat planı çıkarılacak ve bu daire örneğinde gerçekleştirilecek dönüşüm parametreleri belirlenecek, akabinde bu dönüşümlerin fayda/maliyet hesapları yapılacaktır.

Öte yandan enerji verimliliği birinci öncelik gibi görünse de binaların konforu da kişiler için rahat, güvenli ve sağlıklı bir yaşam alanı oluşturmak için oldukça önemli olmasından hareketle, akıllı sistemlerin sunduğu ikincil katkılara da değinilecektir

2. AKILLI BİNALAR

2.1. Akıllı Bina Kavramı

Akıllı bina kavramı ilk olarak Akıllı Bina Enstitüsü (IBI) tarafından yapılmış olup tanımlama şu şekildedir: Bir akıllı bina, dört temel elemanın, strüktür, sistemler, servisler ve yönetimin optimizasyonu ile verimli ve maliyet etkin bir çevre sağlamalı ve bu dört elemanın birbirleri arasındaki ilişki ile gerçekleştirilir. Akıllı binalar, bina sahiplerine, bina yöneticilerine ve kullanıcılarına, maliyet, enerji yönetimi, konfor, güvenlik, uzun süreli esneklik ve görsellik konularında hedeflerini gerçekleştirmelerini sağlamaktadır (Çetinkaya, 2016).

İngiltere merkezli Avrupa Akıllı Bina Grubu'nun tanımlamasında ise akıllı bina kavramını, "binada yaşayanların etkinliğini artıran bir ortam oluştururken en az donanım ve en düşük tesis maliyeti ile kaynakların verimliliğini sağlayan bina" olarak tanımlamıştır (Kara, 2017).

1985 yılında Toronto'da düzenlenen bir sempozyumda şu şekilde bir tanımlama yapılmıştır: "Bir bina yenilikçi, teknolojik veya değil ama akılcı, yetenekli bir yönetim içeren ve ilk yatırım maliyetlerini maksimum düzeyde geri dönüştürebilen özellikler içermelidir." (Dayangaç, 2005; Yüksek ve Esin, 2009).

Singapur kamu işlerinin departmanına göre bir binanın akıllı bina olarak tanımlanabilmesi için gerekli koşullar,

- İleri teknoloji otomasyon sistemlerini barındırması,
- İyi bir ağ altyapısına sahip olması,
- Gerekli düzeyde telekomünikasyon tesislerini barındırması (Kara, 2017),

şeklinde tanımlanmıştır (Kara, 2017; Parlak, 2020).

Bir başka tanımlama ise "Değişen günümüz şartlarında, yapılar teknolojik aparatlarla donatılmış, kolay kontrol ve müdahale edilebilir, sürdürülebilir bir yaşam alanı tesis edilebilir duruma gelmiştir. Otomasyon sistemleri ile donatılmış, kontrol edilebilir, kişilerin taleplerine karşılık verebilen, konforlu ve enerji tasarrufu sunan binalara akıllı bina denir" şeklindedir (Baknalı, 2019; Üstündağ, 1999).

Japonya‟da akıllı binalar tasarlanırken dikkat edilmesi gereken dört başlık şu şekilde sıralanmıştır:

- Merkezi görev yönetimi,
- Kullanıcının konforu,
- Bina yönetimi,
- Öğrenebilme yeteneği (Duzelbayev, 2009; Kara, 2017).

Amerika Birleşik Devletleri Akıllı Binalar Enstitüsü tarafından yapılan tanımlamada ise "Akıllı bir bina üretken ve az masraflı bir ortamı, ortamın dört temel unsurunu en iyiye çıkararak sağlar. Bu unsurlar, yapılar, servisler ve işletme ile bunların birbiriyle ilişkisidir. Bütün akıllı binaların sahip olması gereken tek özellik, uygun ve az masraflı bir şekilde değişime maruz kalabilecek bir yapı tasarlamasıdır." şeklinde bahsetmiştir (Kılıçaslan, 2010: 109).

Stephen McClelland, "Akıllı binalar kaynakların ve servislerin yürütülmesini hazır hale getirmek için, işletme kontrolü ve veri iletişim teknolojisini bünyesine entegre etmiş binalara verilen addır." demektedir (Kılıçaslan, 2010: 109).

Türkiye'de bazı tanımlamalardan bahsetmek gerekirse; Yük.Mimar Doğan TEKELİ'nin akıllı binalar hakkında, "Bir karar alabilme ve duruma uyma yeteneği.", Mimar Mehmet KONURALP binalarda akıllılık hakkında, "Edinilmiş programa göre veya yüklenmiş performans yardımı almadan kendiliğinden yapmaktır.", Mimar Ertan ANIL'a göre, "Binanın kendi kendine bir müdahale gerektirmeden, olağan çalışmasını sürdürebilme yeteneği.", Yük.Mimar Mühendis Cengiz BEKTAŞ, akıllı binaları "Kirletmeyen, aynı zamanda kirletmenin bedelini de ödeten yapı" olarak tanımlamıştır (Çizer, 2015: 1253-1264; Kara, 2017: 21-23).

Akıllı binalar için tek bir tanım yapmak çok olası durmamaktadır. Akıllı binaların değişen şartlara göre farklı cevaplar vermesi beklenebilmektedir. Örneğin normal bir ofis binası veya bir laboratuvar için beklenen ısıl şartlar farklıdır. Ancak ikisinde de akıllı bina teknolojileri hava şartlandırması yapılmaktadır (Mashayekhi ve Heravi, 2020; Patton, 2016). Bu şekilde gündelik hayattan birçok örnek verilebilmektedir. Aynı şekilde farklı kültürler bile farklı gündelik alışkanlıklar barındırmakta ve insanlar akıllı sistemlerden bu isteklerine dair

taleplerde bulunmaktadırlar (Mangan, 2006). Özellikle akıllı öğrenme alanındaki gelişmeler ile kullanıcılar akıllı sistemlerin çözümlemeler yapabilmesini de talep etmektedir. Bu şekilde akıllı bina sistemleri kullanıcıların genel isteklerine göre bilgi toplayarak, kullanıcı profillerine kararlar vermekte ve bu şekilde kişilere özel çözümlemeler sunabilmektedir.

Bütün bu veriler ışığında akıllı binalar daha genel ve kapsamlı olarak şu şekilde tanımlanabilir: Akıllı binalar ihtiyaçlar doğrultusunda istenilen koşullarda ortamları oluşturan, bu şartları muhafaza eden, sürekli olarak güvenlik faktörlerini gözeten ve geri bildirimler yapabilen binalardır (Orhan ve Kaya, 2016).

Modern akıllı binalar, tasarım safhasından kullanıma kadar çok çeşitli sistemler ile bunların tasarım ve üretimini üstlenen disiplinleri koordineli şekilde bir araya getirmektedir. Güvenlik, yangın, telefon, işletme, enerji kullanımı, asansörlerin yönetimi ve hatta çevre koruma konularında; bilgisayar kullanımı ile yönetici ve çalışanların işlerinde kolaylık sağlayarak verimi büyük ölçüde artırmaktadır (Lawrence, Watson, Boudreau ve Mohammadpour, 2017). Tüm verilerin de uzaktan bir ekran yardımı ile izlenilmesini sağlamaktadır (Ay, 2019). Bu şekilde kullanım amacı dogrultusunda en verimli ortamın saglandıgı, işletme masraflarının azaltıldığı, işletmede ileri teknolojilerin kullanıldığı sorunsuz binalar akıllı bina olarak tanımlanmaktadır (Civan, 2006).

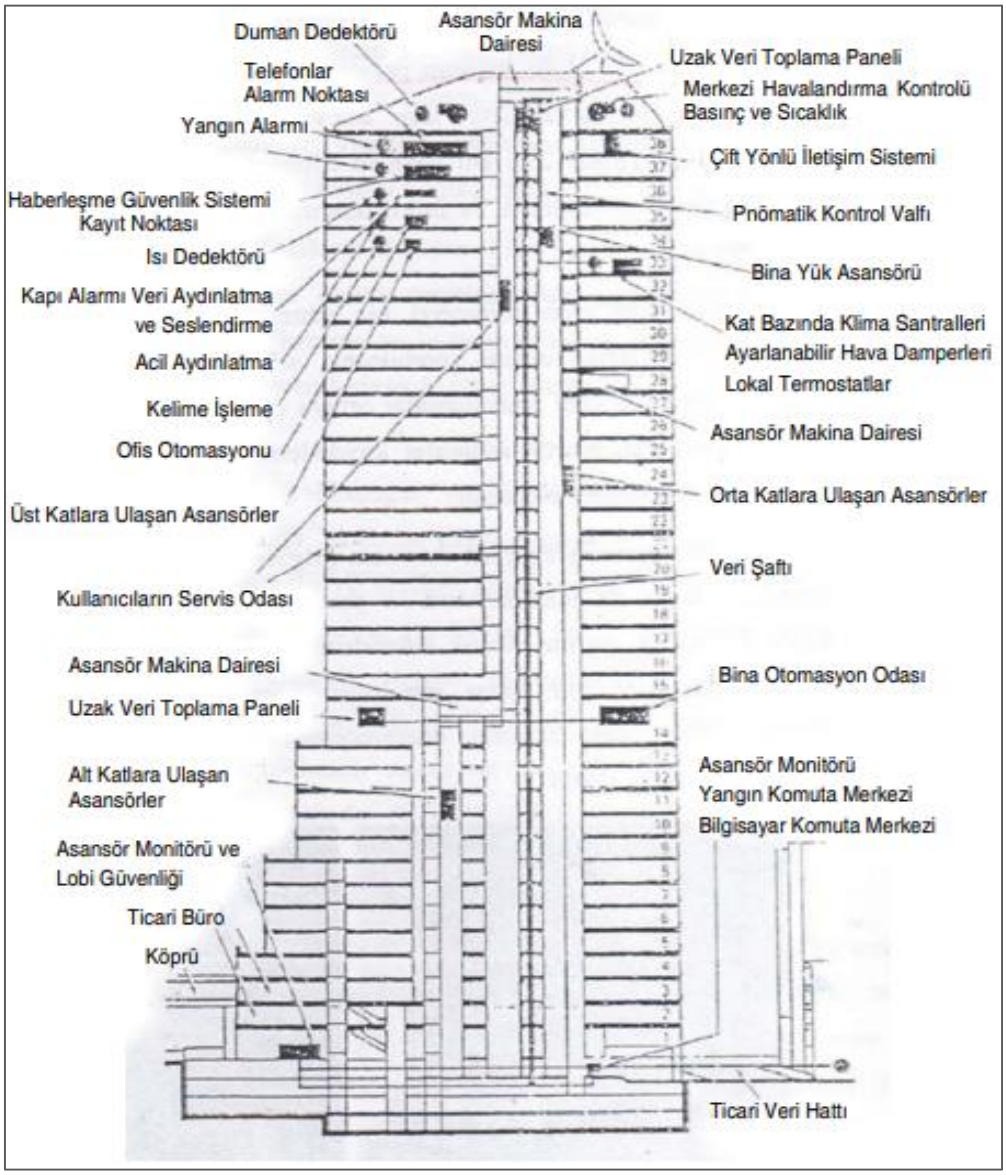
2.2. Akıllı Binaların Tarihsel Gelişimi

Akıllı bina kavramı ilk olarak seksenli yılların başlarında ABD/Washington'da bulunan Akıllı Bina Kurumu tarafından yapılan tanımlama ile literatürde kullanılmaya başlanmıştır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2000: 20-28; Oğuz, 2007).

Teknolojik gelişmelerin bize sunduğu yeniliklerin binalarda kullanılmaya başlaması ile tasarlanan ilk Akıllı Bina, 1981 yılında ABD'nin Connecticut Eyaleti'nde bulunan Technologies Corporation tarafından yapımına başlanan, 1983 yılında tamamlanan ve Resim 4.1'te cephe görünüşü, Resim 4.2'de ise kesiti sunulan "City Place" isimli ofis binasıdır (Kara, 2017: 21-23).



Resim 2.1. İlk akıllı bina city place (Atasoy, 2009: 20-30)



Resim 2.2. İlk akıllı binanın kesiti (Kara, 2017: 21-23)

28–29.05.1985'te Toronto'da düzenlenen bir sempozyumda akıllı bina kavramı uluslararası düzeyde ilk kez dile getirilmiştir (Dayangaç, 2005: 20-40). Yine 1985 yılında Kuzey Amerika'da Fortune, Forbes ve Business Week gibi dergilerin "İş Dünyasında Akıllı

Binalar" başlıklı yazılarıyla, mimaride bu fikir yerleşmeye başlamıştır. Bu tarihten itibaren yeni binalar son teknolojilerle donatılmaya çalışılmıştır (Atasoy, 2009: 20-30).

1998 yılında yapılan bir çalışmada akıllı bina kavramının daha iyi açıklanabilmesi için, akıllı bina kavramının gelişim sürecini 3 farklı kategoride incelenmiştir; "Otomatik Binalar (Automated Buildings), Yanıt Veren Binalar (Responsive Buildings), Verimli Binalar (Effective Buildings) (Atasoy, 2009: 20-30).

Çizelge 2.1. Akıllı binaların gelişim süreci (Atasoy, 2009: 20-30)

Otomatik Binalar (1981 - 1985)	
Bina Yönetimi Ofis Otomasyonu Haberleşme	Akıllı bina çağdaş teknolojilerin bütünüdür.
⇩	
Hassas Binalar (1986 - 1991)	
Bina Yönetimi Ofis Otomasyonu Haberleşme Değişime Duyarlılık	Akıllı binaların tümü organizasyonel değişikliklere cevap verebilmektedir
⇩	
Etkin Binalar (1992 -)	
Bina Yönetimi Mekan Yönetimi İş Yönetimi	Akıllı bina, organizasyonun iş hayatına dair hedeflerine ulaşabileceği duyarlı, etkin ve destekleyici iş ortamlarını sağlar. Akıllı bina teknolojileri bu ortamın oluşmasına yardımcı olurlar

Bu süreç şu şekilde sıralanabilir:

1970'e kadar

- 1970'lerin sonlarına kadar binalar elektronik sistemler yerine analog sistemlerle donatılmaktaydı.
- Güvenlik sistemleri bağımsızdı.
- HVAC sistemleri bağımsızdı.
- Yangın alarm sistemleri bağımsızdı.
- Aydınlatma kontrol sistemleri bağımsızdı.
- Asansör kontrol sistemleri bağımsızdı.
- Telefon sistemleri ve bilgi taşıma sistemleri bağımsızdı.
- Kullanıcı servisleri üzerindeki yük paylaştırılmıştır.
- Pek çok bina ana kontrol bilgisayarına sahip olmuştur.
- Pek çok küçük bilgisayar görüntüleme ve güvenlik sistemleri için binalara için tercih edilmektedir.
- Telekomünikasyon altyapısına büyük önem verilmekteydi.
- Otomatik binaların geleneksel binalardan çok daha fazla sektöre iş imkanı sunduğu anlaşılmıştır.
- Bölünmüş bilgi ve ses aktarım sistemlerinin güvenliği ve güvenirliliği Kuzey Amerika'da gerektiği kadar sağlanamamıştı.
- Japonya otomatik "akıllı" bina konseptini çok benimsedi.
- 1970'lerde Japon ofis binaları batı ülkelerinin standardında değildi.
- Japon Yapım Bakanlığı firmalar için akıllı bina yapmaları amaçıyla oldukça yüklü fonlar ayırmıştır.
- Japonya'da ilk akıllı bina 1984'te yapılan Toshiba's HQ dur. Ikincisi ise 1986'da yapılan NTT's HQ dır.

Hassas binalar (1986 – 1991)

- Gelişim gösteren teknolojilerin tekil olarak kullanımlarının istenen verimi sağlamadığı ve bunların entegre hale getirilmesi gerekliliği anlaşıldı.
- Binaların kullanım döngüsünün en verimli şekilde sağlanması gerekliliğine önem verildi.

Efektif akıllı binalar (1992 - >)

- Bina servisleri çalışma ortamını olumlu etkilemek zorundadır.
- Kullanıcı ihtiyaçlarına yoğunlaşılmıştır.
- Entegre teknolojiler, kullanım amacına ulaşmak için kullanılmaktadırlar.
- Teknoloji bir amaç değildir (Dayangaç, 2005: 20-40).

12 Ekim 2002'de, birçok firmanın konut otomasyonları ile ev aletlerinin kullanımını kolaylaştırmak aynı zamanda uzaktan kontrolünü sağlamak için HOME API (Uygulama Programlama Arabirimleri) standartlarını oluşturdular. Bu standartlar, bilgisayarların, televizyonların, güvenlik sistemlerinin, aydınlatma sistemlerinin, ısıtma sistemlerinin ve diğer ev aletlerinin otomasyon araçları ile kontrol edilebilmesini amaçlamaktadır (Comunello, 2020). Özetle, bilgisayarlardan bildiğimiz tak/kullan özelliği, ev aletleri için de geçerli olacaktır. Yani sisteme ev aletinin bağlanmasıyla, kullanılan otomasyon sistemi otomatik olarak tanıyacaktır (Arat, 2017; Aslan, 2014).

Türkiye'nin ilk "akıllı konutu" 2002 yılında Compex fuarında kuruldu. Mutfak, hobi odası, salon, çocuk odası ve ofis bölümünden oluşan bu akıllı ev, IBM "Smart Home" sistemleri ile ile oluşturularak Compex'te ziyaretçilere sunulmuştur.

2.3. Akıllı Binaların Küresel ve Ulusal Kullanım Yoğunlukları

Konfor şartlarını artıran akıllı konutlara talebin artmasıyla, akıllı bina sektörü hızla gelişme ivmesi göstermiştir. Geçmiş dönemde yapılması mümkün olmayan birçok şey akıllı bina teknolojilerinin ilerlemesi ile yapılabilir hale gelmiştir. Telefon ya da tablet kullanılarak konutta kullanılan birçok cihaz uzaktan kontrol edilebilir hale gelmiştir. Akıllı binaların, konfor şartlarını artırması ile dünya ve Türkiye pazarında hızla büyümesine imkan sağlamıştır (Baknalı, 2019; Tuzcuoğlu, Yang, de Vries, Sungur ve Appel-Meulenbroek, 2021).

Market Research Future (MRFR)'nin 2018 yılında yayınlanan raporunda, piyasa araştırması göstermiştir ki akıllı bina pazarının 33 milyar dolarlık bir paya sahip olacağını öngörülmüştür (Baknalı, 2019).

2020 yılında yapılan başka bir araştırma, Avrupa akıllı konut pazarının 14 milyar dolarlık bir paya ulaşacağını ortaya koymuştur. Dünya çapında akıllı konut pazarının ulaşması beklenen rakamın ise 51 milyar dolara ulaşacağı öngörülmektedir (Baknalı, 2019).

2.4. Akıllı Binaların 'Akıllılık' Kapsamında İşlevleri ve Kazanımları

Günümüzde, mikserler, kahve makineleri ve mutfak robotları gibi mutfak aletleri; televizyonlar, müzik setleri, video oynatıcılar, buzdolapları, çamaşır/bulaşık makineleri, otomatik garaj kapıları, ışık düzeyi ayarlanabilir aydınlatma armatürleri, ev telefonları, elektrik süpürgeleri vb. cihazlar, gelişen teknolojilerin günlük hayatta uygulanması ile hayatımızın bir parçası haline gelmiştir. Bu sürecin bir sonraki adımı olarak, konutun tek bir merkezden kumanda edilmesine imkan tanıyan programlama imkanları ile bu kontrolü kendiliğinden sağlayan konut otomasyon sistemleri kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır (Aslan, 2014; Crooks, Schechtner, Dey ve Hudson-Smith, 2017).

2.5. Akıllı Bina Değerlendirme Yöntemleri

Akıllı binalar üç ana başlık altında değerlendirilebilmektedir. Bu başlıklar;

- İnsanlar (binada yasayanlar, ziyaretçiler, vb.);
- Ürünler (bina tesisleri ekipmanlar, hizmetler vb.)
- Süreçler (otomasyon kontrol sistemleri, performans değerlendirmesi vb.) ve bunların alalarındaki ilişkilere dayanan optimizasyonlar,

şeklinde sınıflandırılabilmektedir. Akıllı binaları, gelişmiş ülkelerde bir imar trendi olarak giderek yaygın hale gelerek yaygınlaşmaktadır (Brotas, Roaf ve Nicol, 2017b; Tetik, 2014). Fakat bugüne kadar, akıllı binaların değerlendirilmesine dair modelleri üzerine sistematik bir araştırma yapılmamıştır. Mevcut çalısmaların büyük bölümü, bulguları bilgi teknolojileri bakımından ele almış ancak binanın mimarisi ve entegre bir yaklaşımın parçası olarak tüm faktörleri hesaba katmamışlardır (Oğuz, 2007).

Çizelge 2.2. Akıllı bina değerlendirme yöntemlerinin hiyerarşik gelişiminin bir özeti (Oğuz, 2007)

Akıllı bina performans değerlendirme metodları		
Yıl	Araştıran kurum	Değerlendirme metodlarının detayları
1983	DEGW	Orbit 1: Çok kullanıcılı (bina kullanım çalışmaları)
1985	DEWG	Orbit 2: Bina, içinde yer alan organizasyonlar ve IT (bilgi teknolojileri) arasında karşılaştırma derecesi (dokuz temel organizasyonel ve sekiz adet IT konusunu kullanarak)
1988	Carnagie Mellon Üniversitesi	Kalitenin, memnuniyetin ve verimliliğin ölçümü yapılır (altı performans kriteri ve beş sistem entegrasyon kriterini kullanır)
1991	Kuala Lumpur Belediyesi	Ofis yapılarının özelliklerini belirlerken yerleşim yeri, tasarım sistemler ve servisler esas alınarak oluşturulan ilkeler (altı-yıldız, beş-yıldız ve dört-yıldız) Bina IQ derecelendirme metodu: ihtiyaçlar göz önüne alınarak
1992	Akıllı Bina Araştırma Grubu	(maddeler: 10 adet kişisel kullanıcı için, 15 adet organizasyon için, 6 adet yerel çevre için, ve 5 adet global çevre için)
1992	Avrupa Projesi içinde akıllı bina	Üç değerlendirme motodunun geliştirilmesiyle, farklı kullanıcı tipleri için sürdürülebilirlik ve binaların kalitesini değerlendirmek için yapılmış bir metod: emlak tipi, bina kalite değerlendirmesi, serviste bulunan araçlar ve metodlar)
1992-1994	Hollanda, Yeni Zellanda ve Kanada	Bina derecelendirme metodu: beş bölümü kapsar (A-E) içerdikleri isimler (A) yapı konumu/yerleşimi (7 madde), (B) yapı cephe kaplamalsrı konuları (14 madde), (C) yapı kabuğu
1995	DEWG	konuları (3 madde), (D) organizasyonel ve çalışma süreci konuları (11 madde) ve (E) bina servisleri ve teknoloji konuları

Çizelge 2.2. (devam) Akıllı bina değerlendirme yöntemlerinin hiyerarşik gelişiminin bir özeti (Oğuz, 2007)

Akıllı bina performans değerlendirme metodları		
Yıl	Araştıran kurum	Değerlendirme metodlarının detayları
1997	Arkin ve Paicuk	(12 madde); bütün maddeler bağlamında ortalama skorun belirlendiği bir metod Sistemlerin entegrasyonunun önemi: akıllı binalardaki sistemlerin entegrasyon seviyesinin belirlenmesi. "MSI" içindeki çeşitli sistemlerin entegrasyon özelliklerine dayandırılan bütün sınıflamaların toplamının ve sonrasında varolan sistemlerin sayısının toplamına bölümünden elde edilen basit bir kümülatif indeks. (1)
1998 2002	Harrison Preiser ve Schramm	Bina derecelendirme metodu (Matris sonucu): DEGW (1995) tarafından yapılandırılan bina derecelendirme metodu esas alınmış ve kategorilerin iki bölüm üzerinden (A-B/C, D-E) değerlendirilmesi şeklinde gösterilmiştir. Kategorilerin ,herbir parçasının yüzde ve dairel oran olarak ölçülendirilmesinde bina performansını gösterilmesi dikkate alınır. Kullanım-sonrası değerlendirme süreci modeli (POE): üç aşamalı süreç modeli şunları içerir: Birinci aşama: kullanıcı, performans kriterleri ve bilgi toplama sürecinin planlanmasıyla ilişkili olarak POE nin planlanması ikinci aşama: POE nin kapsadığı metodların ve araçların idaresi-veri toplanmasına başlanması, toplanan verilerin görüntülenme si ve verilerin analizi üçüncü aşama: POE de sonuçların rapor edilmesi, önerilen davranışlar ve sonuçların gözden geçirilmesinin uygulanması
2002	So ve Wong (AIIB)	Akıllı bina indeksi (IBI): akıllı bina için, dokuz adet "kalite çevre modülü" nü (M1-M9) esas alan, nicel değerlendirme metodudur.

2.6. Akıllı Bina Sistemlerinin Sınıflandırılması

Akıllı bina sınıflandırmasına dair birçok alternatif çalışmalar yapılmış olup, çalışmamız kapsamında aşağıda sunulan sınıflandırma baz alınmıştır.

Çalışmamız kapsamında kullandığımız sınıflandırmaya göre akıllı bina sistemleri dört ana başlık altında toplanmıştır.

- Enerji verimliliği sistemleri
- Güvenlik sistemleri
- İletişim-Haberleşme sistemleri
- Otomasyon sistemleri

Tez kapsamında Enerji Verimliliği Sistemleri ve bileşenleri ilerleyen başlıklarda detaylı olarak incelencek olup, sınıflandırmada kullanılan diğer akıllı bina sistemlerinin listesi aşağıda yer almaktadır.

Güvenlik sistemleri,

- Otopark Sistemleri
- Kapalı Devre Video Kamera Sistemleri
- Yangın Güvenliği ve Söndürme Sistemleri
- Yangın Söndürme Sistemleri
- İtfaiye Otomatik Bildirimi
- Hırsız güvenliği
- Su kaçağı güvenliği
- Deprem algılama ve uyarı sistemleri
- Entegre güvenlik sistemleri
- Hırsız algılama ve alarm sistemleri
- Yangın duman algılama ve alarm sistemleri
- Yangın söndürme sistemleri
- Gaz algılama ve alarm sistemleri
- Kapalı devre kamera ve televizyonlu güvenlik sistemleri (CCTV)
- Metal ve x-ray detektörleri
- Kartlı geçiş ve kullanıcı algılama sistemleri
- Çevre güvenlik sistemleri
- Su ve hava kontrol sistemleri

İletişim-Haberleşme sistemleri

- Seslendirme ve anons sistemleri
- Çağrı Sistemleri
- Yangın Anons Sistemleri
- Simultane Tercüme Sistemleri
- Audio- Visual Sistemleri
- PBX telefon sistemi
- Elektronik posta
- Merkezi müzik ve ses yayın sistemleri
- Merkezi televizyon yayın sistemleri
- İnterkom sistemleri
- Konferans ve tercüme sistemleri
- Sunum sistemleri
- Video projeksiyon sistemleri
- Haberleşme kabinleri
- Uydu anten sistemleri
- Dijital televizyon yayın sistemleri
- IF / RF radyo dağıtım sistemleri
- Bina içi dağıtım sistemleri
- Usat küresel uydu haberleşme sistemleri
- Telefon santral ve yönlendirme sistemleri

Otomasyon sistemleri,

- Bus sistem
- Wireless sistem
- Powerline sistem
- Entegre bina yönetim ve senaryolama sistemleri
- Kablosuz bina otomasyon sistemleri
- Sistem kontrol merkezleri
- Konut otomasyon sistemleri
- Bina yönetim arayüzleri

- Uzaktan çalıştırma sistemleri
- Uzaktan izleme sistemleri
- Mobil kablosuz haberleşme sistemleri
- İletişim ağı sistemleri
- Veri işleme sistemleri
- OT / VT sistemleri

3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ SİSTEMLERİ

Enerji verimliliği, binalarda yaşam ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne sebep olmadan, birim veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasının uygulanmasıdır ve dünya üzerindeki önemi gün geçtikçe artmaktadır (Casini, 2016: 35-38; Erhan, 2018). Enerji verimliliği politikaları, hem ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma hedeflerinin sürdürülebilirliği ile doğrudan ilişkili olması hem de zararlı gazların salınımının azaltılmasında oynadığı önemli rolü nedeni ile ciddiyetle ilgilenilmesi gereken konulardandır (Pamuk ve Kuruoğlu, 2016). Bununla birlikte dünyada oluşan çevre sorunlarının başlıca nedeni kullanılan katı yakıt kullanımıdır ve enerji verimliliği sistemlerinin buradaki etkisi son derece büyüktür (Uruk ve Külünkoğlu İslamoğlu, 2019). Enerji verimliliğinin oynadığı bu önemli rol sebebiyle ve insanların çalışmalarına yararlı olması hasebiyle akıllı binalarda enerji verimliliği sistemlerinin kullanımı tercih edilmiştir (Mathiesen ve diğerleri, 2016: 17-19).

Akıllı bina teknolojileri kapsamında enerji verimliliğini arttırmak ve kaynak tüketim optimizasyonu sağlamak adına kullanılan sistemler bu grupta yer almaktadır. Özellikle yüksek binaların ekonomik tasarımı daha büyük önem arz etmektedir. Yüksek olmayan binalara nazaran yüksek binaların, malzeme, enerji ve su tüketimleri çok daha fazladır (Gültekin ve Yavaşbatmaz, 2013; Sinopoli, 2010: 4-9). Burada amaçlanan daha düşük enerjiyle yapılan iş miktarını arttırmak ve su, doğalgaz gibi kaynakların daha tasarruflu tüketimini sağlamaktır. Bu sistemler enerji verimliliğini sağlamanın yanında konfor ve güvenlik faktörlerini de yükseltmektedir.

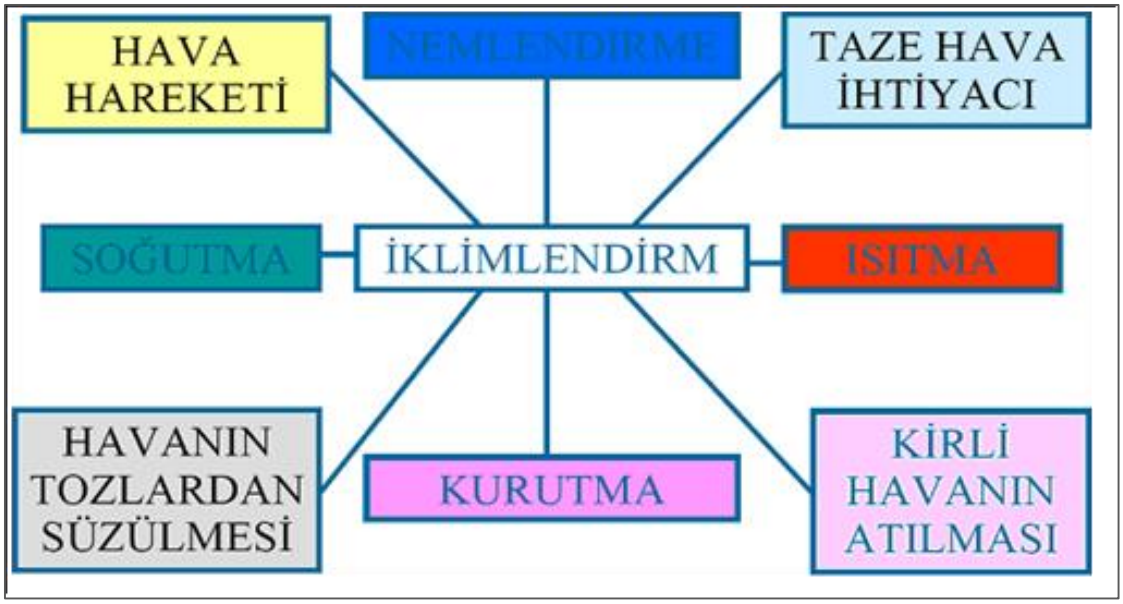
Enerji verimlilik sistemleri:

1. İklimlendirme Sistemleri (HVAC)
2. Aydınlatma Sistemleri
3. Pencere Gölgeleme Sistemleri
4. Pencere Açma Kapatma Sistemleri
5. Enerji ve Veri Yönetim Sistemleri
6. Asansör Sistemleri
7. Su Vana Armatür Sistemleri

3.1. İklimlendirme Sistemleri (HVAC)

HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) sistemleri, hava, ısıtma/soğutma ve nem kontrolünün veya bunlardan birini tesis etmek için yapılarda kullanılan ekipmanları, dağıtım ağını ve terminali ifade etmektedir. HVAC sisteminin asıl fonksiyonu, istenilen hava koşullarını korumak ve çalışanlarının verimliliğini yükseltmektir (Sevil, 2015; Stopps, Huchuk, Touchie ve O'Brien, 2021).

Uzmanlarca yapılan araştırmalar neticesinde, insanlar belli bir sıcaklık ve nem aralığı ile temiz havalı ortamlarda rahat etmektedirler. Bu aralık konfor bölgesi olarak tanımlanmıştır. Bu tanıma göre nem %30 ile % 60, sıcaklık 20-27 °C aralığında muhafaza edilmelidir. Sıcaklığın gereğinden fazla veya az olmasının rahatsız edici olacaktır. Ayrıca ortamın havası temiz ve taze olmalıdır (Chaouch, Çeken ve Arı, 2021). Toz, duman, polen ve diğer zararlı maddelerin filtre edilmesi ve kirli havayı temiz havayla yer değiştirecek hava dolaşımı gereklidir.



Şekil 3.1. HVAC sistem fonksiyonları (Diker, 2016)

HVAC sistemlerinde kontrol altında tutulan parametreler aşağıdaki şekilde sıralanabilecektir:

- Ses düzeyi
- Konfor sıcaklığı (kuru termometre)

- Bağıl nem
- Basınçlandırma
- Düşük seviyede hava sirkülâsyonu
- Düşük seviyede taze hava girişi

HVAC sistemleri yapının ısı, sıcaklık ve hava koşullarını kontrol eden tutan sensörler, bilgisayar ve kontrol ekipmanları sayesinde üst düzey konfor sağlar. Sistemdeki tüm sensörler kontrol ekipmanına bilgi gönderir ve ortamın sabit koşullarda tutulmasına katkı sunar (Hatipoğlu, 2011). Bu şekilde enerji tasarrufu sağlanır. Mevsimsel ve günlük hava değişimlerine göre iç mekân sıcaklığını sabit tutan bu sistemler hava akışını ve değişimini de kontrol altında tutar.

HVAC ekipmanı ortalama olarak ticari bir binanın enerjisinin % 40'ını tüketir. HVAC işletimini doğru şekilde yönetmek için kontrollerin kullanılması, bir binada enerji tasarrufunun en kritik parçasıdır (Gupta, Badr, Negahban ve Qiu, 2021; Jahn, 2016). Konu konut bazında da aynı şekildedir. Bununla birlikte konut sakinleri genellikle kendi konfor geri bildirimlerine tepki olarak deneme yanılma ayarlamaları yoluyla HVAC operasyonlarını yönetir bu da çoğu zaman enerji tasarrufunu çok daha düşük bir önceliğe düşürür (Duman ve Mentese, 2017).

Akıllı HVAC sistemleri, bina sakinlerinin konforunu korurken ve hatta iyileştirirken enerji tüketimini büyük ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Akıllı bina yazılımı, çeşitli HVAC sensör noktalarından gelen bilgileri yorumlar ve bu bilgileri uzaktan erişilebilen bulut tabanlı bir sistemde gerçek zamanlı olarak korur (Gholamzadehmir, Del Pero, Buffa ve Fedrizzi, 2020). Mühendisler, HVAC sistemlerinin izlenmesini ve kontrolünü optimize etmek için veritabanı bilgilerini kullanan akıllı bina yazılımı içinde algoritmalar geliştirir. Bu gelişmiş kontroller, kullanılmayan bina bölgelerinde HVAC tüketimini sınırlayabilir, hataları tespit edip teşhis edebilir ve en yüksek enerji talebinin olduğu zamanlarda HVAC kullanımını azaltabilir.

Sensörler, fiziksel bir uyaranı algılayan ve onu sinyale dönüştüren cihazlardır. HVAC sistemlerine yararlı veriler sağlayan bir sensör örneği olarak Resim 5.2’de görülen bir mekandaki sıcaklık ve nem ölçümünü yapan sensör verilebilir. HVAC sistemi arızalarını tanımlamak için de kullanabilir (Barış, 2020).

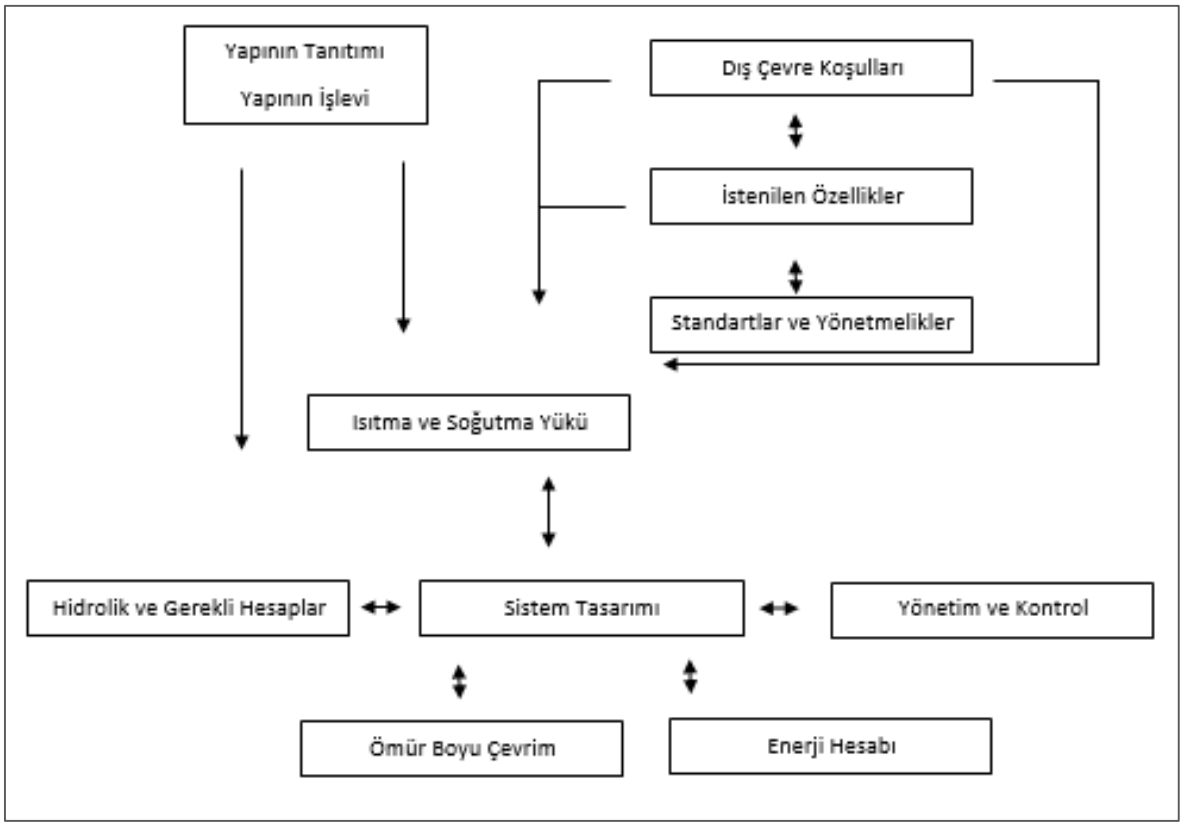


Resim 3.1. Sıcaklık ve nem sensörü

Arıza Tespiti ve Teşhis Sızıntılar, tıkanmalar ve bozulmalar, HVAC sistem ekipmanında rutin olaylardır. Bu arızalar uzun bir süre tespit edilmezse, en verimli ekipman bile önemli miktarda enerji harcayabilir. Genellikle bu arızalar, rutin bakım tamamlanıncaya veya arızanın etkisi binada fark edilinceye kadar tespit edilmez. Bu durum arızanın meydana gelmesinden günler, haftalar veya aylar sonra olabilir. Buna karşılık, en temel akıllı yetenek bile operatörlerin anormallikleri anında tespit etmesini, hataları proaktif olarak gidermesini ve sistem arızasını önlemesini sağlar.

HVAC ekipmanının bazı arızaları bildirmesi yaygın olsa da, akıllı bina ekipmanı genellikle hatanın ne olduğunu ve sınırlı durumlarda neden oluştuğunu daha doğru bir şekilde teşhis edebilir, bu da hatalara öncelikli dikkati sağlayarak ve çözümlerini hızlandırarak daha az enerji israfına neden olur (Khoshbakht, Gou, Dupre ve Best, 2018).

Birçok ev, geleneksel HVAC arıza tespiti yöntemlerinde aynı problemle karşı karşıyadır: Bir şeyin arızalandığını açıkça ortaya koyarlar, ancak sorunun tam olarak belirlenmesi, zaman ve para yatırımı gerektirir.



Şekil 3.2. HVAC şeması (Diker, 2016)

3.2. Aydınlatma Sistemleri

Aydınlatma otomasyonu gerekli enerjinin tek merkezden veya uzaktan kontrol edilmesi, gün ışığının etkisine ve zamana göre aydınlatmaların kontrolü, harekete ve ısıya göre aydınlatmaların çalışma zamanlarının ayarlanması olarak tanımlanmaktadır (Moghaddam, 2012).

Akıllı binalarda akıllı aydınlatma kapsamında enerji verimliliğini sağlamak adına yapılabilecek maddeleri sıralarsak:

- Aydınlatma sistemi aydınlatma otomasyonu ile yönetilmelidir.
- Aydınlatma sistemindeki armatürler LED olarak seçilmelidir.
- Güneş ve hareket sensörleri ile armatürlerin boş yere çalışmaması sağlanmalıdır.
- Armatürlere uygun yansıtıcılar seçilmelidir.

Türkiye'de üretilen elektrik enerjisinin %25 i aydınlatma için harcanmaktadır (Timur, 2018). Dolayısıyla daha ekonomik bir aydınlatma sistemi ülke ekonomisine de katkı sağlayacaktır.

Aydınlatma otomasyonuyla birlikte gerektiği zamanlarda, gerekli yerlerde ve gerekli ölçüde aydınlatma yapılabilmektedir.

Aydınlatma otomasyonu yapılmadan önce uygulama yapılacak mahalde bir projelendirme çalışması yapılması gerekmektedir. Güneş alma değerleri, kullanım amacına göre istenilen aydınlatma değerleri ve ortamın fiziki ölçüleri değerlendirilerek bir çalışma yapılmalı ve ardından bu çalışma referans alınarak çözümlemeler yapılmalıdır. EN 12464-1 Standardında belirtilen bazı aydınlık seviye değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (Timur, 2018).

Çizelge 3.1. En az aydınlık düzeyi çizelgesi (EN12464-1)

Mahal Adı	Lüx Değeri
Ofisler	500
Ameliyathane	1000
Okul Sınıfları	300
Teknik Çizim Ofisleri	750
Mücevher İmalatı	1000
Değerli Taşlar ile Çalışma	1500
Koridor ve Dolaşım Alanları	100

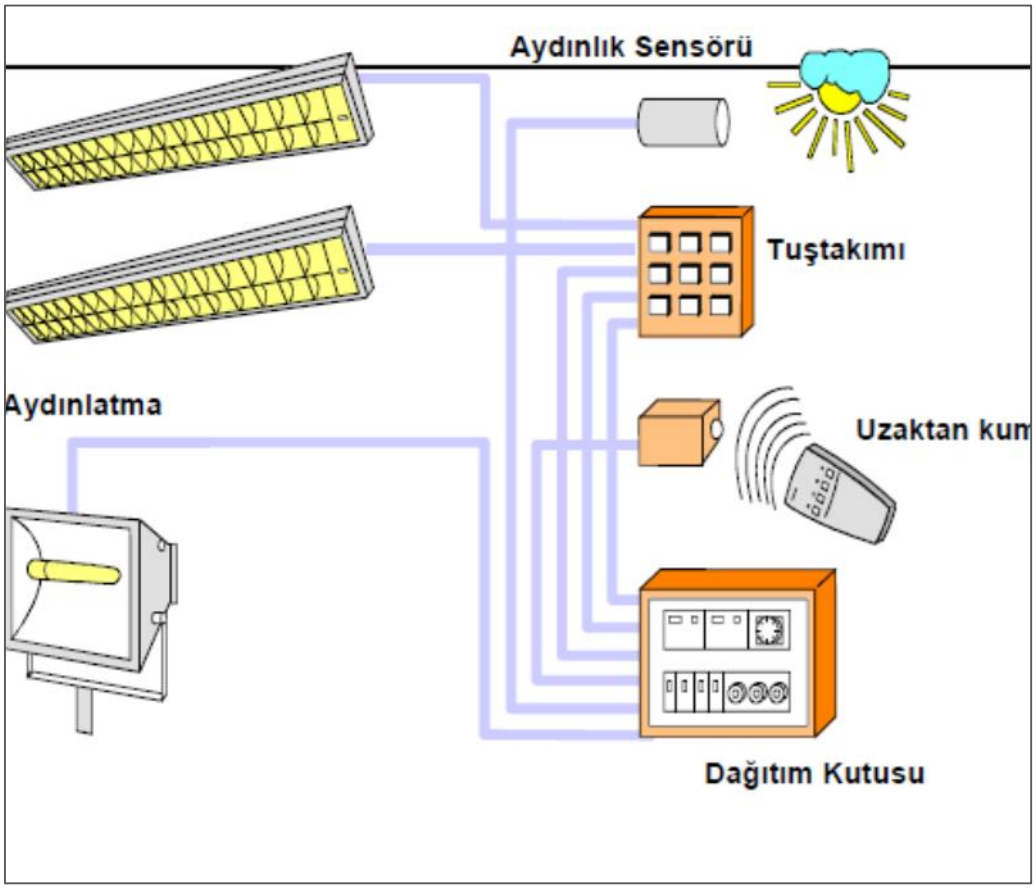
Aydınlatma şiddetinin ölçü birimi lükstür. Bu değer birim alana düşen ışık akısını ifade etmektedir.

Gün ışığından faydalanma aydınlatma otomasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Belirlenen iç aydınlık eşik değerine göre dış ışık kaynağından faydalanarak iç aydınlatmaları kapatma veya açma işlemine, gün ışığından faydalanma olarak adlandırılabilir. ZEVI (Almanya Elektrik Endüstrisi Birliği) Aydınlatma Otomasyonu kullanılan binalarda % 80 varan enerji tasarruf sağladığını açıklamıştır (Ulusoy, 2010).

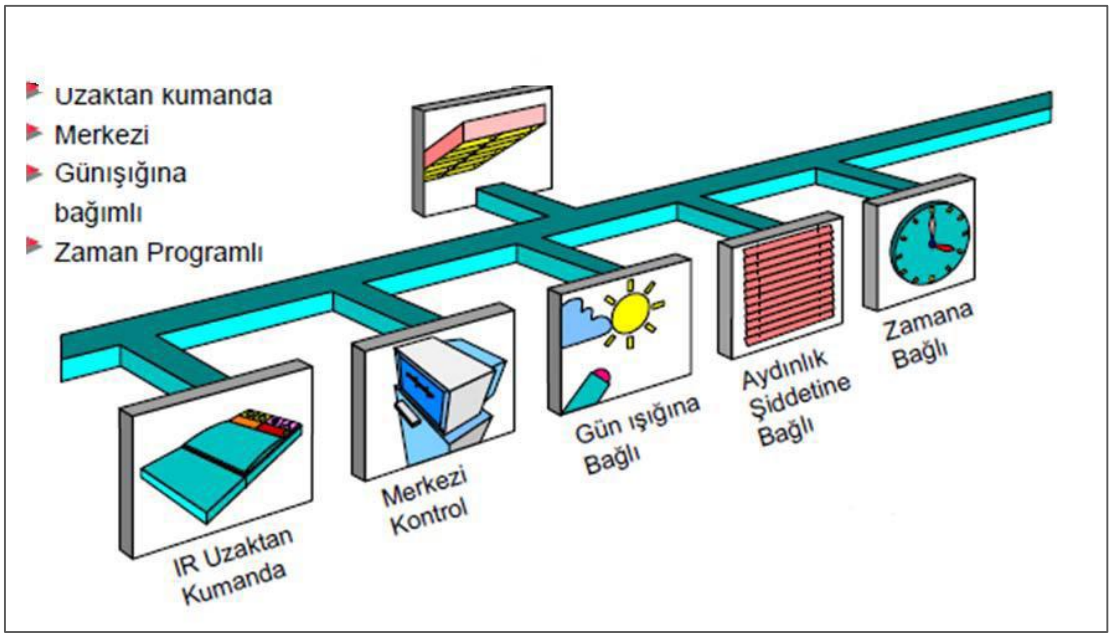
Aydınlatma otomasyonunun sağladığı faydalar aşağıda sıralanmıştır:

- Aydınlatma sistem kontrolü bir merkezden yapılır ve farklı mahaller için farklı senaryolar oluşturulabilir. Bunun yanında aynı mekan için kullanım amaç değişikliği durumunda da aydınlatma programında istenilen değişiklikler yapılabilir.
- Aydınlatma sistemi daha önce yapılmış programlara göre iş gücüne ihtiyaç duymadan hızlı bir şekilde aksiyon oluşturur.

- Aydınlanma seviyelerinin değişmesi ile beraber vurgulanmak istenen alanlar ön plana çıkarılabilir.
- İstenilen ölçüde aydınlatma sağlayıp kalan zamanlarda gereksiz kullanımın önüne geçerek enerji tasarrufu sağlar.



Resim 3.2. Klasik elektrik tesisatı sembolik görünüm (Ulusoy, 2010)



Resim 3.3. Otomasyon sistemine bağlı elektrik tesisatı sembolik görünüm (Ulusoy, 2010)

3.2.1. Aydınlatma verimliliği

2006 yılında yapılan bir çalışmada aydınlatma elemanlarının ayrı anahtarlar ile kontrol edilmesinin enerji tasarrufu sağladığı sonucuna ulaşılmıştır (Ulusoy, 2010).

2010 yılında hazırlanmış bir doktora tezinde gün ışığına bağlı olarak yapılan otomasyon ile %40,78 tasarruf sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Ulusoy, 2010).

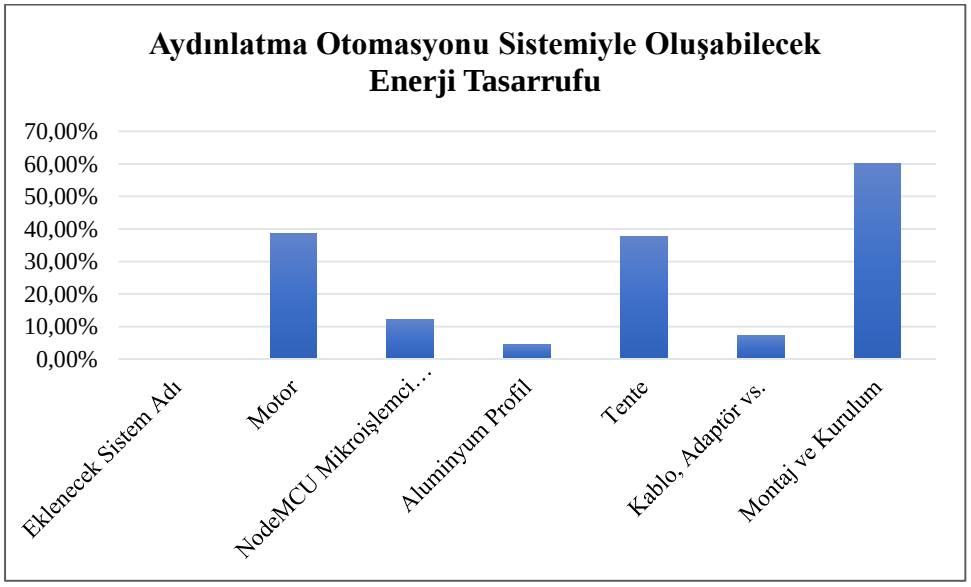
Bir başka çalışmada, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Aydınlatma Laboratuvarının en uygun enerji tüketimi ile aydınlatılması konusu araştırılmış ve aydınlık seviyesinin artırılmasına rağmen, aralık ayında %30, yaz aylarında ise %40-%50 aralığında enerji tasarrufu sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır (Timur, 2018).

2010 yılında yayınlamış bir makalede led teknolojisi ile yapılacak tasarrufa dikkat çekilmektedir. Led ile yapılacak aydınlatma sistemlerinde % 75 ile %93 arasında bir enerji tasarrufu sağlamanın mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Verimli aydınlatmanın verimli aydınlatma elemanları ile gerçekleştirilen sisteminin, gün ışığına, ortamda insan varlığına ya da zamana bağlı olarak, otomatik kontrol edilerek kullanım süresini en aza indirme ile mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Timur, 2018).

Kaliforniya Enerji Komisyonu'nun yayınladığı raporda, aydınlatma otomasyonu ile %25 ile %50 arasında tasarruf sağlanılabileceği bildirilmiştir. Tasarruf için merkezi sistem önerildiği gibi, karartma ve hareket sensörü gibi cihazlarında kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

"Sokak Aydınlatması Elektrik Hattı İletişimi Otomasyonu" başlıklı bir makalede, dünya üzerindeki dış aydınlatmaların, toplam enerji tüketiminin yaklaşık %19'u olduğu bilgisi paylaşılmıştır. Programlanabilir kontrol sistemleri ile floresan lambalar için bakım masraflarının %25 düşeceği ve %30 oranında tasarruf sağlanacağı sonucna ulaşılmıştır (Timur, 2018).

Akıllı bina sistemleri konfor değerlerini yükseltirken enerji tasarrufu sağlamayı amaçlamaktadır. Aydınlatma otomasyonu da aynı şekilde zamana ve talebe göre en istenilen aydınlatmayı yaparken azami enerji tasarrufunu sağlamaktadır. Aşağıdaki grafikte aydınlatma otomasyonunun enerji tasarrufuna katkısı görülmektedir. Otomasyon kontrolüyle çalışan sistemler % 70 seviyelerinde enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Şekil 5.3'e bakıldığında aydınlatma otomasyonu sistemiyle oluşturulabilecek enerji tasarruflarının yüzdelik değerleri incelenebilir.



Şekil 3.3. Aydınlatma otomasyonu sistemiyle oluşabilecek enerji tasarrufu (Timur, 2018).

3.2.2. Aydınlatma otomasyonu sistem elemanları

Akıllı aydınlatma sistem elemanlarını sıralarsak:

Hareket sensörleri: Bulundukları ortamda hareket olup olmaması durumunu algılayan ekipmandır. Sürekli varlık bulunmayan ortamlarda sensörlerin kullanılması fayda sağlamaktadır.

Gün ışığı sensörleri: Ortamdaki aydınlık seviyesini algılayıp, yeterlilik durumuna göre aydınlatma otomasyonuna sinyal gönderir.

Dimmer modülü: Uygun olan armatürlere bağlandığında lambanın vereceği ışık şiddeti istenilen seviyeye bu anahtar vasıtasıyla ayarlanabilir.

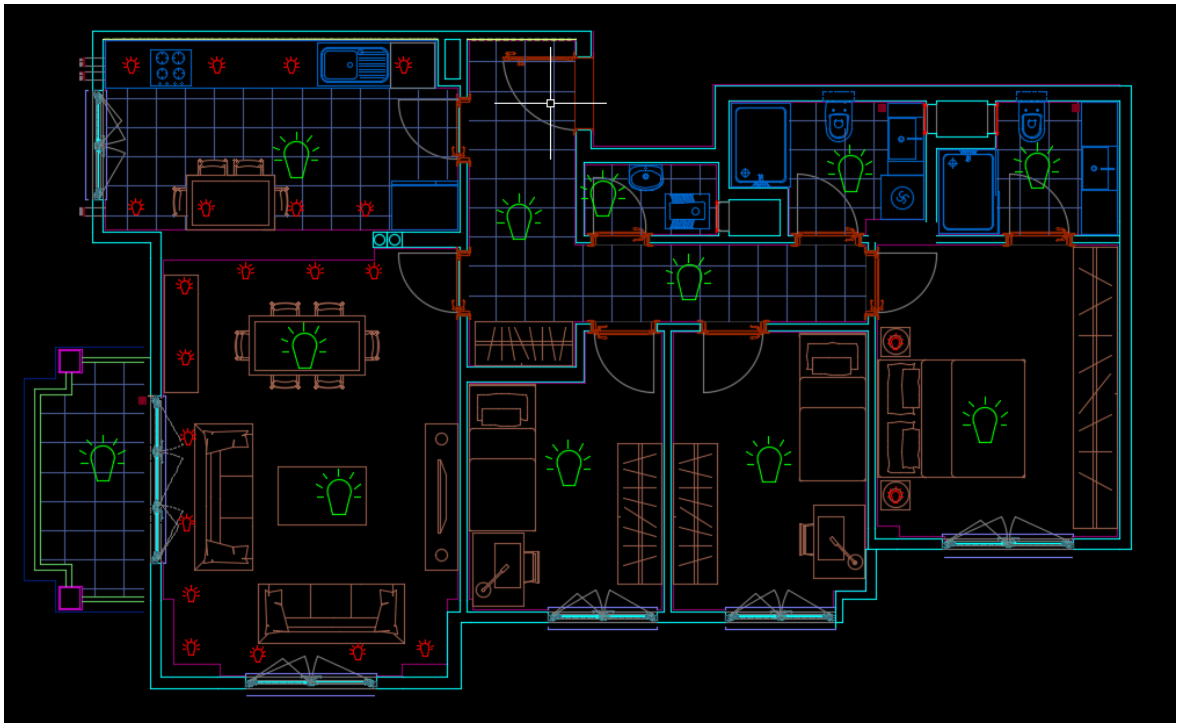
Otomasyon yazılım programı: otomasyon sisteminin merkezi yazılımıdır (Thomas ve Cook, 2016).

Uzaktan kontrol üniteleri: Açma-kapatma, kısma açma ve kayıtlı senaryoları devreye alma gibi fonksiyonları vardır.

Duvar kontrol üniteleri: Uzaktan kontrol ünitelerinin işlevlerini gerçekleştirebilen ve manuel aydınlatma kontrolü sağlayan duvara monte ekipmanlardır. Örnek konutta yapılan aydınlatma verimliliği çalışmaları kapsamında:

- Mevcut geleneksel ampuller LED ampüller ile değiştirilmekte,
- Işık şiddetini ayarlayan dimer modülü eklenmekte,
- Akıllı aydınlatma otomasyonu ve sensörleri sisteme entegre edilmektedir.

Yapılacak bu çalışmalar neticesinde literatür çalışmaları referans alınarak ortalama %72 oranında aydınlatma enerji verimliliği sağlanacaktır. Bu enerji verimliliği oranının uygulanması için planlanan binadan alınan herhangi bir dairenin kat planı Şekil 5.4'te verilmiştir. Bu planın yanı sıra dairede kullanılması istenilen konut aydınlatma armatürlerinin gösterimi ise Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Örnek konut aydınlatma armatürlerinin gösterim çizimi



Yeşil ışık 8 W ampulleri temsil etmektedir.



Kırmızı ışık 3 W spot ışıkları temsil etmektedir.

Şekil 3.5. Örnek konut aydınlatma armatürlerinin gösterimi

3.3. Pencere Gölgeleme Sistemleri

HVAC enerji kullanımının yaklaşık üçte biri pencerelerden ısı kazançları ve kayıplarından kaynaklanmaktadır. California Enerji Komisyonu, Kaliforniya'daki tipik bir bina için soğutma ihtiyacının yaklaşık % 40' ının pencerelerden güneş ısısı kazanımından kaynaklandığını tahmin etmektedir (Dayangaç, 2005: 20-40).

Önceden cepheler daha ziyade hareketsiz olurken 1980'lerden itibaren dinamik cephe sistemleri ortaya çıkmıştır. Bu noktada sağlık, konfor ve kolay kullanım önemli faktörlerdir.

Sensörler ve yönetim sistemleri ile birlikte pencere gölgeleme sistemleri bireysel konfor sunmaktadır (King ve Perry, 2017: 10-11).

Pencere gölgeleme sistemleri akıllı pencereler ve akıllı perdeler olarak iki grupta toplanabilir.

Gelişmekte olan akıllı cam teknolojisi, optik özellikleri değiştirebilmekte ve manuel olarak veya otomatik kontrol sistemleri yardımıyla harekete geçirilebilmektedir. Bu sistemler, estetik gereksinimleri karşılarken, iç ve dış ortam arasında da bir "çok fonksiyonlu filtre" görevi görmelidir. Ayrıca pasif olarak dış faktörler tarafından harekete geçirilmekten öte değişen ortama tepki verip ona adapte olacak şekilde tasarlanmalıdır (Zağpus, 2002: 18-20).

Manuel güneşlikler kadar basit olan pencere eklentilerinin, güneş ısısı kazancını ve parlamayı azaltmak için düşük maliyetli bir önlem olduğu kanıtlanmıştır (Najafi, Depalo, Rinaldi ve Arghandeh, 2021). Bununla birlikte, saha çalışmaları, parlamayı azaltmak için bir kez indirildiğinde, manuel olarak çalıştırılan gölgelerin, dış ışık seviyelerindeki değişikliklerden bağımsız olarak, gün ışığı fırsatlarından ödün vererek, genellikle daha düşük kaldığını göstermiştir. Manuel anahtarlar veya analog zamanlayıcılarla kontrol edilen motorlu pencere gölgelikleri ve renkli cam ve filmler, güneş ışığının tüm spektrumunu absorbe etmek için tasarlanmış onlarca yıllık teknolojilerdir, böylece binalara giren güneş ısısını azaltır ve parlamayı azaltmak için görünür ışığı azaltır.



Resim 3.4. Pencere gölgeleme sistemi (Hsu ve diğerleri, 2020)

Otomatik olarak kontrol edilen gölgelendirme sistemleri bir adım daha ileri giderek, insan girdisine dayanmadan bir gün boyunca dış ve iç sıcaklık koşullarındaki değişikliklere yanıt verir (Casado-Vara, Vale, Prieto ve Corchado, 2018). Güneşe uyumlu gölgeler, güneşin konumuna tepki olarak aynı şekilde çalışır. Bu akıllı gölgeler, iç ve dış ortam sıcaklıklarını veya güneşin konumunu ve radyasyonunu ölçen sensörlere dayanır ve binaya giren ışık ve ısı miktarını yönetmek için yüksekliklerini otomatik olarak ayarlar. Bu cihazlar, merkezi kontrol için aydınlatma ve konut yönetim sistemlerine entegre edilebilir. Gün ışığını en üst düzeye çıkarmak için bir aydınlatma güçlendirme projesine eklendiğinde, akıllı gölgeler aydınlatma enerjisi kullanımında % 10 ek enerji tasarrufu sağlar.

Gelişmiş cam ve filmler daha fazla enerji tasarrufu sağlayabilir ve pasif cam teknolojileri (low-E cam gibi) kolaylıkla temin edilebilir. Geleneksel camda bronz veya gri tonlama vardır. Renklendirmedeki ilerlemeler artık daha geniş bir renk spektrumuna ulaşarak, görünür ışığın binanın iç kısmına geçmesine izin verirken güneş ısısı kazancını azaltmaktadır. Kaliforniya'daki binalarda bir cam filmi iyileştirme çalışması, tek camlı pencerelere uygulanan filmler için ortalama % 39 ve çift camlı pencere uygulamaları için % 25'lik bir yatırım getirisi sağlamıştır.

Piyasadaki işletim maliyetlerinde % 20 tasarruf ve HVAC sistem boyutlandırmasında % 25 azalma olduğunu iddia eden firmalar bulunmakta olup bu şekilde % 10 sistem maliyeti tasarrufu sağladığı ifade etmektedirler (Dayangaç, 2005: 20-40).

Pencere gölgeleme sistemleri büyük bir yatırım olsa da, gün ışığını entegre etmenin, parlamayı ve güneş ısısı kazanımını azaltmanın ve bina sakinlerinin konforunu en üst düzeye çıkarmanın en etkili yoludur (Kara, 2017: 21-23).

3.4. Pencere Açma Kapatma Sistemleri

Pencere açma kapatma sistemleri teknik olarak bir eletrikli motor vasıtasıyla çalışır. Temel olarak iki yönlü hareket sağlar ve pencereleri belirlenen açılarla açılmasını ve kapanmasını sağlar. Zincirli, pistonlu veya dişli sistemlerle çalışanları örnekleri piyasada mevcuttur. Referans konutta havalandırma kanalları veya herhangi bir hava aspire mekanizması olmadığı için havalandırma pencereler vasıtasıyla yapılmaktadır. Dolayısıyla hava kalitesini

arttırmak için pencerelerin de mutlaka akıllı konut sistemine müdahil çalışması gerekmektedir.

Konutta pencere otomatik pencere açma kapatma sistemi her odada bir cama olacak şekilde uygulaması planlanmıştır. Bu şekilde 5 adet açma kapatma motoru ve sürücü kullanılaktadır.



Resim 3.5. Pencere otomasyon sistemleri (Çağlayan, 2005)

3.5. Enerji ve Veri Yönetim Sistemleri

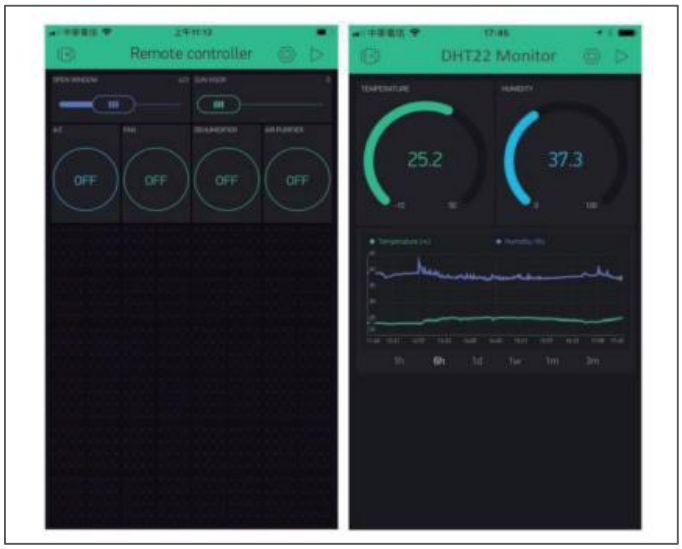
Akıllı binaların alt sistemleri, akıllı binaları diğer binalardan ayırır ancak tek başına akıllı yapmaz. Binaların tam olarak akıllı kabul edilebilmesi için yalnız bir noktadan yani yönetilebilmesi gereklidir (Franco, 2007). Binalarda soğutma, ısıtma, havalandırma, aydınlatma gibi sistemleri içeren mekanik / elektronik sistemler, bina maliyetinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Öte yandan bakım ve işletme maliyetleri de binanın diğer harcamalarına oranla çok daha fazladır (Kahraman, 2015).

Otomasyon sistemlerinin sunduğu hizmetlerden yararlanmak için Google Sheets yardımı ile bir yazılım geliştirmek ve bu hizmetten tamamen ücretsiz olarak faydalanmak mümkündür. Google Sheets ile geliştirilen otomasyon sisteminin kullanımı teknik bilgiler

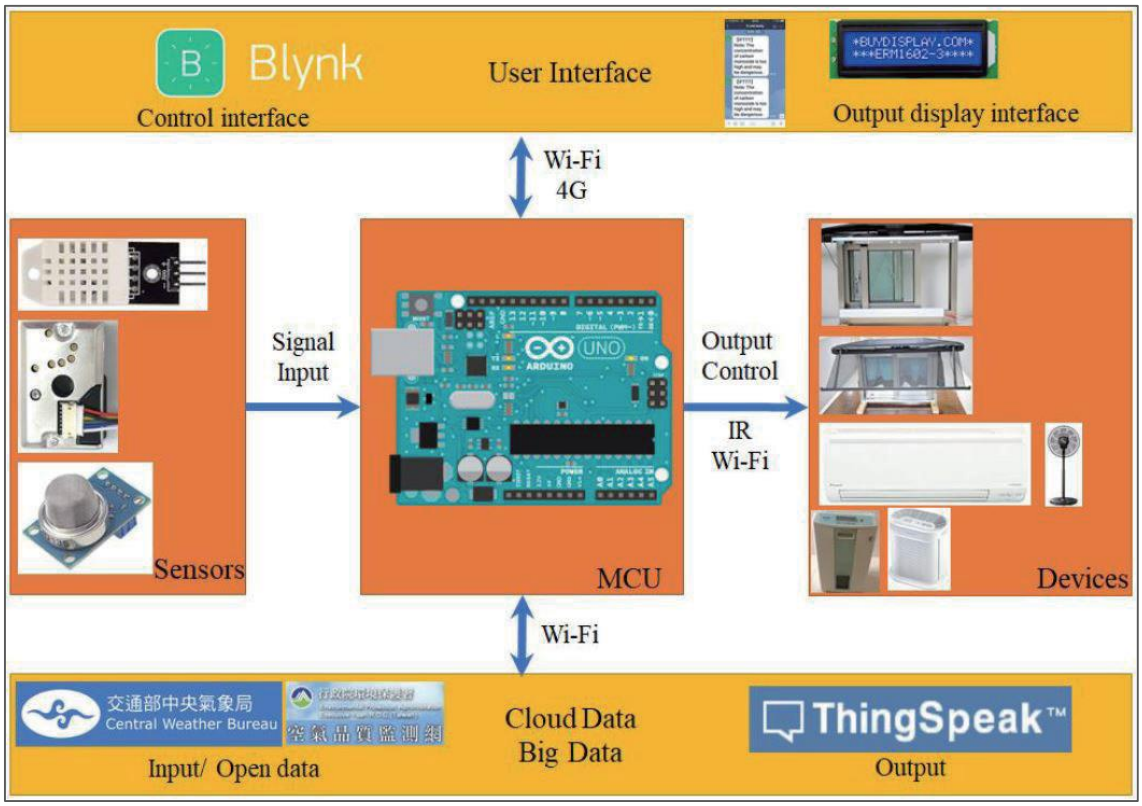
gerektirdiğinden ve her kullanıcı için bu işlemin gerçekteştirilmesi mümkün olmadığından, tez kapsamında hem Google Sheets yardımı ile bu otomasyonun gerçekleştirilmesi, hem de firmalar tarafından satılan ve mobil uygulamalar üzerinden yönetilen hazır otomasyon sistemleri üzerinden alternatifli bir yaklaşım sergilenmiştir.

Otomasyon sistemlerinin üç ana hedefi bulunmaktadır:

- Tek merkezden kontrol
- Enerji tasarrufu
- Güvenlik



Resim 3.6. Enerji veri yönetim sistemi mobil uygulama (Hsu ve diğerleri, 2020)



Resim 3.7. Enerji veri yönetim sistem şeması (Hsu ve diğerleri, 2020)

Enerji yönetimi ve bilgi sistemleri (EMIS), binalarda enerji kullanımını yönetmek için kullanılan geniş bir donanım ve yazılım yelpazesini temsil eder. EMIS terimi genellikle bina otomasyon sistemleri (BAS), bina yönetim sistemleri (BMS), enerji yönetim sistemleri (EMS), enerji yönetimi ve kontrol sistemleri (EMCS) ve doğrudan dijital kontrol (DDC) sistemleri dahil olmak üzere diğer terimlerle birbirinin yerine kullanılır (Baysal, 2008; Moseley, 2017). Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'nın Teknoloji Sınıflandırma Çerçevesi yönergelerine uygun olarak, burada bina ekipmanı kontrolleri sağlayan geleneksel BAS; veri analitiği sağlayan enerji bilgi sistemleri (EIS); ve veri analitiğine dayalı otomatik kontroller sağlayan otomatik sistem optimizasyonu (ASO).

Tüm binayı birbirine bağlı bir BAS, bina operasyonlarını yönetmek için kontrolleri merkezileştirir (Hakimi ve Hasankhani, 2020). Bir bina operatörünün belirli HVAC ayarlarını (sıcaklık, basınç ve program gibi) ve aydınlatma programlarını ünitede manuel olarak ayarlamak yerine merkezi bir konumdan ayarlamasına olanak tanır. Ek olarak, tipik bir BAS, temel kontrol dizilerini programlama yeteneği sağlar. Örneğin, bir operatör BAS'ı chiller kademelendirmesini yapılandırmak için kullanabilir, böylece daha küçük, daha az

enerji yoğun bir chiller düşük yükleri karşılamak için kullanılabilir ve daha büyük, daha enerji yoğun bir chiller yalnızca yük daha küçük chiller'leri aştığında kullanılabilir.

Bina otomasyon sistemlerinin olmadığı binalarda, bütün alt sistemler için farklı özellikte elemanlara ihtiyaç vardır. Oysa otomasyon sistemine sahip olan binalarda, bütün alt sistemler tek merkezden kontrol edilebilmektedir. Alt sistemler ile tasarruf sağlanması için, havalandırma, iklimlendirme, güvenlik, sirkülasyon, yangın gibi alt sistemlerin hem işletme kolaylığı, güvenilirliği, verimliliği ve hem ekonomikliği bakımından bina otomasyon sistemlerinin tercih edilmesi gerekmektedir (Baysal, 2008).

3.6. Asansör Sistemleri

Asansörler, merdivenler, kaçış merdivenleri, yürüyen merdivenler ve rampalar binaların düşey dolaşım sistemlerini oluşturur. Bu elemanlar, genellikle belli bölgede toplanarak yapının çekirdeğini oluşturur. Çekirdek olarak tanımlanan alan; asansör, merdiven gibi düşey ulaşım araçlarının yanında, elektrik-mekanik tesisatı için ayrılan düşey boşlukları, havalandırma/elektrik için gerekli şaftları içerir (Sönmez, 2006).

Günümüzde çok katlu binaların çoğu akıllı bina olarak inşa edilmektedir Bu sebeple akıllı binaların tamamına yakınında asansör sistemi kullanılmaktadır. Asansörlerin amacı yüksek katlı yapılarda kişiler konfor şartlarını artırmaktır. Öte yandan asansörler, yaşlı ve engelli kişiler için bir zorunluluk halini almaktadır. Asansör sistemleri yük taşınması konusunda da büyük bir kolaylık sağlamaktadır. (Uzun, 2009).

Asansör sistemlerinin yaygınlaşması ve hızlı artışı 2. Dünya Savaşı sonrası yüksek katlı binaların hızla çoğalması sonucu olmuştur (Soykan, 2009).

Birçok yapıda asansörlerin kullanılması ile klasik kontrol yöntemlerinin yerini yeni nesil kontrol sistemleri almıştır. Asansörlerin performansını arttırarak hareket süresini azaltmaktadır. Böylece asansör bekleme süreleri de azalmaktadır. Bilgisayar teknolojileri ile kontrol sistemleri asansör içerisinde yapılan programlama sonucu asansör trafik modelini oluşturmaktadır.

Yapılam yazılım sonucunda asansör sistemleri, nasıl çalışacağını, trafik modelini nasıl uygulayacağını, tehlike anında ne yapacağını bilmektedir. Güvenlik önlemleri ile başka

kontrol sistemleri ile haberleşme sağlayabilmekte ve diğer kontrol ve otomasyon sistemleri ile haberleşerek acil durumlarda sistem tarafından devre dışı bırakılmaktadır. (Ali, 2020).

Akıllı binalarda kullanılan asansör sistemleri aşağıda belirtilen işlemleri yapmaktadır:

- Bina trafik modelini olşturarak buna göre hareket etmektedir
- Kendini güncelleyebilmektedir
- Kontrol edilebilmektedir
- Otomasyon sistemine bilgi gönderebilmektedir
- Kartlı geçiş sistemi, parmak izi tanıma vb. sistemler uygulanabilmektedir.

3.7. Su Vana Armatür Sistemleri

Tüm yapılarda kullanılan diğer bir kaynak da sudur ve BM Çevre Programı'na göre dünyada halihazırda 1400 milyon km³ su bulunmaktadır. Fakat bu suyun yüzde 97,5'i tuzlu, yüzde 2,5'i tatlı sudur. Artmakta olan dünya nüfusu ve azalan yağışlar göz önüne alındığında bu miktarın yakın gelecekte yetersiz kalacağı öngörülmektedir.

Yapılarda kullanılan suyun etkin olarak kullanılabilmesi için ise bir çok yöntem geliştirmiş olup bu kapsamda geri kazanılmış su, zaman ayarlı musluklar, rezevuar sistemleri, fotoseller yardımı ile sarfiyatın azaltılması, akıllı sistemler ile uzaktan vana kontolü, gri su sistemleri ve debi kontrolünün sağlanması gibi yöntemlerden bahsedilebilecektir.

Konut içerisinde su tasarrufu sağlayabilmek küçük bir adım olarak görülse de teknolojik açıdan gelişmiş elemanların kullanılması konutun toplam enerji tasarrufuna katkı sağlayacaktır.

Konut içerisinde içme suyu ihtiyacı şebekeden sağlanmaktadır ve aylık ortalama su tüketimi 17 m 3 'dür. Bu miktarın bir kısmı içme suyu olarak bir kısmı ise temizlik, çamaşır vb. işlemler için kullanılmaktadır. (Geçer, Şentürk ve Büyükgüngör, 2018)

4. MEVCUT GELENEKSEL BİNALARIN AKILLI BİNALARA DÖNÜŞÜMÜ



Resim 4.1. Akıllı konut sistemleri (Kılıç, 2007)

Bu sistemlerin (Resim 6.1) her biri kendi alanında bir akıllı sistem olmak üzere bunlar bütüncül bir şekilde düşünülüp tek bir sistem altında toplanıldığı takdirde akıllı binaları oluştururlar (Akram, Franco ve Ismail, 2016; Feng ve Loparo 2019: 1-36).

Resim 6.2'de de görüldüğü üzere akıllı bina sistemlerinin uygulanacağı mevcut geleneksel bir dairenin kat planı bulunmaktadır. Bu dairede uygulanan akıllı bina sistemleri; akıllı ısıtma sistemleri, akıllı aydınlatma sistemleri, akıllı pencere açma/kapatma sistemleri, akıllı priz, akıllı pencere gölgelendirme ve akıllı su vana armatür sistemleri olarak gösterilebilir.



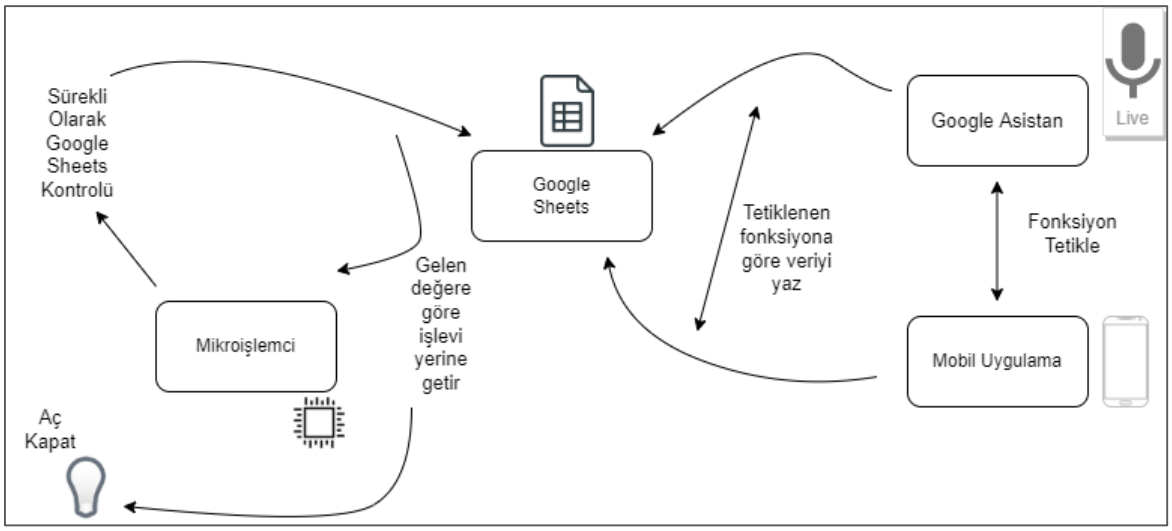
Resim 4.2. Baz alınan proje konutu için kat planı

4.1. Sistemin İşleyişi

Projede diğer akıllı bina sistemlerinin yanı sıra maliyetin minimum düzeye düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu da aradaki haberleşme, sunucu, sensör vs. maliyetlerin minimum düzeye düşürülmesini beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda Google Sheets hizmeti yardımıyla akıllı cihazlar aradaki haberleşmeyi ücretsiz bir şekilde sağlanabilmektedir. Ancak, tüm kullanıcıların yeterli yazılım ve donanım bilgisine ya da zamana sahip olamayacağından hareketle sistem hem ücretsiz olarak Google Sheets hizmeti yardımı ile hem BAS sistemleri tercih edilerek tasarlanacaktır.

Google Sheets hizmetiyle çalışan sistemin Resim 6.3'te de görüldüğü gibi işleyişi şu şekildedir: Veriler gönder-al mantığı ile http istekleri kullanılarak Google Sheets Api desteğiyle beraber çizelgelere yazılmaktadır. Sistemin veri gönderen kısmında bir mobil uygulama, sesli asistan vs. bulunabilir. Veri alan kısmında ise bir mikroişlemci bulunmaktadır. Bu bir NodeMCU kartı veya Arduino modeli olabilir. NodeMCU kartı, açık kaynak bir elektronik devredir. Düşük seviye gerilimli enerjiyle çalışmaktadır. Üzerinde çok sayıda bağlantı noktaları bulunmaktadır. Bu bağlantı noktaları kullanılarak, bağlanan elektronik bileşenler yönetilebilmektedir. Barındırdığı WiFi modülü sayesinde kolayca IoT üzerinde kontrol imkanı sağlar. HTTP kütüphaneleri sayesinde web istemleri yapılabilir veya web sunucusu çalıştırılabilir. Bu sayede internet üzerinden bu cihazla iletişime

geçilebilmektedir. Uzaktan bazı cihazlar açılıp kapatılabilmektedir. Ayrıca sürekli etkileşim halinde olabilmektedir. Bu nedenle sistemin veri alan kısmı tıpkı veri göndermede olduğu gibi NodeMCU ve Google Sheets Api desteğiyle beraber sürekli olarak çizelgelerdeki veriyi okur. Veriyi okuduktan sonra gelen değere göre gerekli fonksiyonu (ışığı aç, perdeyi kapat vs.) gerçekleştirir.



Resim 4.3. Sistemin işleyişi

BAS sistemleri ise hazır olarak satılmakta olup, çeşitli firmalardan temin edilmekte ve IoT özelliği barındıran bütün cihazlar sisteme entegre edilebilmektedir.

4.2. Akıllı İklimlendirme Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması

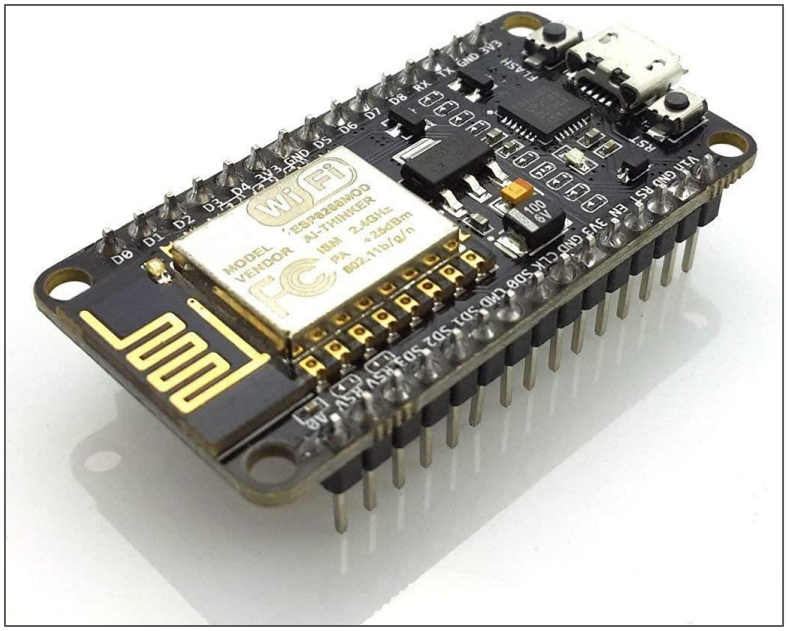
Örnek geleneksel dairede hâlihazırda doğalgaz kullanılıyor olmasından hareketle, ısıtma sistemi olarak doğalgazlı merkezi sistem tercih edilmiştir.

Konutlarda doğalgaz kombi ve petekler vasıtasıyla kontrol edilmekte olup konutun ısı kontrolü sağlanmaktadır. Ancak burada kontrol sadece kombi üzerinden olup maliyet hesabı yapılmaksızın kombi sürekli olarak çalışmaktadır. Akıllı ısıtma sistemlerinde ise kombi ve peteklerin kontrolü internet üzerinden ve maliyet hesabı yapılabilecek bir şekilde kullanılabilecektir.

Akıllı ısıtma sistemlerinde kullanılacak gerekli ekipmanlara gelindiğinde ise petekler için akıllı valfler, NodeMCU mikroişlemci kartı, akıllı termostat, akıllı röle gibi cihazlar karşımıza çıkmaktadır (Khanda, Salikhov, Gusmanov, Mazzara ve Mavridis, 2017).



Resim 4.4. Akıllı valf (Özler, 2003)



Resim 4.5. NodeMCU mikroişlemci kartı (Çetinkaya, 2016)

Sistem şu şekilde çalışmaktadır: Akıllı valfler peteklere bağlanarak manuel kontrol yerine mobil aplikasyon veya sesli asistan üzerinden kontrol edilebilmektedir. Oda sıcaklığı sürekli

olarak ısı sensörlerden gelen veriye göre kontrol edilerek NodeMCU ile birlikte odanın sıcaklığının stabil olması sağlanmaktadır.



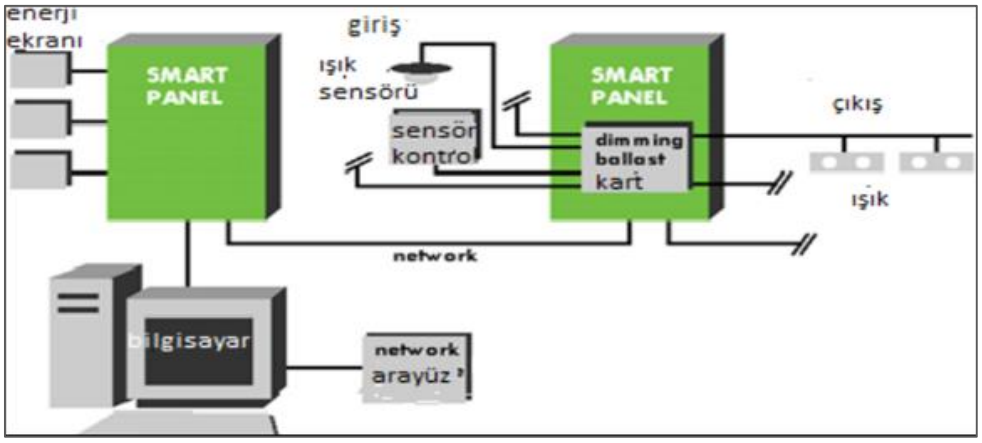
Resim 4.6. Akıllı termostat (Kıral, 2014)

4.3. Akıllı Aydınlatma Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması

Akıllı aydınlatma sistemleri, armatürlerin kullanıldığı her alanda kullanılabilir. Akıllı aydınlatma sistemlerinin çevre dostu olduklarının söylenmesiyle birlikte diğer bir anlamda karbon emisyonu raksını minimuma indirgedikleri de söylenebilir.

Sistem kablosuz olarak kontrol edilebilir. Yalnızca bir kumanda ile bile sistemin tamamını kontrol edebilmek mümkündür. Montaj işlemi kolaylıkla yapılır. Montaj işlemi bittikten sonra devreye alma işlemine gerek kalmaz. Armatürlerin her biri tek tek kontrol edilebilir. Ayrıca programlanabilir.

Aydınlatmanın önemli noktalara gelmesi üreticilerin kullandıkları teknolojileri sürekli olarak geliştirmeleri ayrıca her amaca yönelik farklı tür ve boyutlarda aydınlatma armatürleri üretmeleri durumunda oluşmuştur. Mekân tasarımı yapan profesyonellerin tasarladıkları mekânların meydana gelmesi içinde genellikle kullanılan aydınlatma armatürlerinin sayılarının ve çeşitlerinin artmasıyla birlikte aydınlatmanın kontrolünün gitgide komplike bir hale gelmesine sebep olmaktadır (Kapusuzoğlu, 2020).



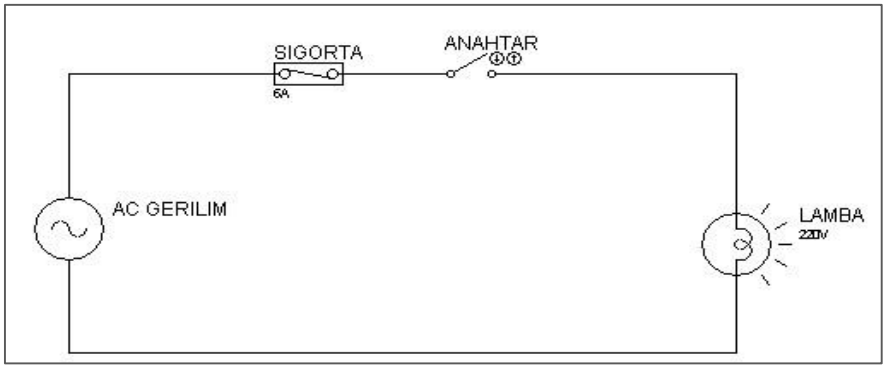
Resim 4.7. Örnek bir aydınlatma otomasyonu (Oğuz, 2007)

Akıllı aydınlatma sistemlerinin genel olarak enerji tüketimindeki payı %2 ile %10 arasında değişmektedir. Bu sistemlerde yapılan çalışmalarla verimlilik şu şekilde sağlanabilir:

- Işık akısı aynı olan ancak daha az enerji tüketen aydınlatma elemanları kullanılabilir.
- İlk kurulum aşamasında verimlilik öncelenebilir.
- Akıllı aydınlatma sistemlerinin bakım ve onarım çalışmalarında verimlilik esas alınabilir.

Akıllı aydınlatma sistemlerinin kullanılma amaçlarına gelecek olursak; gün ışığının verimli kullanımı, enerjinin kullanıldığı yerlere göre verimli olması, enerjide masrafların azaltılması, güvenlik zaafiyetlerinin kapatılması, çeşitli bakım ve onarım işlemlerinin daha az masraflı olması gibi maddeler örnek olarak gösterilebilir.

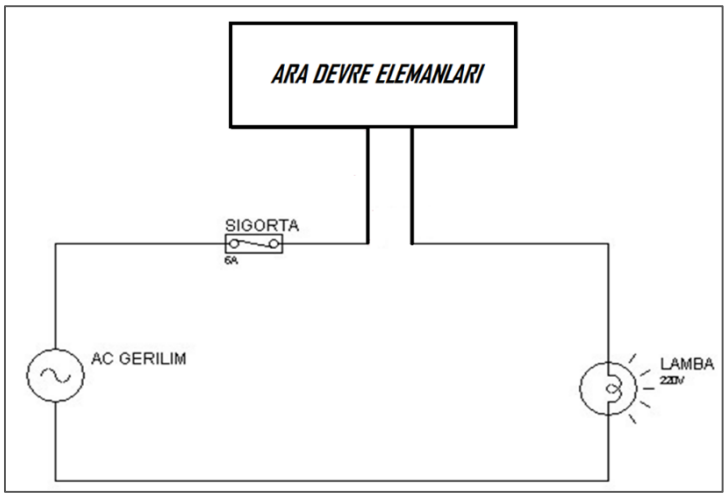
Mevcut geleneksel aydınlatma sistemlerinin örnek bir devre şeması gösterilirse;



Resim 4.8. 220 volt aydınlatma devresi

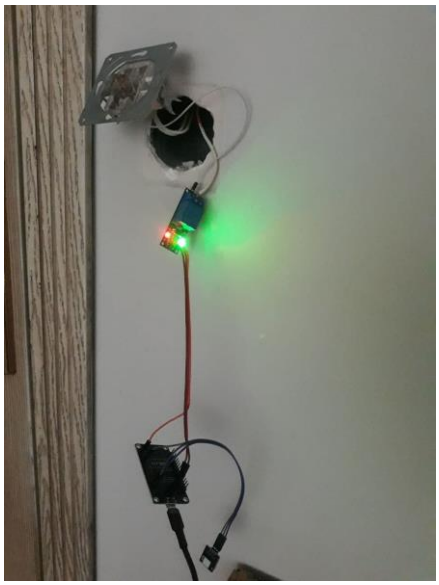
Resim 6.8’de bir anahtar vasıtası ile lambanın kontrolü sağlanmaktadır. Olası elektrik tehlikelerine karşı olarak da bir sigorta kutusu ile devre üzerindeki akım kontrol edilmektedir.

Akıllı aydınlatma sistemlerinde ise Resim 6.8’deki devreye ilaveten sistemin uzaktan kontrol edilebileceği akıllı anahtarlar, çeşitli mikroişlemciler, akıllı prizler gibi birçok devre elemanı eklenebilmektedir.



Resim 4.9. Ara devre elemanları eklenmiş devre

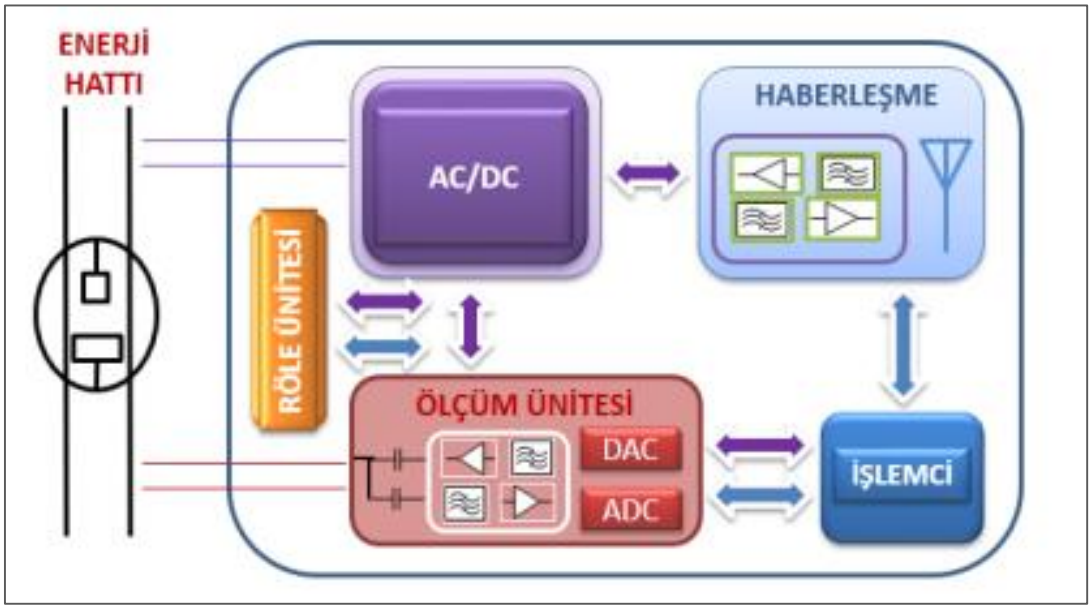
Resim 6.9’da da görüldüğü gibi devreyi tamamlayan anahtar çıkartılıp yerine akıllı anahtarlar, çeşitli mikroişlemciler, akıllı prizler gibi birçok devre elemanı yerleştirilebilir.



Resim 4.10. Devrenin prize monte edilmiş biçimi

Çalışmada Resim 6.2'de gösterilen örnek konut krokisinden devam edilecek olursa 2 numaralı odada Resim 6.10'da da görüldüğü gibi NodeMCU, röle ve kablolar yardımıyla devre tamamlanmıştır. Devrenin bağlanma şekli şu şekildedir: Duvarda sabit duran anahtar yerinden çıkarılır. Anahtara bağlı olan faz ve nötr kablolarından biri röleye bağlanır. Daha sonra araya bir kablo çekilerek anahtarın boşta kalan ucu ile rölenin diğer girişi birbirine bağlanır. Rölenin güç girişi NodeMCU üzerinden beslenilerek kodlama yapılmak üzere diğer pin girişleri de yapılır.

Buradan yola çıkarak konutlarda enerji verimliliğinin sağlanmasıyla, tüketimde de verimlilik sağlanabilir. Diğer taraftan, konutlardaki ve işyerlerindeki priz yükleri toplam yüklerin neredeyse %60'ını oluşturur. Bu oranın belirli bir kısmı cihazların sürekli olarak prizlerde takılı bırakılmasından kaynaklanır. Bu sarfiyatı önlemek için priz yükleri yönetim algoritmaları oluşturmak gerekir. Prizlere takılan elektrikli cihazların yönetim algoritmalarına dahil edilebilmesi için "akıllı" olmaları gerekir. Mevcut sistemde cihazlar henüz akıllı yapıda olmadığı için akıllı prizler tercih edilir. Akıllı prizler ile cihazların kontrol edilebilmeleri ve izlenebilmeleri sağlanır. Öte yandan akıllı prizlerden alınan verilerin, elektrik üretim şirketlerine iletilmesi ile pik taleb azaltılabilir ve fiyata göre tüketim saatleri ayarlanabilir (Civan, 2006).



Resim 4.11. Akıllı priz genel yapısı (Oğuz, 2007)



Resim 4.12. Akıllı priz (Oğuz, 2007)

4.4. Akıllı Pencere Gölgeleme Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması

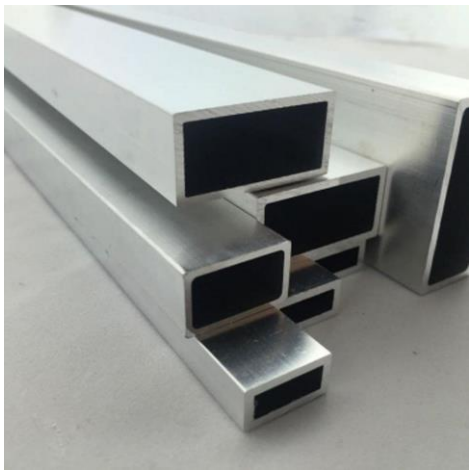
Konutlarda aşırı ısınmanın kontrolü, ısıl ve görsel konforun sağlanması için birincil önlem gölge elemanlarının kullanımıdır. Gölge elemanları farklı koşullara göre iç ortamda, dış ortamda ya da cam sistemi içinde, iki cam arasında yer alabilmektedir. Üretiminde ise metal, ahşap, plastik ya da dokuma gibi malzemeler kullanılabilir. Gölge elemanının iç yerine dış ortamda kullanımı güneş ısı kazancını düşürmede daha etkilidir (Şahinoğlu, 2012).



Resim 4.13. Step motor (Çetinkaya, 2016)

Bu çalışmada Resim 6.2'de görülen kroki baz alındığında 6 adet dış cephe için akıllı pencere gölgeleme sistemi ihtiyacı görülmektedir. Resim 5.6 baz alınan gölgeleme sistemi düşünüldüğünde bu gölgeleme sisteminin çeşitli motor, profil, tente vb. malzemelerle üretilmesi mümkündür. Sistemin içeriği şu şekildedir: 3 adet profil içeren sistem, 2 adet

profili yan kısımlarda diğer profili ise uzun bir biçimde uç kısımda bulundurmaktadır. Sistemin pencereye dayalı kısmında köşe noktalarına yakın olarak iki adet motor bulunmaktadır ve sistemin üzerini ise tente kaplamaktadır.



Resim 4.14. Aluminyum profil (Kıral, 2014)

Sistem akıllı bir röle yardımıyla akıllı konut sistemine dahil edilerek herhangi bir aplikasyon veya sesli asistan üzerinden kontrol edilebilmektedir. Aynı zamanda sisteme havanın sıcaklığını veyahut aydınlığını ölçen vb. çeşitli sensörler eklenerek sistemin daha da otomatikleşmesi sağlanabilmektedir. Sistem şu şekilde çalışmaktadır: Odaya bağlı bir adet NodeMCU bulunmaktadır. NodeMCU'nun üzerindeki pinlere motorlar ve varsa sensörler bağlanarak 'Sistemin İşleyişi' başlığı altında anlatılan yöntemle birlikte kontrol edilebilmektedir.



Resim 4.15. Tente (Kıral, 2014)

4.5. Akıllı Pencere Açma Kapatma Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması

Akıllı Pencere açma kapatma sistemleriyle donatılmış binalar, dış ortamdaki iklimsel değişikliklere uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Günlük veya yıllık olarak gerçekleşen, bulutlu veya güneşli havada iç mekana daha çok hava girmesini sağlayacak şekilde pencereler açılıp kapanabilmektedir.

Bu sistemin diğer bir tanımı yapılırsa, iklime uyum sağlayabilen, değişen performans gereksinimlerine ve değişken sınır koşullarına cevap olarak zaman içinde bazı işlevlerini, özelliklerini veya davranışlarını değiştirme yeteneğine sahip ve bunu genel bina performansını iyileştirmek amacıyla yapan bir sistem şeklinde tanımlanabilir.



Resim 4.16. Akıllı pencere açma kapatma sistemi (Özler, 2003)

Akıllı pencere açma kapatma sistemlerinin uygulanmasında uygulanacak yöntem şu şekildedir:

Pencereye ve pencerenin çerçevesine uygun delikler açılır. Daha sonra açılan deliklere uygun civatalarla birlikte pencere açma kapatma sistemi yerleştirilerek montajı yapılır. Montajdan sonra mobil aplikasyon veya sesli bir asistan yardımıyla akıllı konut sistemine dahil edilir.

4.6. Enerji Yönetim Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması

Akıllı konut otomasyon sistemleri, kullanıcı veya kurulum yapan kişi tarafından oluşturulabilecek çeşitli senaryolar aracılığıyla, konforun yanı sıra sağlık problemi, hırsızlık, gaz kaçağı, yangın, deprem gibi karşılaşılması mümkün acil durumlarda hem koruyucu/önleyici ve hem de kurtarıcı birçok fonksiyonlara sahip olabilir (Fotopoulou, 2017). Akıllı konut otomasyon sistemi konut sakinlerine daha konforlu, kullanıcının hayatını kolaylaştıran olanaklar sunarken, herhangi bir operatöre ihtiyaç duymadan işlemleri gerçekleştiren aynı zamanda tasarruf sağlayan sistemlerdir.

Sistemin üç temel amacı vardır. Sistemin ekonomik olması, bir düzen ve görsellik algısı oluşturması ve otomasyonun kendini denetleyen ve düzelten yapıda olmasıdır (Aslam, Iqbal, Javaid, Khan, Aurangzeb ve Haider, 2017). Yazılım ve donanımın bir arada kullanılarak bilgi akışının kontrol edildiği sistemler olan bina otomasyonları, gelecekte sistemde olabilecek ekleme ve değişiklikleri sadece yazılımda yapılacak güncellemeler ile gerçekleştirebilecek sistemler olarak tanımlanabilecektir.



Resim 4.17. Enerji yönetim sistemi (Kıral, 2014)

Son 20 yıldır, akıllı konut ve konut otomasyon sistemleri üzerine yoğunlaşan çalışmalar devam etmektedir. Koruyucu/önleyici özellikler literatüre girme özelliğini yeni yeni kazanmaktayken, kurtarıcı özelliklere ise henüz literatürde pek rastlanılmamaktadır. Bu sebeple yakın süreçte, akıllı konut ve konut otomasyon sistemlerinin olası acil durumlarda koruyucu ve kurtarıcı özelliklerinin bir arada kullanıldığı, daha gelişmiş sistemlerin tercih edilmesi kaçınılmazdır (Brotas, Roaf ve Nicol, 2017c; Eini, Linkous, Zohrabi ve Abdelwahed, 2021).

Enerji yönetim sistemleri tak/çalıştır etkinleştir mantığıyla çalışmakla beraber, sistemin sahibi olan firmaya göre farklı mobil aplikasyonlara sahip olabilir. Güvenlik kamerası, home

assistant (konut sesli asistanı), hareket sensörü gibi birçok ek cihazı bünyesinde barındırarak konut için gerekli kontrolün sağlanmasına yardımcı olmaktadır.

4.7. Akıllı Su Vana Armatür Sistemlerinin Mevcut Geleneksel Binalara Uygulanması

Akıllı su vana armatür sistemleri, binanın su durumu ve kontrolü ile ilgili araçları ve bilgileri sağlayacak farklı hesaplama yöntemleri kullanarak ağı izlemek, denetlemek, yönetmek ve optimize etmek için kullanılan bir yöntem olarak tanımlanır (Uğur ve Leblebici, 2019). Nesnelerin interneti, kablosuz sensör teknolojisini kullanarak insanları ve cihazları birbirine bağlayan akıllı izlemenin önemli bir parçasını oluşturur. IoT, yeni teknolojiyle gömülü farklı elektronik cihazlar arasında bilgi aktarımını mümkün kılar.

Su dağıtım sistemi ülkelerin ekonomik büyümesini etkileyen çok önemli bir araştırma alanıdır. Su dağıtım sisteminin esas olarak iki sorunu vardır. İlk sorun sızıntıya bağlı su kaybı, ikincisi ise kirlenmeye eğilimli olmasıdır. Halkın sağlığını ve güvenliğini etkiliyor. Dünya sağlık Örgütü'nün 2017 raporuna göre, dünya genelinde yaklaşık 2,1 milyar insan güvenli içme suyundan yoksundur. Bu nedenle, bu sorunu azaltmak için IoT ve akıllı su vana armatür gibi sistemler kullanılarak su kalitesini ve israfını sağlamaya ihtiyaç vardır (Uğur ve Leblebici, 2019; Radhakrishnan ve Wu, 2018).

Projede uygulanması planlanan akıllı su armatürlerinin amaçları sudaki enerji verimliliğini maksimum düzeye çıkarmak, suyun kullanılmadığı zamanlarda suyun kapalı kalmasını sağlamak, suyun düzeyini optimum seviyeye ayarlamaktır. Akıllı su vana armatür sistemlerinin malzemelerine gelindiğinde akıllı konut sistemi elektrikli su vanası, akıllı konut sistemi küresel vana, akıllı konut wifi su kaçak sensörü, vana kontrol kiti gibi cihazlar karşımıza çıkmaktadır. Sistemin uygulanış biçimi ise sensörlerin gerekli alanlara yerleştirilmesi ve akıllı vanaların normal vanalarla değişiminin yapılmasını gerektirir.



Resim 4.18. Akıllı su vana armatürü (Pamuklu, 2019)

5. MALİYET VE FAYDA ANALİZİ

Akıllı konut sistemlerinin sağladığı kolaylıklar yanı sıra bunların dışında bütün sistemin maliyet ve fayda analizinin de yapılması büyük önem arz etmektedir. Enerjinin çok pahalı olduğu günümüzde akıllı konut teknolojileri, konutun enerjiyi verimli olarak kullanmasını sağlamalıdır (Baknalı, 2019; Göksu, 2010). Bu bölümde sistemde bulunan bütün uygulamaların ayrı ayrı analizi yapılacaktır. Proje için planlanan konutta 5 alan için akıllı konut sistemi uygulanacaktır. Otomasyon türleri için enerji kazanımları örnek bir çalışmada hesaplanan çizelgeye göre aşağıdaki gibi gösterilmiştir:

Çizelge 5.1. Yapılan otomasyon türüne göre enerji kazanımları (Akbaş, 2013)

Otomasyon Türü	Ortalama Enerji Tasarrufları (%)
Odalarda iklimlendirme kontrolü	14-25
Bina genelinde iklimlendirme kontrolü	7-17
Perde/panjur kontrolü	9-32
Aydınlatma kontrolü	25-58
Havalandırma kontrolü	20-45

Bir başka çalışmada yapılan hesaplamalara göre otomasyon türlerinin enerji kazanımları ise aşağıdaki gibi gösterilmiştir:

Çizelge 5.2. Akıllı sistemlerin enerji kazanımları (Benavente Peces, 2019; King ve Perry, 2017)

Sistem	Teknoloji	Enerji Kazanımı (%)
HVAC	Değişken Hız Kontrolü	15–50
HVAC	Akıllı Ortam Algılama	5–10
Priz	Akıllı Priz	50–60
Priz	Gelişmiş Güç Şeridi	25–50
Aydınlatma	Sensörler, Akıllı Kontrol Cihazları	45
Aydınlatma	Web Tabanlı Yönetim	20–30
Pencere Gölgeleme	Otomatik Gölge Sistemi	21–38
Pencere Gölgeleme	Değiştirilebilir Film	32–43
Pencere Gölgeleme	Akıllı Cam	20–30
Bina Otomasyonu	Bina Otomasyon Sistemi	10–25
Analitik	Bulut Tabanlı Sistem	5–10

Maliyet ve fayda analizleri için “Akıllı Binalarda Kullanılan Sistemlerin Sürdürülebilirlik Bağlamında İrdelenmesi” isimli kaynaktan Çizelge 4.1’deki verilerden ve örnek karlılık gösterimindeki formül ve yöntemlerden faydalanılmıştır (Akbaş, 2013). “On the Energy Efficiency in the Next Generation of Smart Buildings” isimli kaynaktan ise diğer enerji verimliliği yüzdeleri referans olarak alınmıştır (Benavente Peces, 2019). Bu kaynaklardan referans alınarak maliyet ve fayda analizinde kullanılan değerler, ortalama enerji kazanım değerleri üzerinden hesaplanmıştır.

Maliyet ve Fayda analizinde kullanılan elektrik birim fiyatı epdk.gov.tr web adresinden güncel olarak alınmıştır. Doğalgaz birim fiyatı ise igdas.istanbul web adresinden güncel olarak alınmıştır. Su birim fiyatı ise iski.istanbul web adresinden güncel olarak alınmıştır.

5.1. Akıllı İklimlendirme Sistemlerinin Maliyet ve Fayda Analizi

Akıllı iklimlendirme sisteminin maliyet analizi şu şekilde hesaplanabilir:

Çizelge 5.3. Akıllı ısıtma sistemlerinin maliyet ve fayda analiz çizelgesi

Eklenecek Sistem Adı	Birim Fiyat	Adet	Toplam Maliyeti (TL)
Akıllı Valf	526,84	5	2634,2
NodeMCU Mikroişlemci Kartı	122,55	5	612,75
Akıllı Termostat	359	5	1795
Kablosuz Klima Kontrol Paneli	500	2	1000
Kablo, Adaptör	76	5	380
Montaj ve Kurulum	500		500
Toplam Maliyet			6921,95

Çizelge üzerindeki ürünlerin fiyatları akıllı valf, A; akıllı termostat, B; kablosuz klima kontrol paneli, C; NodeMCU mikroişlemci kartı, D firmalarından olmak üzere ortalama olarak alınmıştır. Diğer ürünlerin fiyatları ise E firmasından alınmıştır.

Sistemin toplam maliyeti Çizelge 6.3’te görüldüğü gibi 6921,95 TL olarak hesaplanmıştır.

Sistemin fayda analizine gelindiğinde aşağıdaki şekilde bir hesaplama yapılabilir:

Akıllı iklimlendirme sisteminin etki ettiği enerji alanlarından birisi ısı enerjisidir. Sistem konut dahilinde bulunmadığı süreç içerisinde referans olarak alınan konutta ikamet eden kişinin mevcut faturasından alınan veriye göre aylık 246 m^3 harcama ile 542,23 TL değerinde bir maliyet getirmiştir. Uygulanacak olan akıllı iklimlendirme sisteminin % 15'lik bir enerji kazanımı sağladığı Çizelge 6.1'de de görülmektedir. Buradan yola çıkarak aşağıdaki örneği verebiliriz:

Konutun normalde ısınması için harcanması gereken enerjinin 246 m^3 olduğunu varsayarsak, normal ısıtma sisteminin bütün senede 6 ay kapalı kalacağı baz alınır.

Sistemin %15'lik bir enerji kazanımı sağladığı ve ısınmanın da birim fiyatının 4,097745 TL/m^3 olduğu göz önüne alınırsa:

Sistemin enerji kazanımıyla oluşan birim fiyatı = 4,097745 * 0,15 = 0,614 TL/m^3 olur.

Çizelge 5.4. 246 m^3 harcama yapan sistem için örnek karlılık gösterimi

Isıtma Sisteminin Getirdiği Yük			
Isınma	246 m^3	Aylık Harcama	246 m^3
Ortalama süreler			
Süre	6 ay		
Ortalama karlılık			
	1 m^3 = 0,614 TL/m^3	Yük: 246 m^3 / ay	
Kar	0,614 TL/m^3 x 246 m^3 / ay x 6 ay = 906,26 TL		

Çizelgeye bakıldığında sistemin senede yaklaşık 906,26 TL kar ettiği görülmektedir. Sistemin maliyetinin 6921,95 TL olduğu bilinmektedir. Buradan yola çıkarak sistemin kendini sübvanse etme süresi:

6921,95 / 906,26 ≅ 8 yıl olarak hesaplanır.

5.2. Akıllı Aydınlatma Sistemlerinin Maliyet ve Fayda Analizi

Akıllı aydınlatma sisteminin maliyet analizi şu şekilde hesaplanabilir:

Çizelge 5.5. Akıllı aydınlatma sistemlerinin maliyet ve fayda analiz çizelgesi

Eklenecek Sistem Adı	Birim Fiyat	Adet	Toplam Maliyeti (TL)
Röle Modülü	227,99	5	1139,95
NodeMCU Mikroişlemci Kartı	122,55	5	612,75
Akıllı Anahtar	291,25	5	1456,25
Akıllı Priz	166,13	5	830,65
Kablo, Adaptör	83	1	83
Montaj ve Kurulum	600		600
Toplam Maliyet			4722,6

Çizelge üzerindeki ürünlerin fiyatları akıllı anahtar, akıllı priz, A; NodeMCU mikroişlemci kartı, B firmalarından olmak üzere ortalama olarak alınmıştır. Diğer ürünlerin fiyatları ise C firmasından alınmıştır.

Sistemin toplam maliyeti çizelgede de görüldüğü üzere 4722,6 TL olarak hesaplanmıştır.

Sistemin fayda analizine gelindiğinde şu şekilde bir hesaplama yapılabilir:

Akıllı aydınlatma sistemlerinin etki ettiği alanlardan birisi elektrik tüketimidir. Buradan yola çıkarak sistemin normal güç tüketimi ile akıllı aydınlatma sistemleriyle beraber olan güç tüketimini hesaplamak için aşağıdaki çizelge örnek gösterilebilir. Normal aydınlatma sisteminin yaz ve kış aylarındaki kapalı kalma süreleri, kış ayları için günlük 5 saat ve yaz ayları için günlük 10 saat olarak baz alınır. Led ampullerle aydınlatmanın sağlandığı sistemde elektrik tüketiminin birim fiyatı 1,37 TL/ kWh olmaktadır. Çizelge 6.1'deki veriler incelenirse aydınlatma sistemlerinin yaklaşık olarak %55'lik bir enerji kazanımı sağladığı görülmektedir. Buradan yola çıkarak:

Sistemin enerji kazanımıyla oluşan birim fiyatı = 1,37* 0,55 = 0,753 TL/kWh olur.

Çizelge 5.6. 300 W'lık sistem için örnek karlılık gösterimi

Aydınlatma Sisteminin Gündüz Saatleri İçin Getirdiği Yük			
Led Ampul	30 W	10 adet	300 W
Ortalama süreler			
Kış	Ortalama 5 ay	140 Gün x 5 saat	700 Saat
Yaz	Ortalama 7 ay	196 Gün x 10 saat	1960 Saat
Ortalama karlılık			
	1kWh=0,753 TL/kWh	Yük: 0,3 kW	Süre: 2660 saat
Kar	0,753 TL / kWh x 0,3 kW x 2660 h = 600,89 TL		

Çizelgeye bakıldığında sistemin senede yaklaşık 600,89 TL kar ettiği görülmektedir. Sistemin maliyetinin 4722,6 TL olduğu bilinmektedir. Buradan yola çıkarak sistemin kendini sübvanse etme süresi:

4722,6 / 600,89 ≅ 8 yıl olarak hesaplanır.

5.3. Akıllı Pencere Gölgeleme Sistemlerinin Maliyet Analizi

Akıllı pencere gölgeleme sisteminin maliyet analizi şu şekilde hesaplanabilir:

Çizelge 5.7. Akıllı pencere gölgeleme sistemlerinin maliyet ve fayda analiz çizelgesi

Eklenecek Sistem Adı	Birim Fiyat	Adet	Toplam Maliyeti (TL)
Motor	386,83	6	2320,98
NodeMCU Mikroişlemci Kartı	122,55	6	735,3
Aluminyum Profil	43,51	6	261,06
Tente	375	6	2250
Kablo, Adaptör	72	1	72
Montaj ve Kurulum	600		600
Toplam Maliyet			6239,34

Çizelge üzerindeki ürünlerin fiyatları motor, aluminyum profil, tente, A; NodeMCU mikroişlemci kartı, B firmalarından olmak üzere ortalama olarak alınmıştır. Diğer ürünlerin fiyatları ise C firmasından alınmıştır.

Sistemin toplam maliyeti çizelgede görüldüğü üzere 6239,34 olarak hesaplanmıştır.

5.4. Akıllı Pencere Açma Kapatma Sistemlerinin Maliyet Analizi

Akıllı pencere açma kapatma sisteminin maliyet analizi şu şekilde hesaplanabilir:

Çizelge 5.8. Akıllı pencere açma kapatma sistemlerinin maliyet ve fayda analiz çizelgesi

Eklenecek Sistem Adı	Birim Fiyat	Adet	Toplam Maliyeti (TL)
Pencere Açma Kapatma Motoru	2431,44	6	14588,64
Kablo, Adaptör, Civata	143	1	143
Montaj ve Kurulum	600		600
Toplam Maliyet			15331,64

Çizelge üzerindeki ürünlerin fiyatları pencere açma kapatma motoru, A; NodeMCU mikroişlemci kartı, B firmalarından olmak üzere ortalama olarak alınmıştır. Diğer ürünlerin fiyatları ise C firmasından alınmıştır.

Sistemin toplam maliyeti çizelgede de görüldüğü üzere 15331,64 olarak hesaplanmıştır.

5.5. Akıllı Pencere Açma Kapatma ve Gölgeleme Sistemlerinin Fayda Analizi

Akıllı pencere açma kapatma ve gölgeleme sistemleri aynı kategori altında bulunduğu için fayda analizleri birlikte yapılacaktır.

Akıllı pencere sistemlerinin etki ettiği alanlardan birisi elektrik tüketimidir. Buradaki sistemlerin normal güç tüketimleri ile akıllı pencere sistemleriyle beraber olan güç tüketimleri aşağıdaki çizelge üzerinden incelenebilir. Akıllı pencere sistemlerinin yaklaşık olarak %18'lik bir enerji kazanımı sağladığı bilgisine Çizelge 6.1'den ulaşılabilir. Çeşitli motorlarla çalışan sistemlerden; pencere açma kapatma sisteminin günlük olarak yaklaşık 9 saat kapalı (gün içinde aydınlatma, ısınma gibi değişken özelliklere göre) ve pencere gölgeleme sisteminin ise günlük olarak yaklaşık 12 saat kapalı (gece ve gündüz durumuna göre) olduğu baz alınmaktadır. Elektrik tüketiminin birim fiyatı 1,37 TL/ kWh'dır. Sistemin %18'lik enerji kazancı sağladığı düşünüldüğünde:

Sistemin enerji kazanımıyla oluşan birim fiyatı = 1,37* 0,29 = 0,397 TL/kWh olur.

Çizelge 5.9. 640 W'lık sistem için örnek karlılık gösterimi

Pencere Sistemlerinin Gündüz Saatleri İçin Getirdiği Yük			
Pencere Açma Kapatma Sistemi	40 W	8 adet	320 W
Pencere Gölgeleme Sistemi	40 W	8 adet	320 W
Ortalama süreler			
Pencere Açma Kapatma Sistemi	12 ay	365 Gün x 9 saat	3285 Saat
Pencere Gölgeleme Sistemi	12 ay	365 Gün x 12 saat	4380 Saat
Ortalama karlılık			
	1kWh=0,397 TL/kWh	Yük: 0,64 kW	Süre: 7665 saat
Kar	0,397 TL / kWh x 0,64 kW x 7665 h = 1.947,52 TL		

Çizelgeye bakıldığında sistemin senede yaklaşık 1.947,52 TL kar ettiği görülmektedir. Sistemin maliyetinin 21.570,98 TL olduğu bilinmektedir. Buradan yola çıkarak sistemin kendini sübvanse etme süresi:

21.570,98 / 1.947,52 ≅ 11 yıl olarak hesaplanır.

5.6. Enerji Yönetim Sistemlerinin Maliyet ve Fayda Analizi

Enerji yönetim sisteminin maliyet analizi şu şekilde hesaplanabilir:

Çizelge 5.10. Enerji yönetim sistemlerinin sistemlerinin maliyet ve fayda analiz çizelgesi

Eklenecek Sistem Adı	Birim Fiyat	Adet	Toplam Maliyeti (TL)
Enerji Yönetim Sistemi	2.231,07	1	2.231,07
Enerji Veri Yönetim Kutusu (BAS)	2350	1	2350
Kablo, Adaptör, Civata	157	1	157
Montaj ve Kurulum	600		600
Toplam Maliyet			5.388,07

Çizelge üzerindeki enerji yönetim sistemi, enerji veri yönetim kutusu isimli ürünlerin fiyatları A firmasından ortalama olarak alınmıştır. Diğer ürünlerin fiyatları ise B firmasından alınmıştır.

Sistemin toplam maliyeti çizelgede de görüldüğü üzere 5.388,07 olarak hesaplanmıştır.

Enerji yönetim sistemlerinin etki ettiği alanlardan birisi elektrik tüketimidir. Enerji yönetim sistemleri içinde birçok cihazı barındırmaktadır ve bunların güç tüketimine ayrı ayrı etkileri bulunmaktadır. Bu cihazların harcadıkları güçlerin toplamını hesaplayarak sistemin fayda analizi yapılabilir. Çizelge 6.1'deki veriler incelenirse enerji yönetim sistemlerinin yaklaşık olarak %24'lik bir enerji kazanımı sağladığı görülmektedir Sistemin günlük olarak yaklaşık 7 saat kapalı olduğu baz alınmaktadır. Buradan yola çıkarak elektriğin normal birim fiyatı üzerinden enerji tasarrufu sağlanmış birim fiyatına ulaşabiliriz.

Sistemin enerji tasarrufuyla oluşan birim fiyatı = 1,37 * 0,24 = 0,328 TL/kWh olur.

Çizelge 5.11. 650 W'lık sistem için örnek karlılık gösterimi

Enerji Yönetim Sistemlerinin Gündüz Saatleri İçin Getirdiği Yük			
Enerji Yönetim Sistemi	650 W	1 adet	650 W
Ortalama süreler			
Süre	12 ay	365 Gün x 7 saat	2555 Saat
Ortalama karlılık			
	1kWh=0,328 TL/kWh	Yük: 0,65 kW	Süre: 2555 saat
Kar	0, 328 TL / kWh x 0,65 kW x 2555 h = 544,72 TL		

Çizelgeye bakıldığında sistemin senede yaklaşık 544,72 TL kar ettiği görülmektedir. Sistemin maliyetinin 5.388,07 TL olduğu bilinmektedir. Buradan yola çıkarak sistemin kendini sübvanse etme süresi:

$5.388{,}07 / 544{,}72 \cong 10$ yıl olarak hesaplanır.

5.7. Akıllı Su Vana Armatür Sistemlerinin Maliyet ve Fayda Analizi

Akıllı su vana armatür sisteminin maliyet analizi şu şekilde hesaplanabilir:

Çizelge 5.12. Akıllı su vana armatür sistemlerinin maliyet çizelgesi

Eklenecek Sistem Adı	Birim Fiyat	Adet	Toplam Maliyeti (TL)
Akıllı konut Sistemi Fotoselli Armatür	4.366	2	8732
Akıllı konut Sistemi Küresel Vana	590	1	590
Akıllı konut Wifi Su Kaçak Sensörü	350	2	700
Vana Kontrol Kiti	264	2	528
Kablo, Adaptör, Civata	143	1	143
Montaj ve Kurulum	600		600
Toplam Maliyet			11293

Çizelge üzerindeki ürünlerin fiyatları akıllı konut sistemi fotoselli armatür, akıllı konut sistemi küresel vana, A; akıllı konut wifi su kaçak sensörü, B; vana kontrol kiti, C firmalarından olmak üzere ortalama olarak alınmıştır. Diğer ürünlerin fiyatları ise D firmasından alınmıştır.

Sistemin toplam maliyeti çizelgede de görüldüğü üzere 11293 TL olarak hesaplanmıştır.

Akıllı su vana armatür sistemlerinin etki ettiği alanlardan birisi su tüketimidir. Buradaki sistemin normal su tüketimleri ile akıllı su vana armatür sistemiyle beraber olan güç tüketimleri aşağıdaki çizelge üzerinden incelenebilir. Akıllı su vana armatür sistemlerinin yaklaşık olarak %35'lik bir enerji kazanımı sağladığı bilgisine Avrupa Su Etiketi alan bir A firmasından ulaşılabilir. Geleneksel su armatürlerinin açık kalma süresi, aylık 11 saat olarak baz alınır. Su tüketiminin birim fiyatı 2,08 TL/m^3'dür. Sistemin %35'lik enerji kazancı sağladığı düşünüldüğünde:

Sistemin enerji kazanımıyla oluşan birim fiyatı = 2,08* 0,35 = 0,728 TL/m^3 olur.

Çizelge 5.13. 9 m^3'lük sistem için örnek karlılık gösterimi

Geleneksel Su Armatürünün Toplam Su Tüketimi			
Geleneksel Armatürünün Tüketimi	4.5 m^3 /h	2 adet	9 m^3 /h
Ortalama süreler			
Ay	12 ay	12 x 11 saat	132 Saat
Ortalama karlılık			
	1 m^3=0,728 TL/m^3	Yük: 9 m^3 /h	Süre: 132 saat
Kar	0,728 TL/m^3 x 9 m^3 /h x 132 h = 864,86 TL		

Çizelgeye bakıldığında sistemin senede yaklaşık 864,86 TL kar ettiği görülmektedir. Sistemin maliyetinin 11293 TL olduğu bilinmektedir. Buradan yola çıkarak sistemin kendini sübvanse etme süresi:

11293 / 864,86 ≅ 13 yıl olarak hesaplanır.

5.8. Bütün Sistemin Maliyet ve Fayda Analizi

Bütün sistemler bir araya geldiğinde maliyet analizi şu şekilde hesaplanabilir:

Çizelge 5.14. Bütün sistemin maliyet ve fayda analiz çizelgesi

Eklenecek Sistem Adı	Maliyet	Kar (TL)
Akıllı Isıtma Sistemi	5921,95	906,26
Akıllı Aydınlatma Sistemi	4722,6	600,89
Akıllı Pencere Sistemleri	21.570,98	1.947,52
Enerji Yönetim Sistemi	5.388,07	544,72
Su Vana Armatür Sistemi	11293	864,86
Toplam	48896,6 TL	4864,25

Çizelge 6.14'te ifade edildiği gibi sistemin maliyetinin 48896,6 TL, bütün karının 4864,25 TL ve tüm sistemin sübvanse etme süresinin 48896,6 / 4864,25 ≅ 10 yıl olacağı görülmektedir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

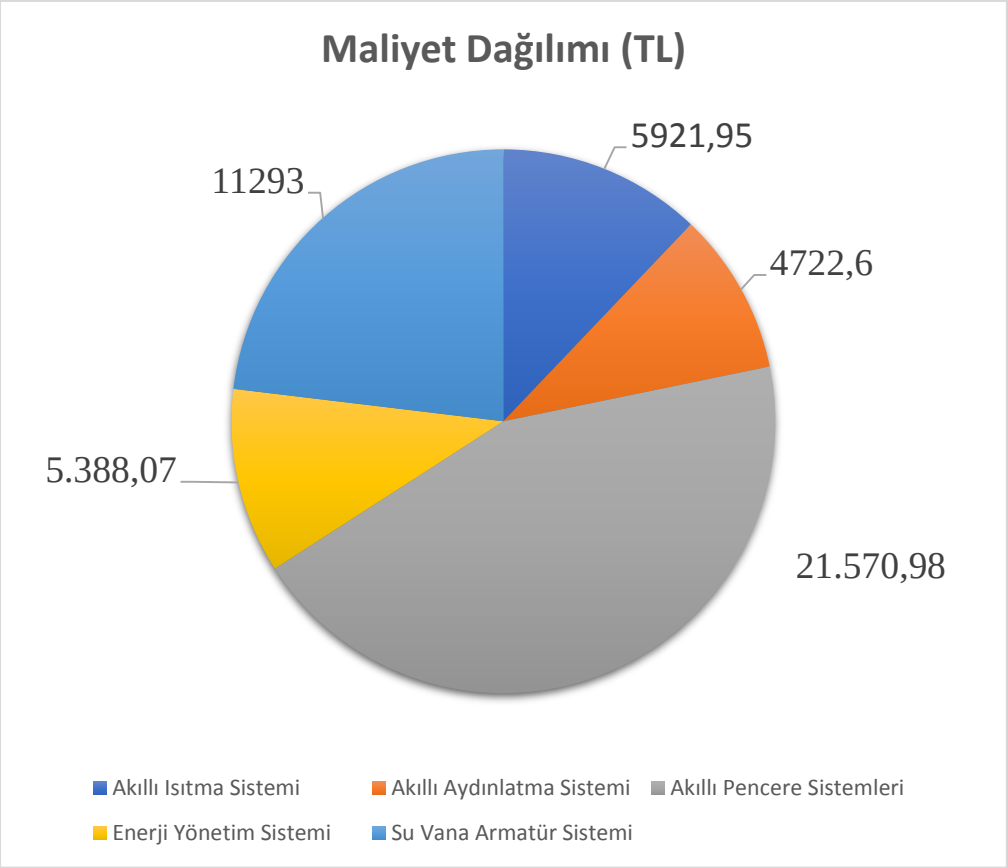
Enerji krizlerinin yaşandığı ve enerji maliyetlerinin arttığı günümüzde, enerji tüketiminde büyük payı bulunan konutlarda kullanılan enerjinin verimliliği konusunda birçok çalışma yapılmakta ve yeni teknolojiler üretilmektedir. Eş zamanlı olarak akıllı bina teknolojileri de, oldukça büyük bir ivme ile gelişim göstermektedir.

Ancak mevcut konutların büyük çoğunluğu, teknolojik donanımlardan yoksun geleneksel binalardan oluşması sebebiyle bu teknolojilerin son tüketicilerle buluşması yalnızca yeni yapı stoğu üretilmesi ile mümkün olmaktadır. Her nekadar inşa edilen yeni yapılar bir takım akıllı bina eklentileri barındırsa da mevcut geleneksel binalarda yaşam, bu teknolojilerden yoksun ve fazla enerji tüketilerek devam etmektedir. Böylece enerji verilmliliği konusundaki bilimsel ilerlemenin pratikte yaygınlaşması uzun zamanlar almakta ve kaynakların israfının önüne geçilememektedir. Bu bağlamda akıllı binalar inşa etmenin yanı sıra mevcut geleneksel binaların akıllı teknoloji eklentileriyle dönüştürülmesi büyük önem kazanmakta ve ileri teknolojiler ile yapılacak dönüşümler ile enerji tüketimleri azaltılacak ve konfor şartları artırılacaktır.

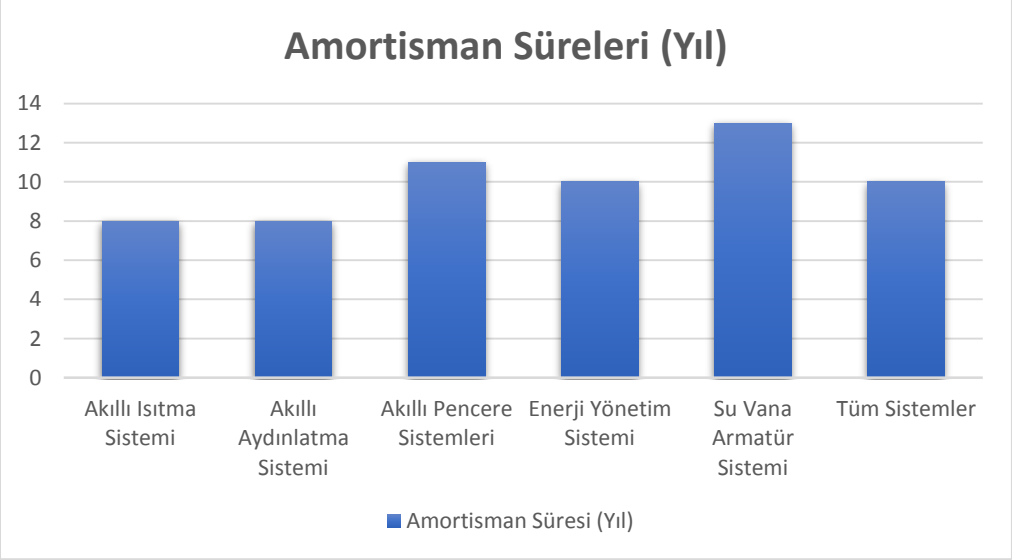
Bu çalışmada enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla akıllı bina sistemleri detaylı olarak incelenmiş, bu sistemlerin enerji verimliliğine olan katkıları değerlendirilmiş ve mevcut geleneksel binaların enerji verimliliği sağlaması amacıyla akıllı bina eklentileri ile dönüşümüne yönelik ürün ve maliyet araştırılması yapılmıştır. Elde edilen maliyetler, akademik çalışmalardan ve ürünlerin satıcıları tarafından deneysel yöntemlere dayandırarak beyan edilen tasarruf oranları baz alınarak amortisman süreleri hesaplanmıştır.

Bu sürelerin hesaplanmasında bir mühendislik yaklaşımı olarak güvenli tarafta kalma yaklaşımı benimsenmiştir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki tasarruf değerleri kullanıcı profiline ve tercih edilen ürünlere göre tasarruf değerleri küçük farklılıklar gösterebilmektedir. Bu sebeple ulaşılan sonuçlar değer aralığı olarak ifade edilmektedir. Aynı zamanda firmaların beyan etmiş olduğu tasarruf değerleri de değer aralığı olarak ifade edilmiştir. Bu değerlerden ağırlıklı olarak düşük olanlar tercih edilmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan araştırmalar ve hesaplamalar neticesinde tüm sistemler için ayrı ayrı ve tüm sistem için maliyetler ve amortisman süreleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 6.1. Tüm sistemler için maliyet dağılımı



Şekil 6.2. Tüm sistemler için amortisman süreleri

Böylece tüm sistemin yapılan dönüşümler neticesinde 48896.6 TL maliyet ile dönüştürülebileceği ve bu maliyetin 10 yıl içerisinde amortismanının sağlanacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Ulaşılan sonuçlar sayesinde mevcut geleneksel binaların akıllı binalara dönüştürülmesinin, enerji verimliliği sağladığı ve enerji tüketim bedellerini düşürdüğü, buna ek olarak konfor ve güvenlik koşullarını iyileştirdiği sonuçlarına varılmıştır.

Öte yandan akıllı sistemler ile konut ve binalar izlenilebilecek, mekanik ve elektrik sistemlerine hâkim olarak bu sistemlerin etkin yönetimi sağlanılabilecektir. Bunun yanında sistemde meydana gelen arızaların tespiti hemen ortaya çıkarılıp, arızaların giderilmesi sağlanacaktır. Böylece kullanıcının konfor şartlarının iyileştirilmesi de sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Akbaş, Ö. (2013). *Aydınlatma sistemi için işlemci destekli akıllı bina uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2-6.

Akram, O. K., Franco, D. J. and Ismail, S. (2016). Development phases from heritage buildings to smart buildings. *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, 4(4), 6-13.

Al Dakheel, J., Del Pero, C., Aste, N. and Leonforte, F. (2020). Smart buildings features and key performance indicators: A review. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102328.

Ali, A. I. (2020). *Enerji verimli akıllı binalar için ZigBee ve LoRa tabanlı haberleşme*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8-9.

Arat, S. (2017). *Kullanıcı ve otomasyon sistemlerinin akıllı binalar üzerinden değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Ankara,17-19.

Aslam, S., Iqbal, Z., Javaid, N., Khan, Z. A., Aurangzeb, K. and Haider, S. I. (2017). Towards efficient energy management of smart buildings exploiting heuristic optimization with real time and critical peak pricing schemes. *Energies*, 10(12), 2065.

Aslan, A. (2014). *Akıllı ev kavramı ve otomasyon sistemleri*. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13-15.

Atasoy, A. (2009). *Akıllı bina teknolojisinin yapısal özellikler açısından incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 20-30.

Atılgan, A. İ. ve Bayar, U. (2015). Yeşil ev tasarımı ve enerji analizi için uygulama örneği. *Mühendis ve Makina,* 56(671), 41-52.

Ay, S. (2019). *Akıllı bina teknolojilerinin kütüphane binalarına ve hizmetlerine yansıması: Türkiye'de üniversite kütüphaneleri üzerine bir araştırma.* Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çankırı, 9-16.

Baknalı, T. A. (2019). *İnşaat projelerinde akıllı bina sistemlerinin, maliyet analizi ve taşınmaz değeri üzerindeki etkileri: bir örnek olay incelemesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 5.

Baknalı, T. A. (2019). *İnşaat projelerinde akıllı bina sistemlerinin, maliyet analizi ve taşınmaz değeri üzerindeki etkileri: Bir örnek olay incelemesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü 20-28.

Barış, O. K. (2020). *Giyilebilir teknoloji destekli akıllı bina içi ısıtma sistemi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,19-25.

Baysal, R. (2008). *Akıllı binalarda enerji yönetimi ve kontrolü.* Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 4-5.

Benavente Peces, C. (2019). On the energy efficiency in the next generation of smart buildings—Supporting technologies and techniques. *Energies*, 12(22), 4399.

Brotas, L., Roaf, S. and Nicol, F. (2017a). *Design to thrive (Volume 1).* Paper presented at the Proceedings of 33rd PLEA International Conference, Edinburgh.

Brotas, L., Roaf, S. and Nicol, F. (2017b). *Design to thrive (Volume 2).* Paper presented at the Proceedings of 33rd PLEA International Conference, Edinburgh.

Brotas, L., Roaf, S. and Nicol, F. (2017c). *Design to thrive (Volume 3).* Paper presented at the Proceedings of 33rd PLEA International Conference, Edinburgh.

Çağlayan, S. A. (2005). *Akıllı bina kontrol sistemlerinin iç mekan tasarımlarına etkileri.* Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli, 7-9.

Casado-Vara, R., Vale, Z., Prieto, J. and Corchado, J. M. (2018). Fault-tolerant temperature control algorithm for IoT networks in smart buildings. *Energies*, 11(12), 3430.

Casini, M. (2016). *Smart buildings: Advanced materials and nanotechnology to improve energy-efficiency and environmental performance*. Cambridge: Woodhead Publishing, 35-38.

Cedeño-Laurent, J. G., Williams, A., MacNaughton, P., Cao, X., Eitland, E., Spengler, J. and Allen, J. (2018). Building evidence for health: green buildings, current science, and future challenges. *Annual Review of Public Health*, 39, 291-308.

Çetinkaya, Y. (2016). Akıllı binalar ve akıllı binalarda asansörler. *Mühendis ve Makine,* 57(683), 33-39.

Çetinkaya, Y. (2016, 13-15 Ekim). *Akıllı binalar ve akıllı binalarda asansörler*. Makina Mühendisleri Odası İzmir Asansör Sempozyumu ve Sergisi, İzmir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2000). *Akıllı yapılar*. İstanbul: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 20-28.

Chaouch, H., Çeken, C. and Arı, S. (2021). Energy management of HVAC Systems in smart buildings by using fuzzy logic and M2M communication. *Journal of Building Engineering*, 44, 102606.

Civan, U. (2006). *Akıllı binaların çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 19-20.

Civan, U. (2006). *Akıllı binaların çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 25-26.

Çizer, E. (2015). *Sürdürülebilir binalar/Türkiye'nin ilk akıllı binasının 21 yıllık geçmişi; Sabancı Center*. İzmir: Teskon 2015 Bildiriler Kitabı, 1253-1264.

Çolak, H. A. (2010). *Akıllı bina otomasyonu ile verimli çalışma ortamının sağlanması*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8-9.

Crooks, A., Schechtner, K., Dey, A. K. and Hudson-Smith, A. (2017). Creating smart buildings and cities. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Pervasive Computing*, 16(2), 23-25.

Dadashi-Rad, M. H., Ghasemi-Marzbali, A. and Ahangar, R. A. (2020). Modeling and planning of smart buildings energy in power system considering demand response. *Energy*, 213, 118770.

Dayangaç, D. (2005). *Akıllı bina kavramının mimari tasarıma etkileri.* Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 20-40.

Diker, B. (2016). *Kentsel dönüşüm kapsamında konutlarda ulusal yeşil bina sertifikasının değerlendirilmesi: Fikirtepe örneği*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 47-48.

Duman, E. and Mentese, R. (2017). Simulation of heating and cooling processes of a green building. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 3(4), 1-9.

Duzelbayev, N. (2009). *Akıllı binalarda kontrol elemanlarının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-11.

Eini, R., Linkous, L., Zohrabi, N. and Abdelwahed, S. (2021). Smart building management system: Performance specifications and design requirements. *Journal of Building Engineering*, 39, 102222.

Erhan, I. T. (2018). *Akıllı binalarda aydınlatma otomasyonunun enerji verimliliğine katkısının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 9-18.

Feng, P. and Loparo, K. (2019). *Transforming ordinary buildings into smart buildings via low-cost, self-powering wireless sensors & sensor networks.* Cleveland: Case Western Reserve University, 1-36.

Fotopoulou, E., Zafeiropoulos, A., Terroso-Sáenz, F., Şimşek, U., González-Vidal, A., Tsiolis, G., Gouvas P., Liapis, P., Fensel A. and Skarmeta, A. (2017). Providing personalized energy management and awareness services for energy efficiency in smart buildings. *Sensors*, 17(9), 2054.

Franco, D. J. (2007). *Malaysia, adopting the smart buildings system to heritage buildings in Melaka. Paper presented at the* 11th ASEAN Postgraduate Seminar 2017 Held at Faculty of Built Environment University of Malaya, Kuala Lumpur.

Gholamzadehmir, M., Del Pero, C., Buffa, S. and Fedrizzi, R. (2020). Adaptive-predictive control strategy for HVAC systems in smart buildings–A review. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102480.

Göksu, S. (2010). *Akıllı bina uygulamalarında maliyet artışının geri kazanım süreç analizi.* Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2-36.

Gültekin, A. B. and Yavaşbatmaz, S. (2013). Sustainable design of tall buildings. G*rađevinar,* 65(5), 449-461.

Gündüz, V. M. (2015). *Akıllı binalarda kullanılan otomasyon ve güvenlik sistemlerinin örneklerle incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, 20-21.

Gupta, A., Badr, Y., Negahban, A. and Qiu, R. G. (2021). Energy-efficient heating control for smart buildings with deep reinforcement learning. *Journal of Building Engineering*, 34, 101739.

Hakimi, S. M. and Hasankhani, A. (2020). Intelligent energy management in off-grid smart buildings with energy interaction. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118906.

Hatipoğlu, P. (2011). *A design tool for human-centered intelligent buildings.* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 20-25.

Hsu, W. L., Chen, W. T., Kuo, H. H., Shiau, Y. C., Chern, T. Y., Lai, S. C. and Fan, W. H. (2020). Establishment of smart living environment control system. *Sensors and Materials*, 32(1), 183.

İnternet: Comunello. (2020). Frame Automation General Catalogue, İtaly. Web: https://www.comunello.com/media/products/automation/COMUNELLO-Automation-catalog.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.07.2022

Irak, N. (2019). *Akıllı binalarda konfor faktörü ve optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-25.

Jahn, M. (2016). *Turning smart buildings into ınnovation environments*. Ph.D. Thesis, Aachen University, Deutschland, 1-36.

Kahraman, N. (2015). *Assessing the service quality of intelligent building control systems: An importance-performance analysis.* Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1-36.

Kaplan, S. (2018). *Enerji kimlik belgesi uygulamasının bina enerji performansını etkileyen tasarım parametreleri ve yeşil bina sertifika sistemleri bağlamında değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 12-13.

Kapusuzoğlu, F. (2020). *Uzaktan kontrollü mikroişlemci tabanlı akıllı aydınlatma devresi.* Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 4-9.

Kara, B. (2017). *Akıllı bina cephelerinin sürdürülebilir kalkınma bağlamında irdelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 21-23.

Karadişanoğulları, Ö. G. (2013). *Akıllı binalarda kullanılan sistemlerin sürdürülebilirlik bağlamında irdelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-36.

Kayın, Ö. (2019). *Binalarda enerji modellemesi, enerji performans analizi ve yenilenebilir enerji kullanımının çevre dostu yeşil bina uygulama örneği kapsamında değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1.

Khanda, K., Salikhov, D., Gusmanov, K., Mazzara, M. and Mavridis, N. (2017, March). *Microservice-based iot for smart buildings.* Paper presented at the 2017 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, Taipei, 302-308.

Khoshbakht, M., Gou, Z., Dupre, K. and Best, R. (2018). *Occupant satisfaction and comfort in green buildings: a longitudinal occupant survey in a green building in the subtropical climate in Australia.* Paper presented at the International Conference of the Architectural Science Association, The Architectural Science Association and RMIT University, Australia, 371-381.

Kılıç, H. (2007). *Akıllı binalar, kurulmaları ve işletilmeleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-18.

Kılıçaslan, A. (2010). *Gelişen teknoloji ve ekoloji kavramlarının mimariye yansıması – akıllı binalar*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 109.

King, J. and Perry, C. (2017). *Smart buildings: Using smart technology to save energy in existing buildings*. Washington, DC: Amercian Council for an Energy-Efficient Economy, 10-11.

Kıral, G. E. (2014). *Akıllı şebekelerde enerji yönetimi için akıllı priz geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 20-21.

Lawrence, T. M., Watson, R. T., Boudreau, M. C. and Mohammadpour, J. (2017). Data flow requirements for integrating smart buildings and a smart grid through model predictive control. *Procedia Engineering*, 180, 1402-1412.

Mangan, S. D. (2006). *Akıllı binalarda alt sistem değerlendirmesi: İstanbul örneği.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 18-19.

Mashayekhi, A. and Heravi, G. (2020). A decision-making framework opted for smart building's equipment based on energy consumption and cost trade-off using BIM and MIS. *Journal of Building Engineering*, 32, 101653.

Mathiesen, B. V., Drysdale, D., Lund, H., Paardekooper, S., Ridjan, I., Connolly, D., Thellufsen, J. Z., Jensen, J. S. (2016). *Future green buildings: A key to cost-effective sustainable energy systems*. Denmark: Aalborg University, 17-19.

Mevzuat. (2 Mayıs 2007). *T.C. Resmi Gazete*, sayı: 26510.

Moghaddam, M. F. (2012). *Evaluating intelligence in intelligent buildings case studies in Turkey.* Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 10-11.

Moseley, P. (2017). EU support for ınnovation and market uptake in smart buildings under the horizon 2020 framework programme. *Buildings*, 7(4), 105.

Najafi, B., Depalo, M., Rinaldi, F. and Arghandeh, R. (2021). Building characterization through smart meter data analytics: Determination of the most influential temporal and importance-in-prediction based features. *Energy and Buildings*, 234, 110671.

Oğuz, O. (2007). *Akıllı bina kavramı ve akıllı bina değerlendirme metotları*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 22, 70-80.

Orhan, İ. H. ve Kaya, L. G. (2016). LEED belgeli yeşil binalar ve iç mekan kalitesinin incelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(Özel Sayı), 18-28.

Özhan, M. Ö. (2017). *Yapı endüstrisinde sürdürülebilirlik ve enerji etkin konut tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 24.

Özler, M. E. (2003). *Akıllı binalarda enerji etkin tasarım parametreleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 19-26.

Pamuk, R. ve Kuruoğlu, M. (2016). İnşaat sektöründe sürdürülebilirlik ve bina inşaatlarında evrensel uygulama örnekleri. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 161-177.

Pamuklu, E. C. (2019)., *Akıllı kontrol vanalarının mekanik tesisatta kullanımının tesisat ve kontrol sistemi tasarım ve uygulamalarına etkileri*. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.

Parlak, A. S. (2020). *Integrating smart city and smart building key performance indicators (KPI) for development of an integrated smart building assessment methodology.* Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-56.

Patton, A. P., Calderon, L., Xiong, Y., Wang, Z., Senick, J., Sorensen Allacci, M., Plotnik, D., Wener, R., Andrews, C. J., Krogmann, U. and Mainelis, G. (2016). Airborne particulate matter in two multi-family green buildings: Concentrations and effect of ventilation and occupant behavior. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(1), 144.

Radhakrishnan, V. and Wu, W. (2018, June). *IoT technology for smart water system*. Paper presented at the 2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS) Exeter, UK, 1491-1496.

Şahinoğlu, S. (2012). *Gölge elemanlarının pencerenin ısıtma/soğutma enerjisi ve görsel konfor performansına etkisinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-18.

Sarıkaya, T. (2016). *Akıllı şebekelerde ev enerji yönetim sistemi tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 17-19.

Şen Coşgun, E. D. (2019). *Yeşil binaların sürdürülebilirlik açısından önemi ve türkiye müteahhitler birliği yapısı analizi.* Yüksek Lisans Tezi, Işık Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 46.

Sevil, M. (2015). *Akıllı binalar için özgün kablosuz sensör ağları tasarımı ile gerçek zamanlı enerji izleme ve kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 46-49.

Sinopoli, J. M. (2010). *Smart buildings systems for architects, owners and builders*. Burlington: Elsevier, 4-9.

Sönmez, M. (2006). *Akıllı binalardaki teknik-teknolojik sistemler ve enerji izleme sisteminin entegrasyonu.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 28-30.

Soykan, E. (2009). *Thermal comfort evaluation in intelligent buildings; case study Darüşşafaka residence.* Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü / Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1-9.

Stopps, H., Huchuk, B., Touchie, M. F. and O'Brien, W. (2021). Is anyone home? A critical review of occupant-centric smart HVAC controls implementations in residential buildings. *Building and Environment*, 187, 107369.

Tetik, B. (2014). *Energy performance of smart buildings: Simulating the impact of active systems and passive strategies.* Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2-16.

Thomas, B. L. and Cook, D. J. (2016). Activity-aware energy-efficient automation of smart buildings. *Energies*, 9(8), 624.

Timur, O. (2018). *Design and implementation of a wireless sensor network for energy monitoring, analysis and management in smart buildings*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 10-15.

Tuzcuoğlu, D., Yang, D., de Vries, B., Sungur, A. and Appel-Meulenbroek, R. (2021). The phases of user experience during relocation to a smart office building: A qualitative case study. *Journal of Environmental Psychology*, 74, 101578.

Uçkun, M. (2017). *Aydın, ev güvenlik sistemleri*. Dönem Projesi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, 9-11.

Uğur, L. O. and Leblebici, N. (2019). LEED sertifikalı yeşil binalarda enerji ve su tasarrufundan sağlanan faydaların taşınmaz değerine etkilerinin incelenmesi. *Teknik Dergi*, 522, 8753-8776.

Ulusoy, B. (2010). *Sürdürülebilir mekân tasarımındaki belirleyiciler ve akıllı bina teknolojileriyle olan etkileşimleri.* Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 7-8.

Uruk, Z. F. ve Külünkoğlu İslamoğlu, A. K. (2019). Breeam, leed ve DGNB yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin standart bir konutta karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 143-154.

Üstündağ, N. (1999). *Akıllı binaların tesis yönetimi ve iş yaşamı kalitesi üzerindeki etkileri.* Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul,48-50.

Uzun, F. C. (2009). *Akıllı binalarda otomasyon*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 74-45.

Yılmaz, Z. (2005). *Akıllı binalar ve yenilenebilir enerji*. VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 388.

Yüksek, İ. ve Esin, T. (2009, 13-15 Mayıs). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının yapılarda kullanım olanakları.* Uluslararası ileri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 2.

Zağpus, S. (2002). *Development of intelligent buildings and their impacts on architecture in Turkey*. Izmir: Izmir Institute of Technology, 18-20.



GAZİ GELECEKTİR..