

**T.C.**  
**HASAN KALYONCU ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**ÇEVRE BİLİMLERİ VE ENERJİ YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**



**AKILLI BİNALARDA ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİR  
TASARIMLAR: OKUL ÖRNEĞİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN  
ARTTIRILMASI**

**Ercan EKİNCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GAZİANTEP - 2025**



## LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZ KABUL VE ONAY FORMU

Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı öğrencisi Hülya ERDEDE EKİNCİ tarafından hazırlanan “AKILLI BİNALARDA ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİR TASARIMLAR: OKUL ÖRNEĞİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN” başlıklı tez, 17/01/2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucu **başarılı** bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

<u>Görevi</u>	<u>Unvanı, Adı ve Soyadı</u>	<u>Kurumu/Üniversitesi</u>	<u>İmzası:</u>
<b>Tez Danışmanı</b>	Dr. Öğr.Üyesi Nebiyе KIZIL	Hasan Kalyoncu Üniversitesi	
<b>Jüri Başkanı</b>	Doç.Dr.Adem YURTSEVER	İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa	
<b>Jüri Üyesi</b>	Dr.Öğr.Üyesi İbrahim Halil DEĞER	Hasan Kalyoncu Üniversitesi	

**Bu tez Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile onaylanmıştır.**

Enstitü Müdürü  
Doç.Dr.Ufuk AKBAŞ

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ekinci EKİNCİ

Tarih:

**HASAN KALYONCU ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**ÇEVRE BİLİMLERİ VE ENERJİ YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

**AKILLI BİNALARDA ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİR**  
**TASARIMLAR: OKUL ÖRNEĞİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN**  
**ARTTIRILMASI**

**Ercan EKİNCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Danışman**  
**Dr. Öğr.Üyesi Nebiye KIZIL**

**ÖZET**

Bu çalışmada, akıllı binalarda çevresel olarak sürdürülebilir tasarım oluşturmak için özellikle akıllı aydınlatma sistemleri ve enerji verimliliğine odaklanılmıştır. Bunun için, 6.847 m<sup>2</sup>'lik bir okul örneği örneklem olarak seçilmiştir. Çalışmamın amacı, bahse konu okulun enerji tüketimini, sera gazı emisyonlarını, enerji tasarrufu potansiyelini analiz etmek ve iyileştirme için pratik öneriler sunmaktır. Enerji tüketimine ilişkin veriler okulun elektrik ve doğal gaz faturalarından elde edilmiş olup mevcut aydınlatma sistemi EN12464-1 2011 aydınlatma standardına uygunluk açısından değerlendirilmiştir. Bu sürdürülebilir akıllı bina tasarımı çalışmasında ilk olarak, yetersiz veya aşırı aydınlatma olan alanlar belirlendikten sonra enerji kullanımını azaltmak için bazı optimizasyon işlemleri yapılmıştır. Bunlar; geleneksel aydınlatma armatürlerini enerji tasarruflu LED sistemlerine dönüştürmek ve tek seferlik elektrik tarifesinden çok dönemli tarife sistemine geçiş çalışmalarıdır. Yıllık enerji tüketimi 73.178 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmış, elektrik kullanımı 19,69 kWh/m<sup>2</sup> ve doğal gaz kullanımı 5,886 kWh/m<sup>2</sup> olmuştur. Karbon emisyonları yılda 13,5 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Önerilen aydınlatma iyileştirmelerinin uygulanmasının yıllık 27.014,78 TL tasarruf sağlayacağı öngörüldürken, tarife ayarlaması ek 30.261,32 TL tasarrufla sonuçlanacaktır. Bulgular, akıllı aydınlatma sistemlerinin ve enerji yönetim stratejilerinin eğitim binalarında enerji verimliliğini önemli ölçüde artırabileceğini ve çevresel etkileri azaltabileceğini vurgulamaktadır. Sürdürülebilir tasarım ilkelerini uygulayarak, okullar enerji verimli operasyonlar için model görevi görebilir. Bu çalışma, sürdürülebilir okul binalarının tasarlanması ve yönetilmesi konusunda ayrıntılı rehberlik sağlamakta ve çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmek için akıllı aydınlatma uygulamalarının yaygınlaştırılmasının önemini vurgulamaktadır. Sonuçlar, bu tür müdahalelerin daha yeşil, daha uygun maliyetli eğitim tesisleri yaratma ve daha geniş enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunma potansiyelinin altını çizmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı Bina, Enerji Tasarrufu, Enerji Verimliliği, Sürdürülebilirlik

**HASAN KALYONCU UNIVERSITY  
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE  
DEPARTMENT OF SCIENCES AWARENESS AND ENERGY MANAGEMENT**

**ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE DESIGNS IN SMART  
BUILDINGS: INCREASING ENERGY EFFICIENCY IN A SCHOOL  
EXAMPLE**

**Ercan EKİNCİ**

**MASTER THESIS**

**Advisor  
Asst. Prof. Dr. Nebiye KIZIL**

**ABSTRACT**

In this study, in order to create environmentally sustainable design in smart buildings, especially smart lighting systems and energy efficiency are focussed. For this purpose, a 6,847 m<sup>2</sup> school was selected as a sample. The aim of my study is to analyze the energy consumption, greenhouse gas emissions and energy saving potential of this school and to provide practical recommendations for improvement. Data on energy consumption were obtained from the school's electricity and natural gas bills, and the existing lighting system was evaluated for compliance with EN12464-1 2011 lighting standard. In this sustainable smart building design study, firstly, areas with insufficient or excessive lighting were identified and then some optimisation processes were performed to reduce energy use. These are converting traditional lighting fixtures to energy-saving LED systems and switching from one-time electricity tariff to multi-period tariff system. Annual energy consumption was calculated as 73,178 kWh/m<sup>2</sup> including electricity utilization (19.69 kWh/m<sup>2</sup>) and natural gas utilization (5,886 kWh/m<sup>2</sup>). Carbon emissions were determined as 13.5 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> per year. Implementation of the proposed lighting retrofits is projected to result in annual savings of 27,014.78 TL, while tariff adjustment will result in additional savings of 30,261.32 TL. The findings emphasise that smart lighting systems and energy management strategies can significantly improve energy efficiency and reduce environmental impacts in educational buildings. By applying sustainable design principles, schools can serve as models for energy efficient operations. This study provides detailed guidance on designing and managing sustainable school buildings and highlights the importance of mainstreaming smart lighting applications to promote environmental sustainability. The results underline the potential for such interventions to create greener, more cost-effective educational facilities and contribute to broader energy efficiency and sustainability goals.

**Keywords:** Smart Building, Energy Saving, Energy Efficiency, Sustainability

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesi yolculuğumda bana rehberlik eden danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nebiye KIZIL' a derin minnettarlığımı ifade etmek isterim. Varlığı ile bana güç veren, eşim Hülya ERDEDE EKİNCİ ve biricik kızlarım Saryaa EKİNCİ, Heja EKİNCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ercan EKİNCİ  
Gaziantep - 2025



## İÇİNDEKİLER

ÇEVRE BİLİMLERİ VE ENERJİ YÖNETİMİ ANABİLİM DALI.....	iv
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
GRAFİK LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi .....	2
1.2. Çalışmanın Kapsamı ve Problemi.....	2
1.3. Özgün Değer ve Katkı .....	2
<b>2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE .....</b>	<b>4</b>
2.1. Akıllı Binalar .....	4
2.1.1. Akıllı Bina Tarihçesi.....	6
2.1.2. Akıllı Binaların İçerikleri .....	7
2.1.3. Akıllı Bina Unsurları .....	8
2.1.4. Akıllı Binaların Çevre İle Etkileşimi ve Sürdürülebilirlik .....	10
2.2. Akıllı Bina Teknolojileri.....	11
2.2.1. Akıllı Bina Değerlendirmesi.....	13
2.2.2. Mevcut Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması .....	14
2.2.3. Akıllı Bina Değerlendirmesinin Amaçları.....	16
2.2.4. Mevcut Temel Performans Göstergeleri (KPI'lar).....	17
2.3. Akıllı Binalarda Enerji Verimliliği .....	21
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>23</b>
3.1. Materyal.....	23
3.1.1. Etüt Çalışmasında Kullanılan Cihazlar ve Alınan Ölçümler .....	23
3.1.2. Kullanılan ölçüm veriler .....	24
3.2. Yöntem.....	28
3.2.1. Örneklem Seçimi .....	28
3.2.2. Örneklem Analizi.....	29
3.2.3. Verilerin Toplanması .....	31
3.2.4. Verilerin Değerlendirilmesi .....	34
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>37</b>

4.1. Otomasyon Öncesi Enerji Tüketimleri, Maliyetleri ve Mevcut Durum .....	37
4.2. Otomasyon Sonrası Enerji Tüketimleri ve Maliyetleri .....	38
4.3 Genel Bulgular .....	39
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>42</b>
5.1 Sonuçlar .....	42
5.2 Öneriler .....	45
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>47</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>52</b>
EK 1. Enerji Kaynaklarının Alt Isıl Değerleri ve Petrol Eşdeğerine Çevrim Katsayıları (enerji.gov.tr, 2022). .....	52
EK 2. SEG Sera Gazı Emisyonu Dönüşüm Katsayıları [kg eşdeğer CO <sub>2</sub> /kWh] Birincil Enerji ve Sera Gazları Emisyonu Dönüşüm Katsayıları (TGUB, 2025). .....	53
EK 3. Genel Aydınlatma İçin Uygun Aydınlatma Kaynakları (Yılcı, 2023). .....	54
EK 4. Aydınlatma Şiddeti Değerleri Tablosu (ÖzbayOSGB, 2025) .....	55
EK 6. İş Sağlığı ve Güvenliği Mevzuatında Yer Alan Az Aydınlatma Değerleri (Kurt, 2012). .....	57
EK 7. Önemli Bazı Maddelerin Yansıtma Ve Geçirme Kat Sayıları (Serer, 2025). .....	58
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>61</b>

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 2.1.</b> Örnek Akıllı Bina Değerlendirme Metodolojileri Seti .....	17
<b>Tablo 3.1.</b> Bina Bilgileri .....	23
<b>Tablo 3.2.</b> Kullanılan Cihazlar Ve Kalibrasyon Bilgileri .....	24
<b>Tablo 3.3.</b> Aydınlatma Elemanları Tablosu .....	26
<b>Tablo 3.4.</b> İlin Son 3 Yıl Derece Gün Sayıları Tablosu.....	30
<b>Tablo 3.4.</b> 2017 Yılı Aylara Göre Elektrik Tüketim Değerleri Tablosu.....	33
<b>Tablo 3.5.</b> 2017 Yılı Aylara Göre Doğalgaz Tüketim Değerleri Tablosu .....	33
<b>Tablo 3.6.</b> 2017 Yılı Aylara Göre Toplam Tüketim Değerleri Tablosu .....	34
<b>Tablo 3.7.</b> Isınma İçin Harcanan Enerji Değerleri Tablosu .....	35
<b>Tablo 3.8.</b> Binanın Toplam Birincil Enerji Tüketim Tablosu (kWh/m <sup>2</sup> -yıl) .....	37
<b>Tablo 3.9.</b> Binanın Toplam Sera Gazı Emisyonu Tablosu (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -yıl).....	37
<b>Tablo 3.10.</b> Nihai Enerji Tüketimine Göre Sera gazları emisyonu göstergesi .....	37
<b>Tablo 3.11.</b> Birincil enerji cinsinden enerji performansı göstergesi.....	37
<b>Tablo 3.12.</b> 2017 Yılı Bina Enerji Tüketim Ve Maliyetleri Tablosu.....	38
<b>Tablo 3.13.</b> Ekonomik Analiz.....	39
<b>Tablo 3.14.</b> Ekonomik Analiz.....	41

## GRAFİK LİSTESİ

<b>Grafik 3.1.</b> 2016 Yılı Derece Gün Sayıları Grafiği .....	30
<b>Grafik 3.2.</b> Aylara Göre Toplam Isı Enerjisi Tüketimi Ve Derece Gün Sayısı Grafiği.....	31
<b>Grafik 3.3.</b> Aylara Göre Toplam Elektrik Enerjisi Tüketimi ve Derece Gün Sayısı Grafiği .....	31
<b>Grafik 3.4.</b> Aylara Göre Toplam Enerji Tüketimi Ve Derece Gün Sayısı Grafiği.....	32
<b>Grafik 3.5.</b> 2017 Yılı Aylara Göre Elektrik Doğalgaz Tüketim Grafiği .....	34
<b>Grafik 3.6.</b> Isınma İçin Harcanan Enerji – Isıtma Gün Derece Karşılaştırma Grafiği .....	35



## KISALTMALAR

### Kısaltmalar ve Birimler

<b>°C</b>	=	Cantigrad Derece
<b>AiIB</b>	=	Asian Institute of Intelligent Buildings
<b>Atop</b>	=	Toplam Alan
<b>Bar</b>	=	Basınç Birimi
<b>BRE</b>	=	Building Research Establishment
<b>CABA</b>	=	Continental Automated Buildings Association
<b>CDD</b>	=	Soğutma Derece Gün Sayısı
<b>CO<sub>2</sub></b>	=	Karbondioksit
<b>COP</b>	=	Performans katsayısı
<b>GÖS</b>	=	Geri Ödeme Süresi
<b>HDD</b>	=	Isıtma Derece Gün Sayısı
<b>IBSK</b>	=	Intelligent Building Society of Korea
<b>K</b>	=	Kelvin
<b>kg</b>	=	Kilogram
<b>kWh</b>	=	Kilo Watt saat
<b>m<sup>2</sup></b>	=	Metre kare
<b>m<sup>3</sup></b>	=	Metre küp
<b>mSS</b>	=	Metre su sütunu
<b>NBD</b>	=	Net bugünkü değer
<b>Nm<sup>3</sup></b>	=	Normal metre küp
<b>Pa</b>	=	Pascal
<b>Ppm</b>	=	Milyondaki parça miktarı
<b>SCC</b>	=	Shanghai Construction Council
<b>Sm<sup>3</sup></b>	=	Standart metre küp
<b>TEP</b>	=	Ton eşdeğer petrol
<b>TIBA</b>	=	Taiwan Intelligent Building Association
<b>Vbrüt</b>	=	Brüt Hacim

## 1. GİRİŞ

Enerji verimliliği, günümüzün en önemli küresel sorunlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Artan enerji talebi, fosil yakıtların yoğun kullanımı ve çevresel etkiler, sürdürülebilirlik anlayışını her zamankinden daha kritik bir hale getirmiştir. Bu bağlamda, enerji kaynaklarının daha etkin kullanılması, karbon ayak izinin azaltılması ve enerji maliyetlerinin düşürülmesi, hem bireysel hem de kurumsal düzeyde büyük bir önem taşımaktadır.

Akıllı bina teknolojileri, enerji verimliliği sorunlarına yenilikçi çözümler sunan ve özellikle enerji tüketiminin optimize edilmesi amacıyla tasarlanmış modern yaklaşımlardır. Bu teknolojiler, yapay zekâ, nesnelerin interneti (IoT) ve otomasyon sistemleri gibi araçlarla enerji kullanımını izleyip kontrol ederek, kullanıcı alışkanlıklarına uygun dinamik çözümler geliştirebilmektedir. Özellikle eğitim kurumları gibi toplumsal açıdan önemli binalarda, enerji verimliliği sağlamak hem ekonomik faydalar hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir gereklilik haline gelmiştir.

Okullar, enerji verimliliği uygulamalarının değerlendirilebileceği ideal alanlardan biridir. Gün boyunca yoğun bir şekilde kullanılan sınıflar, aydınlatma sistemleri, havalandırma ve ısıtma-soğutma cihazları, yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır. Bu durum, enerji kaynaklarının daha etkili kullanılmasını sağlayacak çözümler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, enerji verimliliği konusunda okullarda yapılacak uygulamalar, öğrencilere ve eğitim personeline çevresel farkındalık kazandırarak uzun vadede toplum genelinde bir bilinç oluşturabilir.

Bu çalışmada, bir okul binasında enerji verimliliğini artırmak amacıyla akıllı bina teknolojilerinin kullanımı konusunda iyileştirici çalışmalar yapılmıştır. Bunun için, okul örneğinin mevcut aydınlatma armatürleri enerji tasarruflu LED sistemlerine dönüştürülmüş ve tek seferlik elektrik tarifesinden çok dönemli tarife sistemine geçiş yapılmıştır. Yıllık enerji tüketimi; elektrik ve doğal gaz kullanımı olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda yapılan optimizasyon çalışmaları ile binanın hem enerji tüketimi hem de karbon emisyon değerleri oldukça iyileştirilmiş seviyelere getirilmiştir. Sonuç olarak, bu tez çalışması enerji tüketiminin optimize edilmesine yönelik yenilikçi yaklaşımlar sunması ve elde edilen bulguların diğer eğitim kurumlarına uygulanabilirliği açısından literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır.

### **1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi**

Bir okul örneğine akıllı bina uygulama sistemlerinin değerlendirildiği bu çalışmanın ana amacı, binanın iyileştirme çalışmaları sonrasında enerji verimliliğinin nasıl etkilendiğini belirlemektir. Bunun için, akıllı bina sistemleri kullanılarak bir okul ortamında enerji verimliliğini artırmaya yönelik stratejiler tanımlanmış ve özellikle bütçe optimizasyonunun kritik olduğu eğitim kurumlarında enerji tüketimini azaltmanın, çevresel etkiyi en aza indirmenin ve işletme maliyetlerini düşürmenin önemi üzerinde durulmuştur.

### **1.2. Çalışmanın Kapsamı ve Problemi**

Bu tez çalışmasında, bir okul örneği üzerinde enerji verimliliği çalışmalarının okulun enerji tüketiminde ve tasarrufunda nasıl etki edeceği hesaplamalı verilerle değerlendirilmiştir. Bu noktada, okulun yüksek enerji harcamaları problem olarak ele alınmış ve iyileştirici çözümler bulmaya odaklanılmıştır. Çalışma konusu yapı, konum olarak 2. derece-gün bölgesinde yer almaktadır. Arsa alanı 8.352,00 m<sup>2</sup>, toplam brüt kullanım alanı 6.847,00 m<sup>2</sup> olan betonarme karkas bir yapıda olan, tesis, okul ve spor salonu olmak üzere iki ayrı binadan oluşan okul binasının enerji verimliliğinin değerlendirilmesi, enerji tasarrufu yapılabilecek alanların belirlenmesi ve iyileştirme önerilerinin sunulması, aydınlatma ve elektrik sisteminin değerlendirilmesi, akıllı yönetim sistemleri aracılığıyla enerji tüketimin optimize edilmesi, enerji tasarruflu cihazlar kullanımı gibi konular çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır. Yapılacak olan enerji verimliliği uygulamalarının maliyetli olabileceği ve harcamaların geri dönüş süresi çalışmanın ana problemi olarak belirlenmiştir.

### **1.3. Özgün Değer ve Katkı**

Bu çalışma, daha önceden enerji verimliliğine dair iyileştirmelerin yapılmadığı okul örneği için bina yönetim sistemlerine adaptasyonu ve bu teknolojilerin benzer bina çeşitlerinde enerji verimliliğine ve tasarrufuna yapacağı katkının değerlendirilmesi açısından yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Ayrıca, okullarda enerji verimliliği için akıllı teknolojileri entegre etme konusundaki yenilikçi yaklaşımı vurgulamaktadır. Araştırmanın, eğitim ortamlarının benzersiz ihtiyaçlarına ve özelliklerine odaklanarak diğer yapı örneklerinde de uygulanabilir olması literatüre önemli bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Son olarak, çalışmada önerilen enerji verimliliği iyileştirmelerinden

kaynaklanabilecek CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki azalma sürdürülebilir temiz çevre uygulamalarına da örnek teşkil edecektir.



## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

### 2.1. Akıllı Binalar

Buckman ve diğ. (2014) akıllı binaları, sürdürülebilirlik ve zeka prensiplerini bütünleştirerek gelişmiş bilgisayar sistemleri ve akıllı teknolojilerin kullanımıyla genel konforu ve enerji tüketimini optimize eden binalar olarak tanımlamaktadır. So ve Wong'a (2005) göre, akıllı bina kavramı son kırk yılda önemli ölçüde evrimleşmiş ve küresel olarak farklı tanımlar ortaya çıkmıştır. Ancak, bu tanımlar mimarları, mühendisleri ve inşaat profesyonellerini yeni akıllı binaları etkili bir şekilde tasarlamak ve inşa etmek için yönlendirmede sıklıkla yetersiz kalmıştır. Tanımların konut mülkleri, araştırma tesisleri veya hastaneler gibi belirli bina türlerine göre uyarlanması gerektiğini savunmuşlardır (So ve Wong, 2002). Zamanla, akıllı binalarla ilgili tartışmalar çeşitli bakış açılarını içermiş ve uyum sağlama temel bir kavram olarak ortaya çıkmıştır. Basit bir tepkiselliğin ötesinde bir evrim olarak görülen uyum sağlama, binaların kullanıcı konfor tercihlerindeki, işgalci özelliklerindeki ve yıllık iklim değişiklikleri gibi çevresel faktörlerdeki değişikliklere uyum sağlamasını sağlar. Buckman ve diğ. (2014) uyum sağlamanın dört temel sütununu tanımladı: zekâ, girişimcilik, malzeme, tasarım ve kontrol, bunların hepsi birlikte yüksek enerji verimliliği, konfor ve kullanıcı memnuniyeti elde etmeyi amaçlamaktadır.

Cole ve Brown (2009) akıllı bina kavramını otomasyon, bilgi işleme, alan yönetimi, pasif zekâ, örgütsel zekâ ve kullanıcı zekâsı gibi çeşitli boyutlar üzerinden analiz etmişlerdir. Otomasyonun verimli bina işletimini sağladığını, bilgi işlemenin ise duyarlı bina sistemlerini mümkün kıldığını öne sürdüler. Akıllı alan yönetimi esnek ve uyarlanabilir tasarımı destekler, örgütsel zekâ çok işlevli bina kullanımını kolaylaştırır ve kullanıcı zekâsı kullanıcıların ısıtma, havalandırma, klima (HVAC) ve aydınlatma ayarlarını kişiselleştirmesine olanak tanır (Cole ve Brown, 2009). Benzer şekilde, Wang (2010) akıllı binaları sınıflandırmak için üç yöntem önerdi. Bunlar; performansa dayalı, hizmete dayalı ve sisteme dayalı tanımlardır. Performansa dayalı tanımlar kullanıcı gereksinimlerini önceliklendirir, hizmete dayalı tanımlar hizmet kalitesini değerlendirir ve sisteme dayalı tanımlar binanın entegre sistemlerini değerlendirir.

DEGW (1992), akıllı binaların otomatik binalar (1981-1985), duyarlı binalar (1986-1991) ve etkili binalar (1992'den itibaren) olmak üzere tarihsel bir sınıflandırmasını ortaya koydu. Bu ilerleme, etkili binaların en yüksek gelişme seviyesini temsil ettiği artan karmaşıklığı yansıtmaktadır. So ve diğerleri (1999), akıllı

binaların gelecekteki potansiyelini vurgulayarak, inşaat sırasında gelişmiş özelliklerine öncelik vermişlerdir. Artan popülerliklerine rağmen, standartlaştırılmış tanımların eksikliği, bölgesel farklılıklara odaklanılarak bir sorun olmaya devam etmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde akıllı bina sistemleri genellikle yapı, sistemler, hizmetler ve yönetim olarak kategorize edilir. Avrupa tanımları bilgi teknolojisini (BT) ve işgalci gereksinimlerini vurgularken, Çin ve Singapur'dan gelenler yüksek otomasyon ve gelişmiş teknolojilere öncelik verir. So ve diğerleri (1999), binaların estetik çekiciliğinden çok, kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamamanın önemini vurguladı ve akıllı binaların tanımını iyileştirmek için sekiz adet Kaliteli Çevre Modülü (QEM) geliştirdi. Bu modüller arasında çevresel sağlık ve enerji tasarrufu (M1), alan kullanımı ve esneklik (M2), yaşam döngüsü maliyeti (M3), insan konforu (M4), çalışma verimliliği (M5), güvenlik (M6), kültürel hususlar (M7) ve yüksek teknoloji imajı (M8) yer alır.

Wong ve diğerleri (2008), mikroişlemci teknolojilerindeki ilerlemelerin ve yüksek performanslı çalışma ortamlarına olan talebin, akıllılığın bina tasarımına entegre edilmesine olan ilgiyi artırdığını belirtmiştir. Bu entegrasyon, operasyonel verimliliği ve pazarlanabilirliği artırır (Wong ve diğerleri, 2008). Buckman ve diğerleri (2014), uyarlanabilirliğin akıllı binaları geleneksel binalardan ayırdığını ve iç ve dış sensörlerden gelen verileri kullanarak değişikliklere proaktif bir şekilde yanıt vermelerini sağladığını yineledi. Örnekler arasında değişen konfor tercihlerine uyum sağlama, sakin davranışlarındaki değişimlere uyum sağlama ve uzun vadeli iklim eğilimlerine uyum sağlama yer alır. Ghaffarianhoseini ve diğerleri (2016), akıllı binaların sakin konforunu, refahını ve sürdürülebilirliği birleştirme yetenekleri nedeniyle öne çıktığını gözlemler. 1980'lerde erken tanımların otomasyona odaklandığını, ancak zamanla ek özelliklerin dâhil edildiğini belirttiler.

Akıllı binalar, hem sakinlerine hem de sahiplerine sayısız fayda sunarak, rahatlığı, güvenliği, esnekliği ve maliyet etkinliğini artırır (So ve Wong, 2002). Kolokotsa ve diğerleri (2007), bu avantajları sunarken akıllı binalar için piyasa standardı fiyatlandırmanın sürdürülmesinin önemini vurguladı. Ek olarak, Azari ve diğerleri (2016), akıllı binaların birincil avantajı “enerji tasarrufu ve koruma mekanizmaları aracılığıyla enerji tüketimini azaltma yetenekleri” ni vurgulamıştır.

### 2.1.1.Akıllı Bina Tarihçesi

Yaşam koşulları değiştikçe, insanların ihtiyaçları da değişir ve bu da yaşam alanlarını doğrudan etkiler. Başlangıçta temel koruma için dört duvar ve bir çatı olarak tasarlanan binalar, değişen yaşam tarzlarına uyum sağlamak için dönüştürüldü. Bu dönüşüm, kullanılan malzemelerden uygulanan sistemlere kadar her açıdan belirgindir ve planlamadan tamamlanmaya kadar tüm süreci kapsar. Modern ihtiyaçları hızlı, konforlu, enerji açısından verimli ve ekonomik bir şekilde karşılayan yapılara olan talep, akıllı bina konseptinin ortaya çıkmasını hızlandırmıştır (Çakır, 2022).

Akıllı binaların evrimi farklı aşamalara kadar izlenebilir. 1960'larda, bu binalar "zaman kazandıran" cihazlarla donatılmış otomasyon sistemlerine sahipti. 1973 enerji krizi, akıllı özellikleri enerji tasarrufu sistemleriyle ilişkilendirerek enerji kullanımının yeniden değerlendirilmesine yol açtı. Zamanla, binalar kurumsal ağlara bağlı sistemleri bünyesinde barındıran bilgisayarla entegre varlıklara dönüştü (Fântână ve Oae, 2013). Akıllı bina konsepti, özellikle ses ve veri için yerleşik destek ve iletişim sistemlerini yönetmek için merkezi elektronik sistemlerle karakterize edilen 1980'lerin başlarında literatürde şekillenmeye başladı. Başlangıçta, akıllı binalar kelime işleme ve iletişim ağlarını merkezileştirerek, dokunmatik tuşlar gibi kullanıcı dostu arayüzler aracılığıyla sakinler ve bina sistemleri arasındaki etkileşimleri basitleştirdi. Bu özellikler, çok işlevli olmalarına katkıda bulundu (Lafontaine, 1999).

Akıllı bina konsepti, ilk aşamalarında zekâdan çok otomasyona vurgu yapıyordu. Otomasyon, optimum davranış için bileşen sistemlerini kullanırken, zeka, algoritmalar aracılığıyla dinamik ayarlamalar sağlayan gelişmiş matematik ve bilgisayar bilimini içerir (Laing v.d., 2012). Binalarda otomasyon sistemlerinin benimsenmesi, konfor, ekonomik verimlilik ve enerji tasarrufuna öncelik veren yapılar için yolu açtı. United Technology Building Systems (UTBS) tarafından geliştirilen, ABD'nin Hartford kentindeki dünyanın ilk akıllı binası City Place, bilgisayarlar aracılığıyla ofis hizmetleri ve telekomünikasyon sağladı ve konsepti iş dünyasına tanıttı. Başlangıçta işyerlerinde enerji verimliliğine odaklanan akıllı bina konsepti, 1985'ten sonra yaşamın diğer alanlarına da yayıldı ve çeşitli yayınlarda kabul gördü (Omar, 2018).

Utkuğ (2001), gelişmiş inşaat teknolojileri, yenilikçi sistemler, yeni malzemeler ve ısıtma ve havalandırma gelişmeleriyle sağlanan konforlu alanların ortaya çıkışına atıfta bulunarak, sanayi devriminin bina tasarımı üzerindeki etkisini vurguladı. Bu değişiklikler mimari uygulamaları etkileyerek, bilgi teknolojisi aracılığıyla telekomünikasyon, klima, güvenlik ve yangın sistemleri üzerinde otomatik kontrol

sağlayan binalarla sonuçlandı. İşyerlerindeki ekonomik baskılar ve yüksek işletme maliyetleri akıllı binaların gelişimini daha da ileriye taşıdı. Ancak, bu yeni mimari yaklaşım zorluklar getirdi. Öncelikle iş ortamlarında kullanılan akıllı binaların enerji tüketiminin çevre kirliliğine katkıda bulunduğu ortaya çıktı. Sonuç olarak, araştırmalar çevre bilincine sahip akıllı binalara odaklanmaya başladı.

Bilgisayarlar aracılığıyla bağımsız sistemlerin merkezi kontrolüyle karakterize edilen akıllı binalar, minimum iş gücü gerektiren uygun maliyetli, verimli yapılar haline geldi. Modern akıllı bina tanımlarında "çevre dostu" kavramı "kullanıcı dostu" kavramına eklenmiştir. Binalar artık çevresel etkilerini hesaba kattıklarında akıllı olarak kabul edilmektedir. 21. yüzyılda akıllı binaların sürdürülebilir olması, doğal kaynakların verimli kullanımına öncelik vermesi, ekolojik dengeyi koruması ve gelecek nesiller için zararı en aza indirmesi beklenmektedir. Akıllı binaların evrimi, çağdaş yaşamın talepleriyle uyumlu bir şekilde sürdürülebilirliğe ve çevresel sorumluluğa doğru bir kaymayı yansıtmaktadır (Ay, 2019).

### **2.1.2. Akıllı Binaların İçerikleri**

Son zamanlarda, akıllı binalar hakkındaki tartışmalar giderek daha belirgin hale geldi. Akıllı bir binayı neyin oluşturduğunu tanımlamak ve değerlendirmek için çok sayıda çaba sarf edildi ve bu da akıllı binaların teknolojik gelişmelere derinden kök saldığı fikrinin baskın hale gelmesine yol açtı (Ehrlich, 2005). Bu çabalara rağmen, akıllı bir binanın evrensel olarak kabul görmüş bir tanımı hala yok. Hands-on-Guide (2007) akıllı bina sözlüğüne göre, akıllı bir bina "sakinleri için daha güvenli, daha konforlu, daha üretken ve daha verimli bir tesis yaratmak için teknoloji ve süreci birleştiren bir bina" olarak tanımlanıyor. Akıllı binalar, gelişmiş teknolojiyi iyileştirilmiş tasarım, inşaat ve operasyonel süreçlerle birleştirerek üstün iç mekân ortamları sunar, enerji tüketimini ve personel gereksinimlerini azaltır ve kullanıcıların ve sakinlerin konforunu ve verimliliğini artırır (Civan, 2006).

Akıllı binaların çeşitli yorumlarını daha iyi açıklamak için aşağıda birkaç tanım verilmiştir:

i) "Entegre teknolojik bina sistemleri, iletişim ve kontrol yetenekleri ve operatör ve sakinleri için esnek, etkili, konforlu ve güvenli bir ortam sağlayan bir bina ve altyapısı" (CABA, 2015).

ii) "Sahipleri için daha güvenli ve daha üretken bir bina ve işletme sahipleri için daha operasyonel olarak verimli bir bina yaratmak için teknoloji ve süreçlerin kullanımı" (Ehhrlich, 2005).

iii) "Akıllı bina, kuruluşun hedeflerine ulaşabileceği duyarlı, etkili ve destekleyici bir ortam sağlayan herhangi bir binadır".

iv) "Akıllı bina, hem kullanıcıların ihtiyaçlarına daha duyarlı hem de gelecekteki ve mevcut kullanıcıların ihtiyaçları değiştikçe kaçınılmaz olarak talep edilen değişikliklere daha iyi uyum sağlayan binaların inşasını teşvik etmeyi amaçlar" (Owajiony, 2007).

v) "Akıllı binalar, bina ekipmanlarını ve kaynaklarını mümkün olan en az şekilde kullanırken kullanıcıların konforunu en üst düzeye çıkaran yapılardır" (Wigginton ve Harris, 2002).

vi) "Akıllı binalar: yapılar, sistemler, hizmetler ve yönetim dahil olmak üzere bir binanın dört temel ögesinin optimizasyonu ve birbiriyle ilişkisi yoluyla üretken ve uygun maliyetli bir ortam sağlar" (China Intelligent Building Technology Information Network CIBTIN, 2002).

vii) "Akıllı bir bina, bina sakinleri için güvenlik, konfor ve üretkenlik sağlamak amacıyla merkezi olarak yönetilen ve merkezi olarak çalıştırılan bilgisayar destekli (otomatik) bina algılama ve iletişim cihazlarını bünyesinde barındırır" (Owajiony, 2007).

Bu tanımlar, akıllı bina kavramının çok yönlü olduğunu ve bireysel bakış açılarına bağlı olarak farklı yorumlara sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Gelişen bir mimari kavramı temsil eden akıllı binaları bazı kaynaklar, çevreleriyle etkileşime giren yüksek performanslı, enerji tasarruflu, esnek ve sürdürülebilir tasarımlar olarak açıklarken bazıları ise işletim için en son teknolojileri ve bilgisayar tabanlı sistemleri kullanan yapılar olarak tanımlamaktadır. Bu arada, diğer bakış açıları kullanıcı konforunu önceliklendirerek akıllı sistemlere ve uygulamalara daha az vurgu yaparak akıllı bina kavramının çeşitli yorumlarını vurgulamaktadır (Mangan, 2006).

### **2.1.3. Akıllı Bina Unsurları**

Belirli tanımlayıcı özellikler akıllı bir binayı ayırt eder ve onu geleneksel yapılardan ayırır. Akıllı binaların temel amacı, enerji tüketimini en aza indirirken faydaları en üst düzeye çıkarmaktır. Enerji verimliliği ile kullanıcı faydaları arasındaki etkileşim, akıllı binaların temel özelliklerini yansıtır. Akıllı binalar onlarca yıldır

küresel olarak kullanılıyor olsa da, teknolojideki gelişmeler onları yalnızca zamandan değil, aynı zamanda çeşitli enerji biçimlerinden de tasarruf sağlayan ortamlara dönüştürdü ve bu da onları sakinleri için daha konforlu, güvenli ve verimli hale getirdi.

Gemalto'ya (2019) göre, akıllı bina bileşenleri güvenlik kameraları, erişim kontrol mekanizmaları, HVAC (Isıtma, Havalandırma ve Klima), yangından korunma ve yazılım çözümleri gibi sistemleri içerir. Bu sistemler, birleşik bir ekosistem oluşturmak için birbirleriyle sorunsuz bir şekilde çalışmalıdır. Çalışabilirlik, akıllı binalar için kritik bir gerekliliktir ve bu entegrasyon, altyapının daha geniş bir teknolojik çerçeve içinde etkili bir şekilde çalışmasını sağlar. Ayrıca, tüm çözümler zamanla ortaya çıkan zorluklara uyum sağlayacak mekanizmalarla hem fiziksel hem de dijital tehditlere karşı güvence altına alınmalıdır.

Akıllı binaların fiziksel altyapısı, yangın güvenliği, emniyet ve benzeri sistemlerin yanı sıra donanım, kontrolörler, kablolama ve aydınlatma gibi geleneksel bina otomasyon ekipmanlarını kapsar. Teknolojik olarak, akıllı binalar gelişmiş altyapı ve mimari özelliklere dayanır. Bu unsurlar, girişlerdeki kimlik tarayıcıları gibi güvenlik sistemlerinden güneş enerjisi depolayan çatı sistemlerine kadar uzanır. Yağmur suyu toplama, güneş izleme mekanizmaları, dış gölgeleme ve su geri kazanım sistemleri gibi yenilikler verimliliği ve sürdürülebilirliği daha da artırır (Siemens, 2019).

Bina yönetim sistemleri (BMS), geleneksel binaları akıllı binalara dönüştürmede önemli bir rol oynar. Study.com'un (2019) belirttiği gibi Entegre Bina Yönetim Sistemi (IBMS), bir binadaki çeşitli sistemleri izlemek ve kontrol etmek için tasarlanmış bir bilgisayar platformudur. Modern bir IBMS, giderek daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklarını birleştirmeye, enerji israfını ele almaya ve maliyetleri azaltmaya odaklanmaktadır.

Akıllı binalar için birkaç temel unsur esastır, bunlar şunlardır:

- Deprem izleme sistemleri
- Yapısal sağlık izleme
- Yangın güvenlik mekanizmaları
- Elektriksel güvenlik sistemleri
- Asansör izleme
- Acil kaçış planları
- İç mekan hava kalitesi kontrolü
- Güvenlik yönetim sistemleri ve daha fazlası (INOGATE, 2019).

Bunlar arasında güvenlik, akıllı binaların temel bir özelliği olarak öne çıkmaktadır. Gelişmiş deprem izleme sistemleri, sarsıntılar sırasında hasarı azaltmak için içyapı ağırlıklarını dinamik olarak ayarlayabilir. Benzer şekilde, zararlı kimyasalları tespit etmek için tasarlanmış sistemler, bina hava kanallarını derhal kapatabilir ve yetkilileri uyarabilir (Snoonian, 2003).

Etkili akıllı bina altyapısı, sistem düzeyinde faydalar sağlamak için bu çeşitli teknolojileri entegre etmelidir. Örneğin, akıllı binalar önemli miktarda veri toplar ve iletir, bu verileri etkili bir şekilde analiz etmek ve kullanmak için sağlam fiziksel ve dijital altyapılar gerektirir. Örneğin, bağlı bir güvenlik sistemi, bir otoparktaki plakaları belirleyebilir ve belirli bir çalışan geldiğinde belirli çalışma alanlarındaki ısıtma veya aydınlatma koşullarını ayarlayabilir (Siemens, 2019).

Akıllı binalar için bir diğer kritik husus, teknolojik sistemlerini korumaktır. Dijital altyapıdaki bir ihlal, operasyonları tamamen aksatabilir. Dahası, akıllı bina özelliklerinin kötüye kullanılması yalnızca binanın işlevselliği için değil, aynı zamanda kişisel verilerin güvenliği için de risk oluşturur. Bu tür güvenlik açıklarının giderilmesi, tasarım, geliştirme ve operasyonel aşamalarda disiplinler arası bir yaklaşım gerektirir.

Akıllı binaların özellikleri, kullanıcıların dinamik ihtiyaçlarını karşılamak için gelişmeye devam ediyor. Ortaya çıkan teknolojiler ve sistemler yeni projelere entegre ediliyor ve modern talepleri karşılamak için geleneksel binalara yeniden yerleştiriliyor. Teknoloji ilerledikçe, akıllı bina yeteneklerinin paralel olarak büyümesi ve zamanla verimli, sürdürülebilir ve uyarlanabilir kalmasını sağlaması bekleniyor (Eugeny, 2015).

#### **2.1.4. Akıllı Binaların Çevre İle Etkileşimi ve Sürdürülebilirlik**

Teknoloji ve enerjinin kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamak üzere optimize edildiği akıllı binaların giderek daha önemli bir özelliği, çevre dostu olmalarıdır. Teknolojideki gelişmeler yaşam konforunu artırırken, hava ve çevre kirliliği, enerji kaynaklarının tükenmesi ve doğal dengenin bozulması gibi zorlukları da beraberinde getirmiştir. Bu endişeleri gidermek için, akıllı teknolojilerin yanı sıra bina tasarımlarına çevre dostu çözümler de dâhil edilmiştir. Bu gelişme, çevresel faydaları mümkün olduğunca verimli bir şekilde kullanmaya odaklanan ekolojik akıllı binalar kavramına yol açmıştır. Akıllı binaları çevresel olarak sürdürülebilir hale getirmenin temel stratejilerinden biri, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonudur. Bu kaynaklar, çeşitli uygulamalar için enerji üreterek çevresel zararı en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Akıllı binalarda kullanılan birincil yenilenebilir enerji kaynaklarından bazıları şunlardır (Ay, 2019)

- **Güneş Enerjisi:** Güneş enerjisi, binalar için elektrik ve sıcak su üretebilen yaygın olarak kullanılan bir yenilenebilir kaynaktır. Gelişmiş teknolojiler kullanılarak, güneş panelleri konumlarını doğal ışık kaynağıyla hizalanacak şekilde ayarlayabilir ve verimliliği en üst düzeye çıkarabilir. Güneş kolektörleri güneş ışığını ısıya ve elektriğe dönüştürür. Bu sistemler aracılığıyla elde edilen ısı, binayı ısıtmak ve bir boru ağı aracılığıyla sıcak su sağlamak için kullanılabilir.
- **Rüzgar Enerjisi:** Rüzgar enerjisi, rüzgarın kinetik kuvvetini kullanır ve bu kuvvet, rüzgar türbinleri aracılığıyla mekanik enerjiye ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülür. Önemli rüzgar potansiyeline sahip bölgelerde, bu enerjiyi kullanmak ve akıllı binalar için elektrik sağlamak üzere sistemler kurulabilir ve bu da enerji verimliliğine katkıda bulunabilir.
- **Hidroelektrik Enerjisi:** Su, temiz enerji üretiminde önde gelen yenilenebilir bir kaynaktır. Nehirlerden gelen yüksek akışlı su, barajlar aracılığıyla toplanabilir ve elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bu süreç, binalar için sürdürülebilir güç üretmede özellikle etkilidir.

Bu yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerji, gelişmiş bina otomasyon teknolojileri kullanılarak akıllı bina sistemlerine entegre edilir. Bu sistemler, enerjinin verimli bir şekilde dağıtılmasını ve kullanılmasını sağlayarak binalar içinde sürdürülebilir ve çevre dostu bir kullanım çerçevesi oluşturur. Yenilenebilir enerji kaynaklarını ve ekolojik tasarım ilkelerini bir araya getirerek, akıllı binalar yalnızca enerji verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel etkiyi azaltmaya da katkıda bulunarak daha sürdürülebilir kentsel ortamlar için yol açar.

## **2.2. Akıllı Bina Teknolojileri**

Akıllı binaların temelini ağırlıklı olarak teknolojiye dayandığı yadsınamaz. Bu nedenle, çok sayıda araştırmacı akıllı binalar üzerine yaptıkları çalışmalarda teknolojinin rolünü vurgulamış ve araştırmalarının hedeflerine göre farklı odak noktaları belirlemiştir. So ve diğerlerine (1999) göre, ABD Akıllı Bina Enstitüsü, sahip ve işgalci ihtiyaçlarını dört ana alana ayırmıştır: bina yapısı, bina sistemleri, bina yönetimi ve bina hizmetleri. Bunlar arasında bina sistemleri ve bina hizmetleri doğrudan teknolojiyle bağlantılıdır. Bina sistemleri, HVAC, aydınlatma, elektrik gücü, kablolama, kontroller, asansörler, evsel sıcak su, erişim kontrolü, güvenlik, can güvenliği, telekomünikasyon ve bilgi yönetimi gibi bileşenleri içerir. Bu arada, bina hizmetleri ses, veri ve video

iletişimi; ofis otomasyonu; paylaşımlı toplantı tesisleri; bilgisayar ve iletişim ekipmanı; elektronik ve sesli posta; güvenlik yönetimi; ve diğer ilgili işlevleri kapsar (So ve diğerleri, 1999).

Fujie ve Mikami (1991), verimli, otomatik çalışma ortamları sağlamak için akıllı binalarda belirli özelliklere ihtiyaç duyulduğunu vurguladılar. Bu özellikler arasında çeşitli çalışma ortamlarına uyarlanabilen gelişmiş klima sistemleri, parlama önleyici aydınlatma sistemleri, dijital elektronik değişim sistemleri, optik fiber Yerel Alan Ağları (LAN), kendi kendine yeten akıllı sistemler, merkezi izleme sistemleri, giriş-çıkış kontrol sistemleri, otomatik ölçüm ve faturalama sistemleri ve parabolik antenleri destekleyebilen esnek kablolama sistemleri yer alır (Fujie ve Mikami, 1991).

Sinopoli (2010), \*Mimarlar, Sahipler ve İnşaatçılar İçin Akıllı Bina Sistemleri\* adlı kitabında akıllı binalara entegre çeşitli sistemleri inceledi. Çalışması, HVAC sistemleri, aydınlatma kontrol sistemleri, elektrik enerjisi yönetimi, erişim kontrol sistemleri, video gözetimi, video-IPTV ve dijital tabela sistemleri, yangın alarmları ve toplu bildirim sistemleri, ses ağları, dağıtılmış anten sistemleri, veri ağları, tesis yönetim sistemleri ve görsel-işitsel sistemleri kapsıyordu.

Ghaffarianhoseini ve diğerlerine göre (2016), akıllı binalar, optimum teknik performansa ulaşmak için kesintisiz koordinasyonu kolaylaştırarak, birbirine bağlı sistemleri verimli bir şekilde yönetme yetenekleriyle karakterize edilir. Bu yetenek, esnekliği artırırken yatırım ve işletme maliyetlerinin azaltılmasıyla da sonuçlanır. Bu nedenle, inşaatın evriminde zirveyi temsil eden akıllı binalar çeşitli perspektiflerden incelenmiştir.

Otomasyon ve ileri teknolojinin entegrasyonu akıllı binalar için temeldir. Kullanım kolaylığı, sağlık odaklı teknolojiler, enerji verimliliği, mekânsal uyarlanabilirlik, kullanıcı konforu, gelişmiş üretkenlik, güvenlik ve emniyet sistemleri ve basitleştirilmiş bakım gibi sakinlere ve sahiplere çok sayıda avantaj sunarlar. Ancak, artan yaygınlıklarına rağmen, akıllı binaların tanımı konusunda evrensel bir fikir birliği yoktur. Bazı araştırmacılar bina türlerine odaklanırken, diğerleri uyarlanabilirliği veya teknolojik entegrasyonu vurgular. Ek olarak, performansa, hizmetlere veya sistemlere dayalı tanımlar önerilmiştir.

Benzer şekilde, akıllı binalar için gereken belirli teknolojiler konusunda bir fikir birliği yoktur ve bu da evrensel olarak kabul görmüş tanımlar, teknoloji seçim kriterleri ve akıllı binaları değerlendirmek için temel çerçeveler konusunda literatürde boşluklar bırakmaktadır. Bu çözülmemiş sorunlar, bu alanda standartlaştırılmış tanımlar ve

metodolojiler oluşturmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadır (Patil vd., 2022; Hoy, 2016).

### **2.2.1. Akıllı Bina Değerlendirmesi**

Akıllı bina konseptinin ortaya çıkması ve devam eden gelişimiyle birlikte, akıllı binaların sayısı zamanla istikrarlı bir şekilde arttı. Bu artan yaygınlık, etkili değerlendirme metodolojilerine olan talebi artırdı ve akıllı binaları değerlendirmek için çeşitli çerçevelerin geliştirilmesini teşvik etti. Burroughs (2018), bina operasyonlarının çevresel etkisini azaltmayı amaçlayan proaktif önlemler uygulama eğiliminin artması ışığında Ulusal Avustralya Yapılı Çevre Derecelendirme Sistemini (NABERS) analiz etti. Çalışma, NABERS'in enerji derecelendirme sisteminin etkinliğini vurguladı.

NABERS, binaların enerji performansını değerlendirmek için 0,5 yıldız artışlarla 1 ila 6 yıldız arasında değişen bir derecelendirme ölçeği kullanır. Burroughs'un analizinde yer alan bir vaka çalışmasında, NABERS derecesi, gelişmiş ve verimli teknolojileri dâhil etmeyi amaçlayan bir tadilattan önce ve sonra Sidney'deki bir ofis binasına uygulandı. Bina için başlangıçtaki NABERS derecesi 3,6 yıldızdı, ancak tadilattan sonra derece 5,3 yıldıza yükseldi. Binanın yenilemeden önceki ve sonraki enerji tüketiminin uzun vadeli enerji kullanım verilerine dayalı bir karşılaştırması, enerji tüketiminde %48'lik bir azalma olduğunu göstermiştir. Bu vaka çalışması, NABERS derecelendirmesinde 3,6'dan 5,3 yıldıza bir iyileştirmenin neredeyse %50 enerji tasarrufuyla sonuçlanabileceğini ortaya koymuştur (Omranı vd., 2022; Burroughs, 2018),

Burroughs (2018), Yeşil Yıldız Derecelendirmesinin (GSR) İngiltere merkezli Bina Araştırma Kuruluşunun Çevresel Değerlendirme Yöntemi (BREEAM) ve Kuzey Amerika Enerji ve Çevresel Tasarım Liderliği (LEED) gibi diğer değerlendirme metodolojileriyle benzerlikler taşıdığını, çünkü bunların öncelikli olarak tasarım tabanlı değerlendirmelere odaklandığını belirtmiştir. Buna karşılık, NABERS gerçek bir 12 aylık operasyonel dönem boyunca performansa dayalı değerlendirmeler yürütmektedir.

NABERS başlangıçta yalnızca enerji performansına odaklanmış olsa da, kapsamı o zamandan beri su kullanımı, atık yönetimi ve iç mekan çevre kalitesi (IEQ) değerlendirmelerini de içerecek şekilde genişletilmiştir. Bu daha geniş yaklaşım, sürdürülebilir bina uygulamalarını teşvik etme ve akıllı binaların çevresel etkisini azaltma konusundaki uygulanabilirliğini artırmaktadır (Burroughs, 2018).

### 2.2.2. Mevcut Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Akıllı binaların değerlendirilmesi, araştırmacılar ve enstitüler tarafından çok sayıda Anahtar Performans Göstergesinin (KPI) geliştirilmesine yol açan çoklu boyutlar ve çok çeşitli kriterler içerir. Bu çalışmalar, teknolojik, kültürel ve coğrafi faktörleri hesaba katarak yaklaşımlarında farklılık gösterir. Kolokotsa vd. (2007), evrensel olarak kabul görmüş değerlendirme yöntemlerinin eksikliğini akıllı binaların genel performans değerlendirmesini karmaşıktırdığını ve farklı binaların adil bir şekilde karşılaştırılmasını zorlaştırdığını belirtmiştir. Bu bağlamda, çeşitli akıllı binalar arasında tamamen nesnel bir karşılaştırma yapmak neredeyse imkansızdır (Kolokotsa vd. 2007). So ve Wong'a (2002) göre, ilk nicel akıllı bina değerlendirme yöntemi Asya Akıllı Binalar Enstitüsü (AIIB) tarafından tanıtılmıştır. Bu tür değerlendirmelerin tasarımcılara net yönergeler sunması ve sakinler ile halkın bina performansını değerlendirmesi için adil bir platform sağlaması gerektiğini vurgulamışlardır. Ancak, tüm nicel değerlendirme yöntemlerinin doğru uygulanmasıyla bile, sonuçlar yine de tamamen nesnel olmayabilir, çünkü doğası gereği öznel olan kullanıcı ve uzman görüşleri bu değerlendirmelerde rol oynar (So ve Wong 2002).

Chen ve diğerleri (2006), altı farklı akıllı bina değerlendirme yöntemini karşılaştırarak mimarlık, mühendislik, çevre, ekonomi, yönetim ve sosyoloji alanlarındaki kriterleri analiz etti. Bu metodolojiler arasında Asian Institute of Intelligent Buildings (AIIB) (Hong Kong, Çin), Building Research Establishment (BRE) (İngiltere), Continental Automated Buildings Association (CABA) (Kanada ve ABD), Intelligent Building Society of Korea (IBSK) (Kore), Shanghai Construction Council (SCC) (Şanghai, Çin) ve Taiwan Intelligent Building Association (TIBA) (Tayvan, Çin) yer almaktadır. Bulguları, farklı metodolojilerin farklı yönlere öncelik verdiğini gösterdi:

- Mimarlıkta, AIIB konfor, sağlık, sanitasyon ve mekana odaklanırken, BRE inşa edilmiş çevreye öncelik verdi, IBSK mimari tasarıma vurgu yaptı ve TIBA sağlık ve sanitasyona vurgu yaptı.

- Mühendislikte, AIIB yüksek teknoloji imajına, güvenliğe ve çalışma verimliliğine odaklandı; BRE işlevselliğe, yanıt verebilirliğe ve sürdürülebilirliğe yoğunlaştı; CABA otomasyon, iletişim ve güvenliğe vurgu yaptı; diğer yöntemlerin ise elektrik sistemleri, mekanik sistemler veya sistem entegrasyonu gibi belirli odak noktaları vardı.

- Çevresel kaygılar AIIB, IBSK ve SCC'de en belirgindi; AIIB ayrıca "yeşil" kriterleri aracılığıyla sürdürülebilirliğe vurgu yapıyordu.

- AIIB, maliyet etkinliği kriterleriyle ekonomide başı çekerken, BRE ekonomik konulara odaklandı ve diğer yöntemler ekonomiyi ele almadı.

- Yönetimle ilgili kriterler uygulama ve güvenliğe (AIIB), mülk yönetimine (CABA ve SCC) ve tesislere (IBSK ve TIBA) yönelik bir tercih gösterdi.

- Sosyolojik olarak AIIB, diğer metodolojilerin odak noktası olmayan kültürel faktörleri dikkate almada benzersizdi.

Chen ve diğerleri (2006), AIIB'nin metodolojisinin incelenen altı metodoloji arasında en kapsamlısı olduğu sonucuna vardı. Chew ve Das (2008), yeşil bina ve akıllı bina kriterleri arasında kısmi bir örtüşme olduğunu belirterek çeşitli yeşil bina değerlendirme sistemlerini entegre etti. Yeşil bina sistemlerini dört nesle ayırdılar; R-2000 (1981, Kanada) ve Energy Star (2001, ABD) gibi örnekler daha önceki sistemleri temsil ederken LEED (2000, ABD) ve BREEAM (1990, İngiltere) daha gelişmiş üçüncü nesil sistemlerin bir parçasıdır. Bu sistemler binaları enerji, su, kaynaklar, çevre yönetimi ve iç hava kalitesi gibi faktörlere göre değerlendirir (Chew ve Das 2008).

Liu ve diğerleri (2006) bina değerlendirme araçlarını beş kategoriye ayırdı: karar verme desteği, karar verme değerlendirmesi, eğitim, öğretim ve performans değerlendirme araçları. Bu araçlar bina performansının farklı yönlerine odaklanır ve araç seçimi değerlendirmenin amaçlanan amacına bağlıdır. Asadian ve diğerleri (2017) Akıllı Bina Puanı (IBS), IBAssessor ve Bina Akıllı Değerlendirme Endeksi gibi çeşitli değerlendirme sistemleri tanımladılar; bunların her biri akıllı binaların farklı yönlerini, örneğin inşaatın ve işletmenin farklı aşamalarında sistem entegrasyonunu veya enerji verimliliğini hedef almaktadır.

Bannister (2012), Avustralya'daki birincil bina değerlendirme sistemi olan NABERS'in performans sonuçlarını on iki yıl boyunca inceledi. NABERS, gerçek enerji ve su tüketimini değerlendirir, doluluk saatleri ve iklim değişiklikleri için düzeltmeler uygular. Derecelendirmeler gerçek dünya verilerine dayalı olsa da, NABERS bölgesel sera gazı emisyonlarını ayarlayarak farklı eyaletler arasında daha adil karşılaştırmalar sağlar.

So ve Wong (2002), mevcut değerlendirme yöntemlerinin bazı sınırlamalarını aşmak için Cobb-Douglas işlevini kullanmayı önerdi. Bu işlev, daha doğru değerlendirmeler için önemli olan girdiler ve çıktılar arasındaki doğrusal olmayanlığı yakalamada etkilidir. Doğrusal değerlendirmeler genellikle gerçek dünya

karmaşıklıklarını yansıtmada başarısız olur ve kademeli derecelendirme sistemlerinin dâhil edilmesi daha ayrıntılı sonuçlar sağlayabilir.

Özetle, evrensel olarak kabul görmüş bir akıllı bina değerlendirme metodolojisinin olmaması değerlendirme sürecini karmaşıklaştırmaktadır. Mevcut değerlendirme yöntemleri mühendislik, çevre, ekonomi ve sosyoloji gibi farklı kriterlere odaklanmaktadır. Bu nedenle, belki de geçme-kalma, katkısız veya ağırlıklı notlandırma sistemi kullanarak dengeli ve özelleştirilebilir bir metodoloji oluşturmak faydalı olacaktır. Metodolojinin amacı da, ister karar desteği, ister performans değerlendirmesi, ister eğitim amaçlı olsun, açıkça tanımlanmalıdır. Ek olarak, değerlendirmeler ikili evet/hayır değerlendirmelerinden uzaklaşmalı ve tutarsız sonuçlardan kaçınmak için daha ayrıntılı notlandırma sistemleri içermelidir.

### **2.2.3. Akıllı Bina Değerlendirmesinin Amaçları**

Azari vd. (2016), akıllı bina konseptinin ve Bina Yönetim Sistemlerinin (BMS) ortaya çıkışının enerji kontrolü ve tüketim teknolojilerinin etkili yönetimiyle yakından bağlantılı olduğunu vurguladı. BMS'yi, öncelikle binalardaki enerji tüketimini azaltmak için tasarlanmış en kapsamlı ve verimli akıllı kontrol sistemlerinden biri olarak vurguladılar. Pérez-Lombard vd. (2008), kaynak kıtlığı ve enerji kaynaklarına erişimdeki zorluklar konusunda endişelere yol açan küresel enerji tüketiminin hızlı büyümesini tartıştılar. Ayrıca, bu endişeleri artıran ozon tabakasının incelmeye, sera etkisi ve iklim değişikliği gibi zararlı çevresel etkilere de dikkat çektiler. Bulgularına göre, konut ve ticari binalardaki enerji tüketimi, gelişmiş ülkelerdeki toplam enerji tüketiminin %20-40'ını oluşturuyor ve bazı bölgelerde endüstriyel ve ulaşım sektörlerindeki enerji kullanımını geride bırakıyor (Pérez-Lombard vd., 2008).

Pérez-Lombard vd. (2008) binalardaki enerji tüketimindeki artışı nüfus artışı, bina hizmetleri ve konfor seviyelerine yönelik daha yüksek beklentiler ve iç mekânlarda geçirilen daha fazla zaman gibi çeşitli faktörlere bağladı. Bu faktörler gelecekte daha da yüksek enerji tüketimine yol açması muhtemel devam eden bir eğilimin göstergeleri olarak görülüyor. Ayrıca bu zorlukların ele alınmasında bölgesel, ulusal ve uluslararası düzeylerde enerji verimliliği politikalarının kritik rolünü vurguladılar. Dahası, Pérez-Lombard ve diğerleri (2008) bina enerji tüketiminin daha geniş bağlamında HVAC (Isıtma, Havalandırma ve Klima) sistemlerinin önemine dikkat çekti. Bu sistemler binalardaki toplam enerji kullanımının yaklaşık %50'sini ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır

#### 2.2.4. Mevcut Temel Performans Göstergeleri (KPI'lar)

Akıllı bina değerlendirme metodolojileri, Anahtar Performans Göstergeleri (KPI'lar) adı verilen birden fazla değerlendirme kriterinden oluşur. Farklı bina değerlendirme metodolojileri arasındaki farkı yaratan başlıca unsurlardan biri kullanılan KPI'lerdir. Bu bağlamda, çeşitli bina değerlendirme metodolojileri altında verilen KPI'ler incelenmiştir. Örnek bir çalışma seti Tablo 1'de sunulmuştur. Görüldüğü gibi, akıllı binaları değerlendirmek için çoğunlukla anket tabanlı yöntemler kullanılmaktadır.

**Tablo 2.1.** Örnek Akıllı Bina Değerlendirme Metodolojileri Seti

Kullanılan Yöntem	Amaç	Referans
AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci)	Akıllı bina sistemlerini seçmek	Wong ve Li (2008)
AHP	Sürdürülebilir akıllı binaların temel sorunlarını belirlemek ve bir KPI seçim modeli geliştirmek	ALwaer ve Clements-Croome (2010)
AHP ve TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıra Tercih Tekniği)	Bulanık koşullarda akıllı bina değerlendirmesi yapmak	Kaya ve Kahraman (2014)
ANP (Analitik Ağ Süreci)	Temel akıllı göstergelerin ve kavramsal analitik çerçevenin geliştirilmesi	Wong ve diğerleri. (2008)
ANP	Analitik ağ süreci kullanılarak yenilikçi bir SB değerlendirme yaklaşımının önerilmesi	Chen ve diğerleri. (2006)
Genel anket	Akıllı bina değerlendirmesi için bir Matris aracının geliştirilmesi	Kolokotsa ve ark. (2007)
Genel anket	Akıllı bina değerlendirmesinin yapılması	Moghaddam (2012)
Anket anketi	Akıllı bina değerlendirme endeksinin geliştirilmesi	Arditi ve ark. (2015)
Genel anket	Akıllı binaların seçimi için kapsamlı bir çok kriterli karar verme çerçevesinin önerilmesi	Azari ve ark. (2016)
Genel anket	Akıllı binaların ortak özelliklerinin belirlenmesi	Ghaffarianhoseini ve ark. (2016)

Chew ve Das (2008), sürdürülebilirliğe odaklanan önde gelen bina derecelendirme sistemlerini inceleyerek birkaç önemli çerçevenin temel özelliklerini belirledi:

- Yeni inşaatlar için tasarlanan “LEED-NC (2005a)”, binaları beş ana kategoriye göre değerlendirir: sürdürülebilir alanlar, su verimliliği, atmosfer, malzemeler ve kaynaklar ve iç mekan çevre kalitesi (IEQ), yenilik ve tasarım için ek bir bonusla. Toplamda 69 puan sunar. Ancak LEED for Homes (LEED-H) sistemi, kuru, ıslak ve

normal iklimler gibi iklim deęişikliklerine izin vererek sulama, peyzaj ve yüzey suyu yönetimi gibi belirli alanlara odaklanarak deęerlendirmeyi evlere göre uyarlar (Chew ve Das, 2008).

- 1993 yılında British Columbia Üniversitesi'ndeki çevre araştırma grubu tarafından geliştirilen “BEPAC”, BREEAM metodolojisine dayanır ve yeni veya mevcut ofislere ve ticari binalara uygulanır. Bu yöntem, binaları dört modül ve beş alanda değerlendirir: ozon tabakasının korunması, enerji kullanımının çevresel etkisi, IEQ, kaynak tasarrufu ve saha ve ulaşım yönetimi (Chew & Das, 2008).

- “Yeşil Bina Girişimi (GBI)”, 2004 yılında BREEAM prensiplerine dayanan bir sistem olan “Yeşil Küre Derecelendirme Sistemini (GGRS)” tanıttı. Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI) tarafından tanınan tek bina derecelendirme sistemi olan GGRS, ticari ve kurumsal binaların çevresel performansını değerlendirir. GGRS sistemi, yedi ana alan altında kategorize edilen 31 parametreyi içerir: proje yönetimi, saha, enerji, su kaynakları, yapı malzemeleri ve katı atık, emisyonlar ve efluanlar ve iç ortam (Chew & Das, 2008).

- 2001 yılında Japonya Hükümeti tarafından başlatılan “HQAL” sistemi, binaları yapısal performans, yangın güvenliği, dayanıklılık, enerji verimliliği, hava kalitesi ve gürültü seviyeleri gibi faktörlere göre değerlendirir (Chew & Das, 2008).

- Avustralya'da ortaya çıkan “NABERS”, sera gazı emisyonları, su kullanımı, yağmur suyu akışı ve iç hava kalitesi gibi çeşitli kategorilerdeki puanlar aracılığıyla binaların çevresel performansını ölçer (Chew & Das, 2008).

- 1996 yılında Hong Kong'da tanıtılan “HK-BEAM”, binaları genel puanlarına ve IEQ derecelerine göre bronzdan platine kadar dört sınıfa ayırır ve her biri için belirli eşikler belirler (Chew & Das, 2008).

Clift (1996), binaları işgalcilerin ihtiyaçlarına ve performans ölçütlerine göre değerlendiren bilgisayarlı bir sistem olan “Bina Kalite Değerlendirmesi'ni (BQA)” vurguladı. BQA, varlık yönetimi, yatırım değerlendirmeleri ve mülk işlemlerinde karar alma için faydalıdır. Binaları görünüm, mekân işlevselliği, erişilebilirlik, olanaklar, çalışma ortamı, sağlık ve güvenlik ve bina yönetimi dâhil olmak üzere çeşitli kategorilerde değerlendirir ve her birinin kendi alt faktörleri vardır (Clift, 1996).

Aynı şekilde, Wong ve diğerleri (2008), Anahtar Performans Göstergeleri (KPI'ler) kullanarak binaların "akıllılığını" değerlendirmek için analitik bir çerçeve geliştirdiler. Bu göstergeleri önceliklendirmek için Analitik Ağ Süreci'ni (ANP) kullanarak sekiz büyük bina sisteminde 69 KPI belirlediler. Bu sistemler entegre bina

yönetimi, HVAC kontrolleri, yangın güvenliği, telekomünikasyon, güvenlik, aydınlatma ve bakım yönetim sistemlerini içerir (Wong ve diğerleri, 2008).

Akıllı binalar, otonom çalışma, biyolojik olarak ilham alan eylemler ve insan-makine etkileşimi gibi özellikler sayesinde gelişmiş güvenlik, güvenilirlik, verimlilik ve daha düşük bakım maliyetleriyle dikkat çekmektedir (Bien ve diğerleri, 2002, Wong ve diğerleri, 2008'de alıntılanmıştır). Bu binalar, kendi kendini teşhis etme, hata toleransı ve uyarlanabilirlik gibi yetenekler sergileyerek onları son derece verimli ve duyarlı hale getirir.

Lavy ve diğerleri (2014), bina performansını değerlendirmede kullanıcı algısının önemini vurgulamıştır. Veri toplamaya yönelik iki yaklaşım önermişlerdir: “bina kullanıcılarının izlenimlerine dayanan öznel yaklaşım ve doğrudan dış gözleme dayanan nesnel yaklaşım”.

Shah ve diğerleri (2010), dünya çapında çeşitli sürdürülebilir akıllı bina değerlendirme yöntemleri ve araçlarına genel bir bakış sunmuştur. BREEAM, HK-BEAM ve LEED'i ve diğerlerini gözden geçirerek LEED'in beş yıllık güncellemelerinin gönüllü niteliğini ve ABD'de ulusal bir standart olarak statüsünü belirttiler. Ayrıca, binaları politik ve piyasa gereksinimleri bağlamında değerlendiren CASBEE'yi ve inşaat sektörü talepleri ve sakinlerin istekleriyle uyumlu bir araç olan IBI 3.0'ı tartışılar (Shah vd., 2010). Shah ve diğerleri (2010) ayrıca binaları sağlık ve refah, enerji verimliliği, ulaşım, su kullanımı, malzemeler ve kirlilik gibi birden fazla kritere göre değerlendiren BREEAM sistemini tanımladı. Bu kriterlere farklı ağırlıklar atanır ve son puan binanın geçer, iyi, çok iyi veya mükemmel derecesine ulaşp ulaşmadığını belirler.

Ghaffarianhoseini ve diğerleri (2016), dünyanın dört bir yanındaki bina değerlendirme çerçevelerini inceleyerek, bir binanın sistemler, performans ve hizmetler açısından "akıllı" olarak kabul edilmesi için karşılanması gereken bir dizi asgari kriter önerdiler. Bulgularına göre, bu asgari özellikler dört ana alana ayrılmıştır:

- Akıllılık ve Teknolojik Farkındalık: Bunlara bina bileşenleri için gelişmiş gömülü sistemler, akıllı teknolojilerin ekonomik sistemlerle entegrasyonu, gelişmiş sensörler ve yapay zekâ kullanılarak veri odaklı karar alma, birleşik bina sistemleri, uyarlanabilir bina kontrol sistemleri ve gelecekteki teknolojileri dâhil etme yeteneği dâhildir.
- Ekonomi ve Maliyet Verimliliği: Akıllı binalar maliyet etkinliği göstermeli, üretkenlik iyileştirmeleri göstermeli, etkili kaynak yönetimi kullanmalı,

birleşik tesis yönetim sistemlerine sahip olmalı ve zamandan ve maliyetten tasarruf etmek için stratejiler uygulamalıdır.

- Kişisel ve Sosyal Duyarlılık: Binalar, sakinlerinin ihtiyaçlarına ve beklentilerine duyarlı olmalı, konfor, güvenlik ve emniyet sağlamalıdır. Ayrıca insanların değişen ihtiyaçlarını karşılamalı, sosyal ve teknolojik değişikliklere yanıt olarak esnek olmalı ve refahı, duygusal tatmini ve yaratıcılığı teşvik etmelidir.
- Çevresel Duyarlılık: Akıllı binalar ekolojik olarak sürdürülebilir olmalı, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji verimli stratejiler ve koruma tekniklerini kullanmalıdır. Ayrıca enerji kullanımını optimize etmek için enerji yönetim sistemlerine sahip olmalıdırlar.

So vd. (1999), akıllılık kriterlerinin bina türüne göre değişebileceğini öne sürmüşlerdir. Farklı bina türleri için farklı Kalite Değerlendirme Ölçütlerinin (QEM) kullanılması gerektiğini önermişlerdir. Örneğin, hastaneler çevre dostu olma, enerji tasarrufu ve güvenliğe (yangın, deprem ve yapısal güvenlik gibi) öncelik verirken, konut binaları insan konforunu, kültürünü ve güvenliğini vurgulayacaktır. Ticari ofisler çalışma verimliliğine, alan kullanımına ve çevre dostu olmaya odaklanırken, ulaşım terminalleri güvenliğe ve insan konforuna öncelik verir (So vd., 1999).

Akıllı bina değerlendirmeleri için temel performans göstergelerinin (KPI'lar) geliştirilmesine katkıda bulunan birkaç çalışma vardır ve bu göstergeler bina performansının değerlendirilmesi için gelecekteki metodolojilerin iyileştirilmesine yardımcı olabilir. Örneğin, Kaya ve Kahraman (2014) akıllı binaları çok kriterli değerlendirme kullanarak karşılaştırmış ve akıllı binalar için birkaç KPI belirlemiştir. Azari ve diğerleri (2016) ayrıca So ve diğerleri (1999) tarafından özetlenen QEM'lere dayalı KPI'lar geliştirmiş ve bunları kendi KPI'ları için bir temel olarak kullanmıştır.

Chen ve diğerleri (2006) yeşil endeks, alan endeksi, konfor endeksi, çalışma verimliliği endeksi, kültürel endeks, yüksek teknoloji imaj endeksi, güvenlik ve yapı endeksi, yönetim uygulaması ve güvenliği, maliyet etkinliği endeksi ve sağlık ve sanitasyon endeksi gibi KPI'ları içeren akıllı bina değerlendirmesi için IBAssessor adlı bir model önermiştir. Wong ve Li (2008), akademisyenler, geliştiriciler ve uygulayıcılar da dahil olmak üzere 136 inşaat profesyonelinden alınan geri bildirimlere dayalı bir dizi KPI geliştirerek akıllı bina sistemlerinin seçimi konusunda çok kriterli bir analiz yürüttü. Benzer şekilde, Wong ve diğerleri (2008), entegre bina yönetimi, HVAC kontrolü, yangın algılama, telekom sistemleri, güvenlik, enerji tasarruflu kaldırma

sistemleri, aydınlatma kontrolü ve bakım yönetimi gibi sistemlere odaklanarak binalardaki akıllılık seviyelerini değerlendiren bir dizi 69 KPI geliştirdi (Wong ve diğerleri, 2008).

Bu çeşitli çalışmalar, akıllı bina değerlendirme metodolojilerinin geliştirilmesine ilişkin değerli içgörüler sunarak, dünya çapında akıllı binaların performansını ve yeteneklerini değerlendirmek için kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır.

### **2.3. Akıllı Binalarda Enerji Verimliliği**

Akıllı binalar, bilindiği üzere, binanın enerji kullanımının enerji verimliliğini artırmak için kendi bileşenleri ve ek teknolojiler aracılığıyla otomatik olarak yönetildiği sistemlerdir (Yılmaz, 2006). Bu binalar, hem enerji verimliliği hem de konfor sunarak akıllı şehirlerin çevresel etkisini en aza indirmede önemlidir (Özmen ve Beşiroğlu, 2024). Akıllı binalar, enerji verimliliği, otomasyon sistemleri, kullanıcı konforu ve güvenlik gibi özelliklerin tümünü nicel tasarım parametreleri ve araçlarıyla desteklenen yapılar olarak tanımlanabilir. Sonuç olarak, binaların sakinlerinin ihtiyaçlarını karşılamak, daha güvenli ortamlar sağlamak, enerji tasarrufu için kaynak kullanımını optimize etmek ve karbon emisyonlarını azaltmak üzere geliştirileceği öngörülmektedir (Apanavičienė ve Shahrabani, 2023).

Enerji verimliliği günümüzde en zorlu görevlerden biri haline geldi ve bu durum Ambient Intelligence gibi yeni alanlardaki araştırmaları artırdı. Konut ve üçüncül sektörlerdeki enerji tüketimi özellikle gelişmiş ülkelerde yüksektir. Bu sektörlerde enerji tasarrufu için büyük bir potansiyel vardır (Dunne vd., 2021). Yeni inşa edilen binalar ve restore edilen binalar için enerji tasarrufu önlemleri geliştirilir. Ancak, standart enerji verimliliği yöntemlerinin dışında enerji tüketiminde önemli bir azalma sağlamak için yenilenebilir enerji de dâhil olmak üzere öncü teknolojiler uygulanmalıdır. Artık binaların daha yüksek ve daha karmaşık performans gereksinimlerini karşılaması giderek daha fazla bekleniyor. Bu gereksinimler arasında enerji verimliliği, enerji sürdürülebilirliğini teşvik etmek için uluslararası bir hedef olarak bilinmektedir. Bu hedefe odaklanmak için farklı yaklaşımlar benimsenmiştir, en güncel olanı tüketim modellerini insan işgaliyle ilişkilendirmektedir. Enerji verimliliği, günümüzde enerji talebinin olduğu tüm alanlarda ortaya çıkabilen anahtar kelimelerdir. Binalarda enerji verimliliğini artıracak önemli bir husus, bina otomasyon sistemlerinin kullanılmasıdır. Alternatif olarak, bina otomasyon sistemleri genellikle konfor ve güvenlik için kullanıldıkları için enerji tasarrufu için dikkate alınmazlar. Bu,

bu sistemlerin verimsiz kullanımı ve enerji tüketiminin farkında olunmaması nedeniyle sürekli olarak büyük sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle mevcut sistem çözümlerinin enerji tasarrufuna odaklanacak şekilde uyarlanması esastır. Birangal ve diğerleri (2015) tarafından akıllı binalarda enerji verimliliğini artırmak için akıllı bir sistem geliştirme konusundaki araştırma yaklaşımına göre elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Enerji verimli binalar, enerji tasarrufu sağlamada ve dolayısıyla küresel iklim korumasına katkı sağlamada önemli bir rol oynamaktadır.
- Enerji kullanımını optimize etmek ve yönetmek, sürdürülebilir bir bina yönetiminin temel unsurlarındandır.
- Enerji tüketimini azaltmak amacıyla enerji verimli ekipmanların kurulumu, bina performansını iyileştirir.
- Mevcut HVAC, aydınlatma, su ve enerji sistemlerinin yanı sıra diğer kritik ekipmanların bakımını yapmak, onarmak ve otomatikleştirmek, enerji verimliliğini artırmada etkili bir yöntemdir.
- Tüketimi izlemek ve pazar verilerini analiz etmek, tesisin enerji kullanımını daha iyi anlamak ve kontrol etmek için önemlidir.
- Enerji iyileştirmeleri ve tasarrufları için eyleme geçirilebilir öneriler kullanmak, enerji verimliliğini artıran adımlardır.
- Akıllı enerji verimli binaların, gelecekteki enerji sistemlerinin önemli bir parçası olması beklenmektedir. Entegre edilebilecek fonksiyon sayısında pratikte bir sınırlama yoktur. Ölçüm, analiz ve kontrol, etkili bir enerji yönetimi için temel önkoşullardır.
- Enerji tüketen bileşenlerle enerji üreten bileşenlerin entegrasyonu ve akıllı binaların enerji sistemine dahil edilmesi, enerji maliyetlerini düşürür ve CO2 emisyonlarını azaltır.
- Verimlilik, en düşük girişle en yüksek çıktıyı almak anlamına gelir. Bir örnek, bir binaya sağlanan enerjidir. Enerji kullanım verimliliği, %100'e yakın olmalıdır. Önceki araştırmalar, akıllı binaların aslında akıllı değil, son derece verimli olduğunu belirtmiştir. Eğer bir bina %100 verimli olursa, bu bina akıllı olarak kabul edilebilir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu tezde, akıllı bina kavramından yola çıkılarak, bir okul örneğinde aydınlatma sistemine otomasyon sistemi uygulanarak enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Çalışma, araştırma kapsamında binanın verilerinin, kullanılan cihazların ve ölçüm verilerinin değerlendirilmesini içermektedir. Öncelikle uygulamanın gerçekleştirildiği binanın detayları sunularak enerji tüketen sistemlerin verimliliği değerlendirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, binanın sistemlerinin verimli bir şekilde çalışıp çalışmadığının belirlenmesine yardımcı olmak amacıyla 2017 yılındaki enerji tüketim verileri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Bina Bilgileri

Kullanım Amacı	Okul
Kapalı Hacim	6847 m <sup>2</sup>
İnşaat Alanı	8352 m <sup>2</sup>
Kullanım Alanı	5017 m <sup>2</sup>
Yıllık Isıtma Derece Gün Sayısı	1491
Yıllık Soğutma Derece Gün Sayısı	987
Isıtma/Soğutma Sistemi	Isıtma Kazanı / Soğutma Grubu
Yalıtım Durumu	Yalıtımlı
Çalışan Sayısı	90
Toplam Yıllık Ortalama Enerji Tüketimi (TEP)	44,8
<b>Yıllar</b>	<b>Tüketimler (TEP)</b>
2017	44,8

Okul, 8.352,00 m<sup>2</sup> arsa üzerinde yer almakta olup, toplam inşaat alanı 6.847,00 m<sup>2</sup>dir. İnşaat alanının dağılımı şu şekildedir: Bodrum - 532,00 m<sup>2</sup>, Zemin kat - 2.201,00 m<sup>2</sup>, Birinci kat - 1.921,00 m<sup>2</sup>, İkinci kat - 1.217,00 m<sup>2</sup> ve Üçüncü kat - 972,00 m<sup>2</sup>. Bina, bir bodrum kat, zemin kat ve üç üst kattan oluşan beş katlı bir yapı olarak tasarlanmıştır.

##### 3.1.1. Etüt Çalışmasında Kullanılan Cihazlar ve Alınan Ölçümler

Enerji denetimi sırasında, tanınmış ulusal veya uluslararası kuruluşlar tarafından kalibre edilmiş ve sertifikalandırılmış cihazlar kullanıldı. Çalışmada kullanılan cihazların kalibrasyon detayları, belirli kullanım yerleriyle birlikte aşağıda verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Kullanılan Cihazlar Ve Kalibrasyon Bilgileri

Cihaz adı	Seri no	Kalibrasyon Bilgileri			Etüt sırasında Kullanıldığı yerler
		Tarihi	Geçerlilik süresi	Yapan Kurum/Kuruluş	
Termal Kamera	09060697	31.06.2016	1 Yıl	Penta	Elektrik Panoları, Isıtma Sistemleri Yüzeyleri
Termal Konfor	10076832	18.05.2017	1 Yıl	Protos	Elektrik Panoları, Isıtma Sistemleri Yüzeyleri
Lüksmetre	080907542	22.05.2017	1 Yıl	Protos	İmalat sahası
Hız Probu	16042313	12.07.2016	1 Yıl	Potos	Soğutucu

### 3.1.2. Kullanılan ölçüm veriler

Aydınlatma sistemi aşağıdaki aydınlatma elemanlarını içermektedir.

**Tablo 3.3.** Aydınlatma Elemanları Tablosu

KAT	BÖLÜM ADI	LAMBA TİPİ					ADET	GÜÇ (W)	ÖMÜR (Saat)
Bodrum Kat	Ana Merdiven	Sensörlü Halojen Lamba					1	60	1000
Bodrum Kat	Elektrik Pano Odası	Sensörlü Halojen Lamba					1	60	1000
Bodrum Kat	Sığımak	Tek Floresan					30	40	1000
Bodrum Kat	Mescit	Halojen					2	40	1000

Kat	BÖLÜM ADI	Ölçüm 1 (lx)	Ölçüm 2 (lx)	Ölçüm 3 (lx)	Ölçüm 4 (lx)	Ölçüm 5 (lx)	Ölçüm Ortalaması (lx)	Standart Değer (lx)
Zemin Kat	Sınıf-1A	432	664	542	398	502	508	200
Zemin Kat	Sınıf-1B	436	429	448	272	444	419	200
Zemin Kat	Sınıf-1C	433	383	409	442	432	540	200
Zemin Kat	Sınıf-2C	432	664	542	398	502	508	200
Zemin Kat	Tenefüshane	210	269	199	186	133	199	200
Zemin Kat	We	186	192	212	321	152	213	200
Zemin Kat	We	205	244	246	230	299	245	200
Zemin Kat	Asansör	253	246	112	255	245	222	200
Zemin Kat	Ana Merdiven	183	201	264	187	207	208	100
Zemin Kat	Ana Merdiven	96	102	174	136	152	132	100
Zemin Kat	Müdür Yardımcısı Odası	334	438	311	376	485	389	200
Zemin Kat	Öğrenci İşleri	328	404	408	368	238	349	200
Zemin Kat	Zümre	334	438	311	376	485	389	200
Zemin Kat	Misafir Beklerme	346	422	850	635	368	524	200
Zemin Kat	Rehberlik	341	377	354	452	487	402	200
Zemin Kat	Muhasebe	334	438	311	376	485	389	200
Zemin Kat	Giriş	238	294	261	298	199	258	200
Zemin Kat	Anasınıf-0A	500	429	448	272	444	419	200
Zemin Kat	Anasınıf-0B	503	432	451	275	447	422	200
Zemin Kat	Kimya Laboratuvarı	535	464	483	307	479	454	200
Zemin Kat	Biyoloji Laboratuvarı	503	432	451	275	447	422	200
Zemin Kat	Fen Bilgisi Laboratuvarı	436	386	412	845	635	543	200
Zemin Kat	We	205	244	246	230	299	245	200
Zemin Kat	Müdür Yardımcısı Odası	334	438	311	376	485	389	200
Zemin Kat	Tenefüshane	210	269	199	186	133	199	200
Birinci Kat	Yemekhane	225	277	124	158	338	224	200
Zemin Kat	Kantin	399	405	630	325	505	453	200
Zemin Kat	Asansör	253	246	112	255	245	222	200
Zemin Kat	Ana Merdiven	183	201	264	187	207	208	100
Zemin Kat	Ana Merdiven	96	102	174	136	152	132	100

Kat	BÖLÜM ADI	Ölçüm 1 (lx)	Ölçüm 2 (lx)	Ölçüm 3 (lx)	Ölçüm 4 (lx)	Ölçüm 5 (lx)	Ölçüm Ortalaması (lx)	Standart Değer (lx)
İkinci Kat	Sınıf-5A	328	404	408	368	238	349	200
İkinci Kat	Sınıf-5B	305	365	301	394	393	352	200
İkinci Kat	Sınıf-5C	328	404	408	368	238	349	200
İkinci Kat	Sınıf-6A	305	365	301	394	393	352	200
İkinci Kat	Sınıf-6B	448	398	424	857	647	555	200
İkinci Kat	Sınıf-6C	436	386	412	845	635	543	200
İkinci Kat	Tenefüshane	203	232	251	275	247	222	200
İkinci Kat	We	189	195	215	324	155	216	100
İkinci Kat	We	163	245	178	191	215	198	100
İkinci Kat	Asansör	216	276	203	156	269	224	200
İkinci Kat	Ana Merdiven	206	247	189	193	109	189	100
İkinci Kat	Ana Merdiven	110	136	186	201	178	162	100
İkinci Kat	Ortak Dinlenme	339	303	365	367	635	402	200
İkinci Kat	Kafeterya	328	404	408	368	238	349	200
İkinci Kat	Sınıf-9A	346	422	850	635	368	524	200
İkinci Kat	Sınıf-9B	305	365	301	394	393	352	200
İkinci Kat	Sınıf-9C	341	377	354	452	487	402	200
İkinci Kat	Sınıf-10A	334	438	311	376	485	389	200
İkinci Kat	Sınıf-10B	238	294	261	298	199	258	200
İkinci Kat	Sınıf-10C	339	303	365	367	635	402	200
İkinci Kat	Tenefüshane	234	338	311	376	385	389	200
İkinci Kat	We	189	195	215	324	155	216	100
İkinci Kat	We	163	245	178	191	215	198	100
İkinci Kat	Asansör	206	247	189	193	109	189	200
İkinci Kat	Ana Merdiven	156	153	166	249	145	174	100
İkinci Kat	Ana Merdiven	174	194	162	204	96	166	100

Kat	BÖLÜM ADI	Ölçüm 1 (lx)	Ölçüm 2 (lx)	Ölçüm 3 (lx)	Ölçüm 4 (lx)	Ölçüm 5 (lx)	Ölçüm Ortalaması (lx)	Standart Değer (lx)
Üçüncü Kat	Sınıf-7A	305	204	512	408	305	347	200
Üçüncü Kat	Sınıf-7B	304	190	153	299	158	321	200
Üçüncü Kat	Sınıf-7C	307	324	334	394	389	390	200
Üçüncü Kat	Sınıf-8A	303	355	354	0,02	405	464	200
Üçüncü Kat	Sınıf-8B	310	369	499	386	333	399	200
Üçüncü Kat	Sınıf-8C	310	369	499	386	333	399	200
Üçüncü Kat	Tenefüshane	287	291	183	153	134	210	200
Üçüncü Kat	We	184	234	122	146	311	199	100
Üçüncü Kat	We	185	206	240	222	206	212	100
Üçüncü Kat	Asansör	160	96	136	108	197	139	200
Üçüncü Kat	Ana Merdiven	210	269	199	186	133	199	100
Üçüncü Kat	Ana Merdiven	138	251	239	241	166	207	100
Üçüncü Kat	Sınıf-11A	384	235	229	245	171	233	200
Üçüncü Kat	Sınıf-11B	387	291	183	153	134	210	200
Üçüncü Kat	Sınıf-11C	304	190	153	299	158	221	200
Üçüncü Kat	Sınıf-12A	305	363	308	318	302	379	200
Üçüncü Kat	Sınıf-12B	303	355	354	302	405	464	200
Üçüncü Kat	Sınıf-12C	334	438	311	376	485	389	200
Üçüncü Kat	Tenefüshane	297	94	166	293	239	218	200
Üçüncü Kat	We	181	204	158	173	237	191	100
Üçüncü Kat	We	136	252	236	183	284	218	100
Üçüncü Kat	Asansör	198	304	160	119	284	213	200
Üçüncü Kat	Ana Merdiven	142	178	178	201	109	162	100
Üçüncü Kat	Ana Merdiven	189	243	271	295	296	259	100

### 3.2. Yöntem

Bu tez, bir okulun vaka çalışması aracılığıyla enerji verimliliği iyileştirmelerini incelemektedir. Araştırma, enerji tasarrufu önlemlerinin uygulanmasından önce ve sonra veri toplamayı ve analiz etmeyi içererek, bu müdahalelerin sonuçlarının ve etkinliğinin karşılaştırılmasını mümkün kılan örnek analizi yapılmıştır.

#### 3.2.1. Örneklem Seçimi

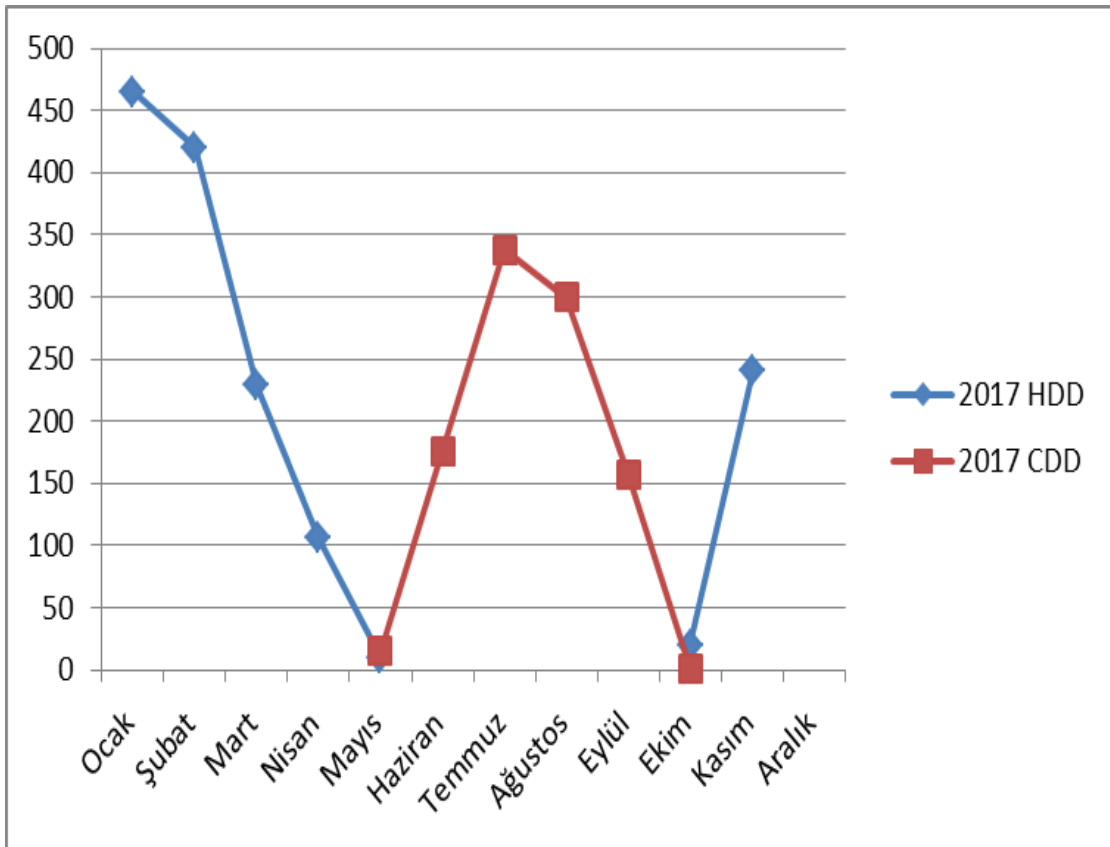
Bu tezde, akıllı bina sistemlerinin uygulanması için bir okul vaka çalışması olarak seçildi. Bahse konu okul örneği, ülke genelindeki yüksek aktivite ve enerji tüketim seviyeleri nedeniyle seçilmiştir. Çalışma, özellikle aydınlatma otomasyonunun enerji verimliliğini artırmadaki etkisini vurgulamaktadır. Okulun boyutları, teknik uyumluluğu, elverişli konumu ve erişilebilirliği onu bu araştırma için ideal bir aday haline getirmiştir.

**Tablo 3.4.** İlin Son 3 Yıl Derece Gün Sayıları Tablosu

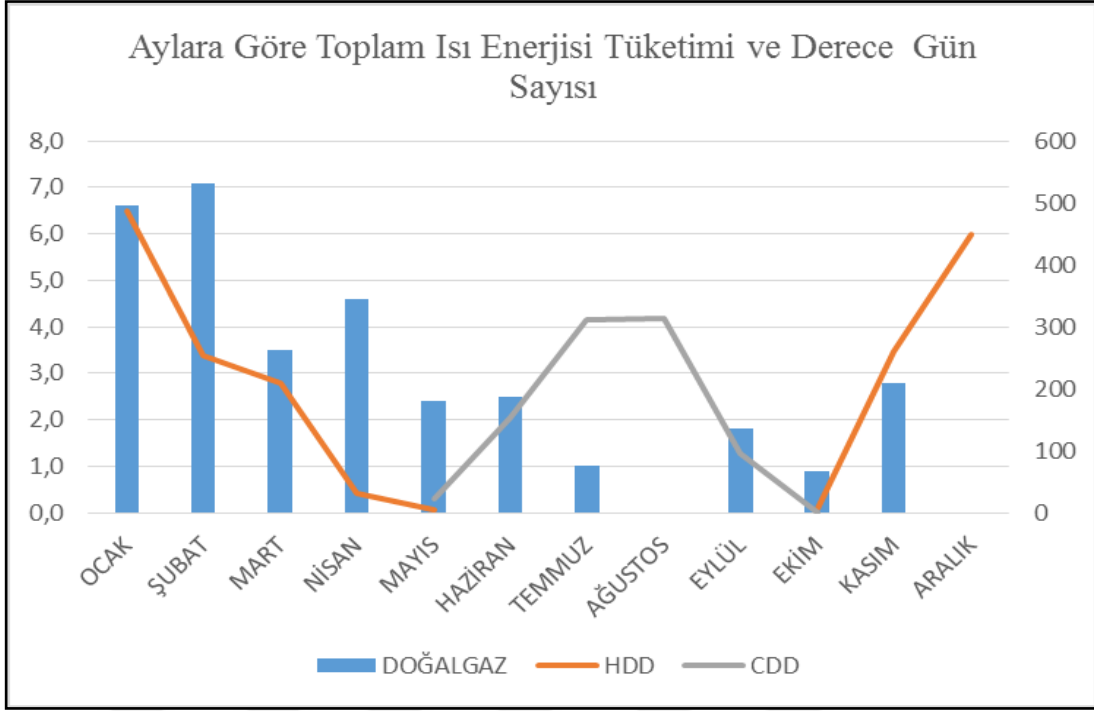
AYLAR	2017		2016		2015	
	HDD	CDD	HDD	CDD	HDD	CDD
Ocak	465		488		449	
Şubat	420		253		325	
Mart	229		210		266	
Nisan	106		32		113	
Mayıs	10	15	4	23		15
Haziran		176		153		142
Temmuz		338		311		305
Ağustos		300		313		269
Eylül		157		95		159
Ekim	20	1	7	1	10	8
Kasım	241		260		205	
Aralık			450		386	

### 3.2.2. Örneklem Analizi

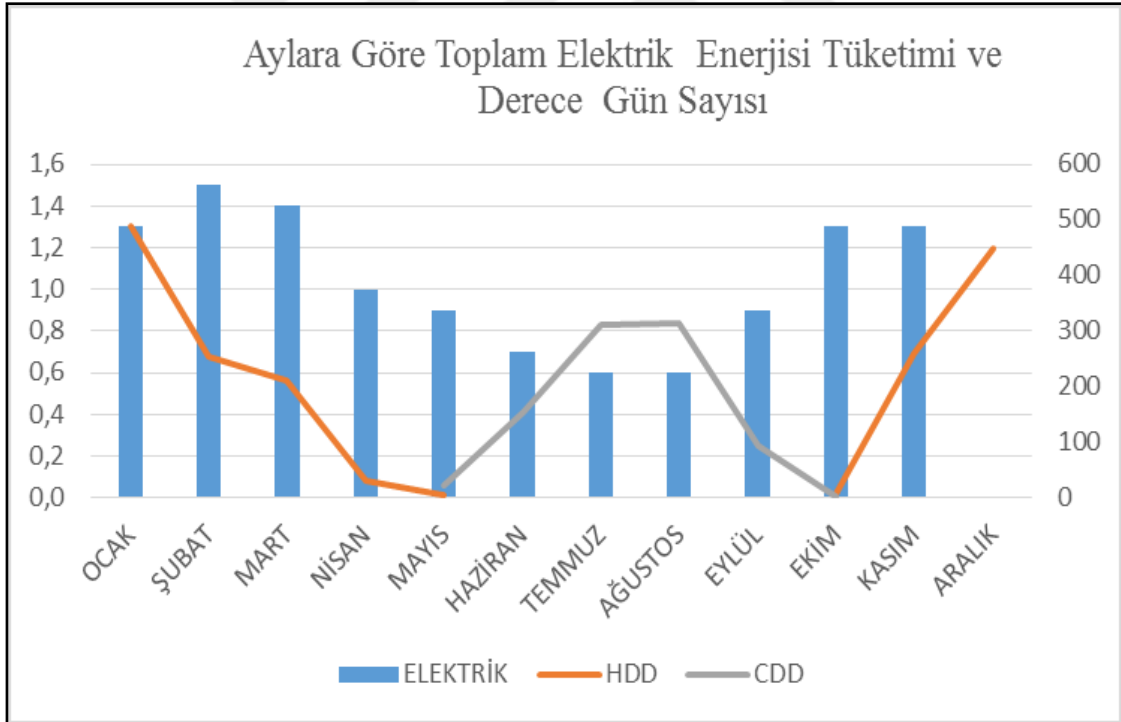
Seçilen örnek fiziksel, teknik, demografik ve enerji tüketim faktörlerine göre değerlendirilmiştir. Aşağıdaki grafikler, her ayın ısıtma ve soğutma derece günü verileriyle birlikte toplam elektrik, doğal gaz ve genel enerji tüketimini göstermektedir. Tablo3.4, "<http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gunderece.aspx?g=yillik&m=0600&y=2013&a=08#sfB>" web sitesindeki veriler kullanılarak derlenmiştir. Bu verilere dayanarak, aşağıdaki grafikte gösterildiği gibi 1704 ısıtma derece günü ve 896 soğutma derece günü olduğu belirlenmiştir.



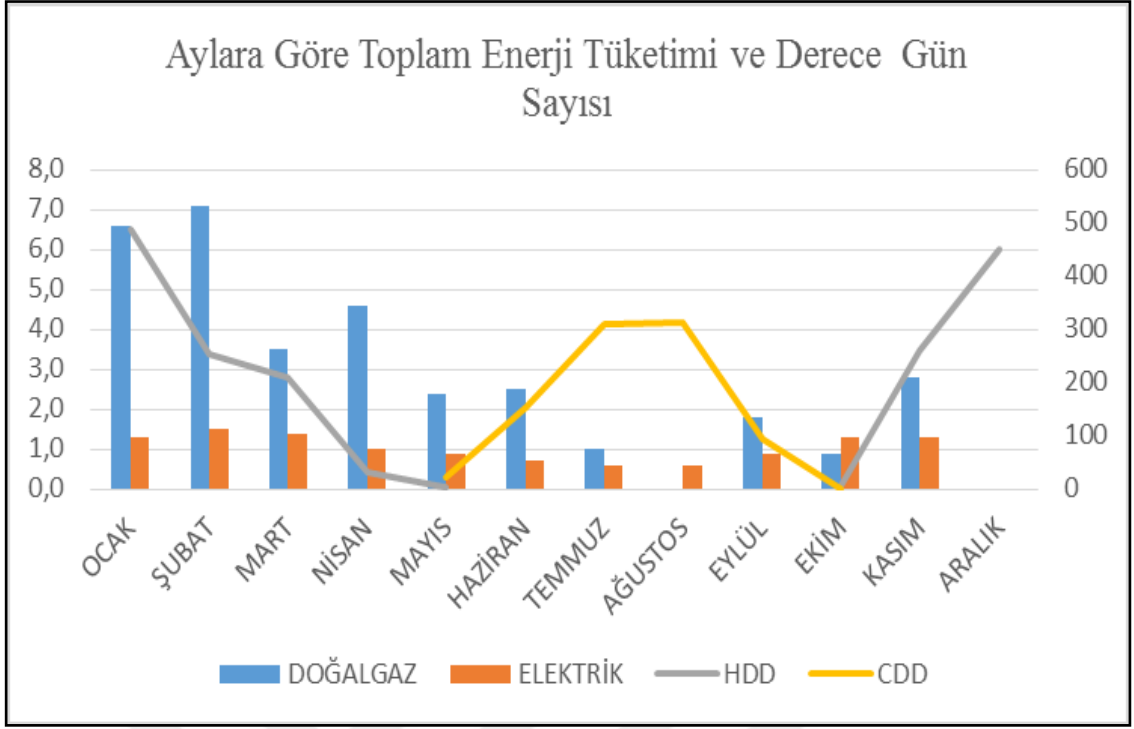
Grafik 3.1. 2016 Yılı Derece Gün Sayıları Grafiği



**Grafik 3.2.** Aylara Göre Toplam Isı Enerjisi Tüketimi Ve Derece Gün Sayısı Grafiği



**Grafik 3.3.** Aylara Göre Toplam Elektrik Enerjisi Tüketimi ve Derece Gün Sayısı Grafiği



**Grafik 3.4.** Aylara Göre Toplam Enerji Tüketimi Ve Derece Gün Sayısı Grafiği

### 3.2.3. Verilerin Toplanması

12 aylık enerji tüketim verileri Tablo 3.4, 3.5 ve 3.6'da sunulan bilgilerden türetilmiştir. Okulların açık olduğu kış aylarında elektrik ve doğal gaz tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde yaz aylarında, yaz okulu yapıldığında ve havuzun ısıtılması gerektiğinde hem doğal gaz hem de elektrik tüketimi de artmaktadır.

**Tablo 3.4.** 2017 Yılı Aylara Göre Elektrik Tüketim Değerleri Tablosu

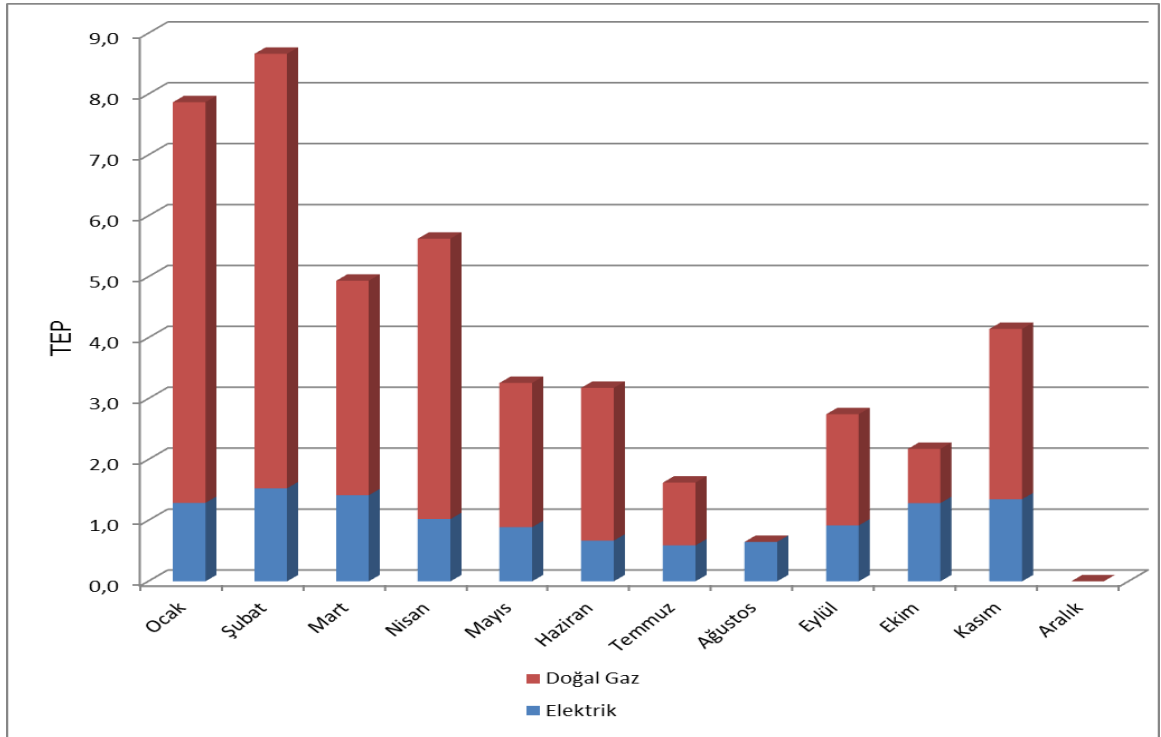
2017 Yılı Elektrik							
Aylar	Tüketim				Maliyet ( TL )		
	Satın Alınan		Üretilen		Satın Alınan	Üretilen	Toplam
	kWh	TEP	kWh	TEP			
Ocak	14.979	1,3	0	0	6.111 ₺	0	6.111 ₺
Şubat	17.765	1,5	0	0	7.248 ₺	0	7.248 ₺
Mart	16.430	1,4	0	0	6.703 ₺	0	6.703 ₺
Nisan	11.877	1,0	0	0	4.846 ₺	0	4.846 ₺
Mayıs	10.342	0,9	0	0	4.220 ₺	0	4.220 ₺
Haziran	7.765	0,7	0	0	3.168 ₺	0	3.168 ₺
Temmuz	6.851	0,6	0	0	2.795 ₺	0	2.795 ₺
Ağustos	7.527	0,6	0	0	3.071 ₺	0	3.071 ₺
Eylül	10.668	0,9	0	0	4.353 ₺	0	4.353 ₺
Ekim	14.936	1,3	0	0	6.094 ₺	0	6.094 ₺
Kasım	15.678	1,3	0	0	6.397 ₺	0	6.397 ₺
Aralık	0	0,0	0	0	0 ₺	0	0 ₺
<b>Toplam</b>	<b>134.818</b>	<b>11,6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>55.006</b>	<b>0</b>	<b>55.006 ₺</b>

**Tablo 3.5.** 2017 Yılı Aylara Göre Doğalgaz Tüketim Değerleri Tablosu

2017 Yılı Doğal Gaz							
Aylar	Tüketim				Maliyet ( TL )		
	Satın Alınan		Üretilen		Satın Alınan	Üretilen	Toplam
	Sm <sup>3</sup>	TEP	Sm <sup>3</sup>	TEP			
Ocak	7.973	6,6	0	0	8.172	0	8.172
Şubat	8.647	7,1	0	0	8.863	0	8.863
Mart	4.268	3,5	0	0	4.375	0	4.375
Nisan	5.581	4,6	0	0	5.721	0	5.721
Mayıs	2.870	2,4	0	0	2.942	0	2.942
Haziran	3.040	2,5	0	0	3.116	0	3.116
Temmuz	1.249	1,0	0	0	1.280	0	1.280
Ağustos	0	0,0	0	0	0	0	0
Eylül	2.213	1,8	0	0	2.268	0	2.268
Ekim	1.078	0,9	0	0	1.105	0	1.105
Kasım	3.389	2,8	0	0	3.474	0	3.474
Aralık	0	0,0	0	0	0	0	0
<b>Toplam</b>	<b>40.308</b>	<b>33,3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>41.316</b>	<b>0</b>	<b>41.316</b>

**Tablo 3.6.** 2017 Yılı Aylara Göre Toplam Tüketim Değerleri Tablosu

2017 Yılı Toplam Enerji Tüketimi							
Aylar	Elektrik		Sıvı Yakıtlar TEP	Katı Yakıtlar TEP	Gaz Yakıtlar TEP	Toplam TEP	Toplam Maliyet TL
	Alınan	Üretilen					
	TEP	TEP					
Ocak	1,3	0	0	0	6,6	7,9	14.284 ₺
Şubat	1,5	0	0	0	7,1	8,7	16.111 ₺
Mart	1,4	0	0	0	3,5	4,9	11.078 ₺
Nisan	1,0	0	0	0	4,6	5,6	10.566 ₺
Mayıs	0,9	0	0	0	2,4	3,3	7.161 ₺
Haziran	0,7	0	0	0	2,5	3,2	6.284 ₺
Temmuz	0,6	0	0	0	1,0	1,6	4.075 ₺
Ağustos	0,6	0	0	0	0,0	0,6	3.071 ₺
Eylül	0,9	0	0	0	1,8	2,7	6.621 ₺
Ekim	1,3	0	0	0	0,9	2,2	7.199 ₺
Kasım	1,3	0	0	0	2,8	4,1	9.870 ₺
Aralık	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0 ₺
<b>Toplam</b>	<b>11,6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>33,3</b>	<b>44,8</b>	<b>96.321 ₺</b>

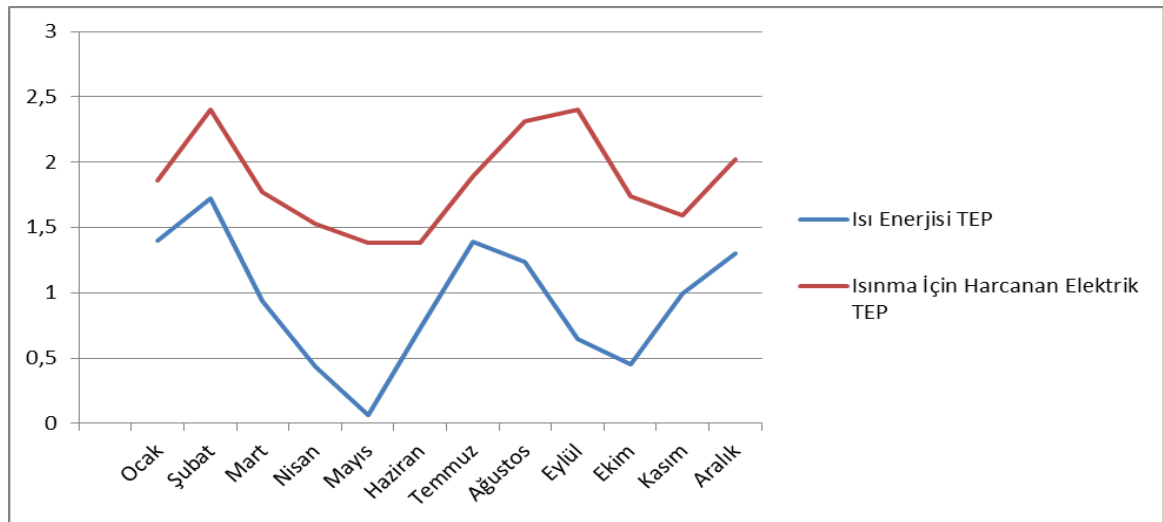
**Grafik 3.5.** 2017 Yılı Aylara Göre Elektrik Doğalgaz Tüketim Grafiği

### 3.2.4. Verilerin Değerlendirilmesi

Binanın yalıtım verimliliğini değerlendirmek için, soğutma ve ısıtma sistemlerinin enerji tüketimi, ana elektrik sayacı tarafından kaydedilen toplam tüketime göre ortalaması alındı. Toplam enerji tüketiminin ısıtma ve soğutma için kullanılan enerjiye oranı %18 olarak belirlendi. Bu analize dayanarak, ısıtma ve soğutma için kullanılan aylık elektrik enerjisi için TEP değerleri aşağıda sunulmuştur.

**Tablo 3.7.** Isınma İçin Harcanan Enerji Değerleri Tablosu

	2017		Isı Enerjisi TEP	Elektrik TEP	Doğal Gaz TEP	Isınma İçin Harcanan Elektrik TEP
	HDD	CDD				
Ocak	465		1,20	1,3	6,6	1,9
Şubat	420		1,04	1,5	7,1	2,4
Mart	229		0,86	1,4	3,5	1,8
Nisan	106		0,13	1,0	4,6	1,5
Mayıs	10	15	0,09	0,9	2,4	1,4
Haziran		176	0,63	0,7	2,5	1,4
Temmuz		338	1,28	0,6	1,0	1,9
Ağustos		300	1,29	0,6	0,0	2,3
Eylül		157	0,39	0,9	1,8	2,4
Ekim	20	1	0,00	1,3	0,9	1,7
Kasım	241		1,07	1,3	2,8	1,6
Aralık			1,30	1,30	0,0	7,4



**Grafik 3.6.** Isınma İçin Harcanan Enerji – Isıtma Gün Derece Karşılaştırma Grafiği

Bina 2. Derece-gün bölgesinde yer almaktadır. Toplam kullanılabilir hacmi 20.541 m<sup>3</sup> ve brüt kullanılabilir alanı 6.847 m<sup>2</sup>'dir. Bina şu anda termal izolasyonla

donatılmıştır. Enerji tüketimi açısından bina "C" olarak sınıflandırılmıştır ve ayrıca SEG (Sera Gazı Emisyonları) için "C" sınıflandırmasına sahiptir.

**Tablo 3.8.** Binanın Toplam Birincil Enerji Tüketim Tablosu (kWh/m<sup>2</sup>-yıl)

Enerji Türü	Enerji Tüketim Değerleri (kWh/yıl)	Kullanım Alanı (m <sup>2</sup> )	Enerji Tüketim Değerleri (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Katsayı	Toplam Birincil Enerji Tüketimi (EP) (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Referans Göstergesi (RG)	EP/RG
Elektrik	134.818,00	6.847,00	19,69	3,31	73,178	100	0,73
Doğalgaz	40.304,00	6.847,00	5,886	1,36			

**Tablo 3.9.** Binanın Toplam Sera Gazı Emisyonu Tablosu (kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>-yıl)

Enerji Türü	Enerji Tüketim Değerleri (kWh/yıl)	Kullanım Alanı (m <sup>2</sup> )	Enerji Tüketim Değerleri (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	SEG Dönüşüm Katsayısı (kg eşd. CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -yıl)	Toplam Sera Gazı Emisyonu (SEG) (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> -yıl)	Sera Gazı Referans Göstergesi (SRG)	SEG/SRG
Elektrik	134.818,00	6.847,00	19,69	0,62	13,5	100	0,13
Doğalgaz	40.304,00	6.847,00	5,886	0,234			

**Tablo 3.10.** Nihai Enerji Tüketimine Göre Sera gazları emisyonu göstergesi

Bina Enerji Sınıfı	Nihai Enerji Tüketimlerine Göre Sera Gazı Emisyon Sınıfı Endeksi (SEG)
A	$SEG < 0,4 \cdot SRG$
B	$0,4 \cdot SRG \leq SEG < 0,8 \cdot SRG$
C	$0,8 \cdot SRG \leq SEG < SRG$
D	$SRG \leq SEG < 1,20 \cdot SRG$
E	$1,20 \cdot SRG \leq SEG < 1,40 \cdot SRG$
F	$1,40 \cdot SRG \leq SEG < 1,75 \cdot SRG$
G	$1,75 \cdot SRG \leq SEG$

**Tablo 3.11.** Birincil enerji cinsinden enerji performansı göstergesi

Bina Enerji Sınıfı	Birincil Enerji Tüketimlerine Göre Enerji Sınıfı Endeksi (EP)
A	$EP < 0,4 \cdot RG$
B	$0,4 \cdot RG \leq EP < 0,8 \cdot RG$
C	$0,8 \cdot RG \leq EP < RG$
D	$RG \leq EP < 1,20 \cdot RG$
E	$1,20 \cdot RG \leq EP < 1,40 \cdot RG$
F	$1,40 \cdot RG \leq EP < 1,75 \cdot RG$
G	$1,75 \cdot RG \leq EP$

Okul için enerji verimliliği değerlendirmesinin bir parçası olarak, aydınlatma elemanlarının toplam kurulu gücü 36,06 kW olarak belirlendi. Aydınlatılan alanlardaki ortalama günlük aydınlatma süresi 12 saat olarak kabul edildi.

Bu veriler kullanılarak, aydınlatma için yıllık enerji tüketimi şu şekilde hesaplandı:

$$\text{Yıllık kWh}_{\text{aydınlatma}} = 365 \text{ gün} \times 36,06 \text{ kW} \times 12 \text{ saat}$$

$$\text{Yıllık kWh}_{\text{aydınlatma}} = 157.942,00 \text{ kWh.}$$

Dağıtım şirketi tarafından tahsil edilen elektrik için birim maliyet, kWh başına 0,217 TL'dir.

Buna dayanarak, aydınlatma için yıllık toplam enerji gideri hesaplandı:

$$\text{Yıllık TL}_{\text{aydınlatma}} = 157.942,80 \text{ kWh} \times 0,217 \text{ TL/kWh}$$

$$\text{Yıllık TL}_{\text{aydınlatma}} = 34.273,58 \text{ TL.}$$

#### 4.ARAŞTIRMA BULGULARI

##### 4.1. Otomasyon Öncesi Enerji Tüketimleri, Maliyetleri ve Mevcut Durum

Okul enerji ihtiyacını hem elektrik hem de doğalgaz kullanarak karşılamaktadır. Tablo 3 incelendiğinde yıllık elektrik tüketiminin 11,6 TEP, yıllık doğalgaz tüketiminin ise 33,3 TEP olduğu görülmektedir. Toplam yıllık elektrik maliyeti 55.006,0 TL, doğalgaz enerjisi maliyeti ise 41.316,00 TL olarak gerçekleşmiştir. Bu hesaplamalara göre tesisin enerji ihtiyacının % 25,9'unun elektrikle, % 74,1'inin ise doğalgazla karşılandığı tespit edilmiştir. Enerji giderlerine bakıldığında elektrik giderlerinin %57,1'i, doğalgaz giderlerinin ise %42,9'u karşılanmıştır. Binanın 2017 yılında toplam TEP tüketimi 44,9 TEP olup toplam enerji harcaması 96.322,0 TL'dir.

**Tablo 3.12.** 2017 Yılı Bina Enerji Tüketim Ve Maliyetleri Tablosu

ENERJİ TÜRÜ	TÜKETİM				MALİYET		BİRİM MALİYET
	Miktar	Birim	TEP	% Toplam	TL	% Toplam	TL / TEP
Elektrik (alınan)	134.818	kWh	11,6	25,9	55.006,0	57,1	4.744,2
Elektrik (üretilen)	0	kWh	0	0	0	0	0
Doğal Gaz	40.308	Sm <sup>3</sup>	33,3	74,1	41.316,0	42,9	1.242,4
Fuel Oil	0	Ton	0	0	0	0	0
LPG	0	Kg	0	0	0	0	0
Motorin	0	Lt	0	0	0	0	0
Diğer	0	-	0	0	0	0	0
TOPLAM	-	-	44,9	100	96322,0	100	5.986,6

#### 4.2. Otomasyon Sonrası Enerji Tüketimleri ve Maliyetleri

Enerji etüt çalışması neticesinde aydınlatma faaliyetleri için;

30 adet 40 W Floresan armatür

74 adet 60 W halojen armatür

427 adet 4x18 W Floresan armatür olmak üzere toplam 531 adet lambaların 157.942,00 kWh yıllık tüketiminin olduğu saptanmıştır.

Aydınlatma kalitesi ve miktarı düşürülmeden ihtiyaç duyulan aydınlatmanın 273 adet 2660 lümen, 28 w lık led armatür ile sağlanacağı yapılan tetkikler sonucunda belirlenmiştir, aydınlatma elemanlarının değiştirilmesi durumunda yeni seçilen LED armatürlerin toplam kurulu gücü 7,644 kW olduğu hesaplanmıştır.

Aydınlatma yapılan ortamların günlük aydınlatılma saatleri ortalama 12 saat olarak alınmıştır.

Bu değerlendirme ile Yıllık toplam enerji tüketimi:

Yıllık kWhaydınlatma = 365 gün x 7,644 Kw x 12 saat

Yıllık kWhaydınlatma = 33.480,72 kWh olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda elde edilebilecek yıllık tasarruf miktarı=

Tasarruf miktarı = Mevcut Tüketim – Verimlilik Çalışması Sonrası Tüketim

Tasarruf Miktarı = 157.972,80 kWh – 33.480,72 kWh = 124.492,88 kWh'tır.

Yıllık Fayda = Tasarruf Miktarı x Birim Fiyat

Yıllık Fayda = 124.492,88 kWh x 0,217 TL/ kWh

Yıllık Fayda = 27.014,78 TL

Yatırım Maliyeti = (273 x 173)

Yatırım Maliyeti = 47.229,00 TL

Basit Geri Ödeme Süresi (GÖS) = Yatırım Maliyeti / Yıllık Fayda

Basit Geri Ödeme Süresi (GÖS) = 47.229,00 TL / 27.014,00 TL

Basit Geri Ödeme Süresi (GÖS) = 1,74

**Tablo 3.13.** Ekonomik Analiz

Yıl	0	1	2	3	4	5	6
Yatırım	47.229,00						
Fayda		27.014,00	27.014,00	27.014,00	27.014,00	27.014,00	27.014,00
Fayda			6.799,00				

Yatırım Maliyeti = 47.229,00 TL

Fayda =  $P1 \times ((1+i)^n - 1)/((1+i)^n \times i) + P2 \times 1/(1+i)^n$

İskonto Oranı(i) = %10 (reel faiz oranı)

Mevcut Lamba Maliyeti =  $(30 \times 25) + (74 \times 30) + (474 \times 95) = 48.000,00$  TL

Mevcut Lamba Ömrü = 4 Yıl

Fayda =  $27.014,00 \times ((1+0,1)^6 - 1)/((1+0,1)^6 \times 0,1) + 6.799,00 \times 1/(1+0,1)^2$

Fayda = 123.272,000 TL

NBD = Fayda – Yatırım Maliyeti

NBD = 123.272,00 TL – (47.229,00+48.000,00) TL

NBD = 28.043,00 TL

### 4.3 Genel Bulgular

Okul'un enerji verimliliği etüt çalışması neticesinde, aydınlatma elemanlarının kurulu güçlerinin 36,06 kW olduğu hesaplanmıştır.

Aydınlatma yapılan ortamların günlük aydınlatılma saatleri ortalama 12 saat olarak alınmıştır.

Bu değerlendirme ile Yıllık toplam enerji tüketimi:

Yıllık kWhaydınlatma = 365 gün x 36,06 Kw x 12 saat

Yıllık kWhaydınlatma = 157.942,00 kWh olarak hesaplanmıştır.

Elektrik dağıtım şirketi birim kWh ücreti 0,217 TL dir.

Bu doğrultuda Yıllık Toplam Aydınlatma Enerji Gideri:

Yıllık TLaydınlatma= 157.942,80 kWh x 0,217 TL/kW

Yıllık TLaydınlatma= 34.273,58 TL olarak hesaplanmıştır.

Enerji etüt çalışması neticesinde aydınlatma faaliyetleri için;

- 30 adet 40 W Floresan armatür
- 74 adet 60 W halojen armatür
- 427 adet 4x18 W Floresan armatür

olmak üzere toplam 531 adet lambaların 157.942,00 kWh yıllık tüketiminin olduğu saptanmıştır.

Aydınlatma kalitesi ve miktarı düşürülmeden ihtiyaç duyulan aydınlatmanın 273 adet 2660 lümen, 28 w lık led armatür ile sağlanacağı yapılan tetkikler sonucunda belirlenmiştir, aydınlatma elemanlarının değiştirilmesi durumunda yeni seçilen LED armatürlerin toplam kurulu gücü 7,644 kW olduğu hesaplanmıştır.

Aydınlatma yapılan ortamların günlük aydınlatılma saatleri ortalama 12 saat olarak alınmıştır.

Bu değerlendirme ile Yıllık toplam enerji tüketimi:

Yıllık kWhaydınlatma = 365 gün x 7,644 Kw x 12 saat

Yıllık kWhaydınlatma = 33.480,72 kWh olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda elde edilebilecek yıllık tasarruf miktarı=

Tasarruf miktarı = Mevcut Tüketim – Verimlilik Çalışması Sonrası Tüketim

Tasarruf Miktarı = 157.972,80 kWh – 33.480,72 kWh = 124.492,88 kWh'tır.

Yıllık Fayda = Tasarruf Miktarı x Birim Fiyat

Yıllık Fayda = 124.492,88 kWh x 0,217 TL/ kWh

Yıllık Fayda = 27.014,78 TL

Yatırım Maliyeti = (273 x 173)

Yatırım Maliyeti = 47.229,00 TL

Basit Geri Ödeme Süresi (GÖS) = Yatırım Maliyeti / Yıllık Fayda

Basit Geri Ödeme Süresi (GÖS) = 47.229,00 TL / 27.014,00 TL

Basit Geri Ödeme Süresi (GÖS) = 1,74

**Tablo 3.14.** Ekonomik Analiz

Yıl	0	1	2	3	4	5	6
Yatırım	47.229,00						
Fayda		27.014,00	27.014,00	27.014,00	27.014,00	27.014,00	27.014,00
Fayda			6.799,00				

Yatırım Maliyeti = 47.229,00 TL

$$\text{Fayda} = P_1 \times ((1+i)^n - 1)/((1+i)^n \times i) + P_2 \times 1/(1+i)^n$$

İskonto Oranı(i) = %10 (reel faiz oranı)

$$\text{Mevcut Lamba Maliyeti} = (30 \times 25) + (74 \times 30) + (474 \times 95) = 48.000,00 \text{ TL}$$

Mevcut Lamba Ömrü = 4 Yıl

$$\text{Fayda} = 27.014,00 \times ((1+0,1)^6 - 1)/((1+0,1)^6 \times 0,1) + 6.799,00 \times 1/(1+0,1)^2$$

$$\text{Fayda} = 123.272,000 \text{ TL}$$

$$\text{NBD} = \text{Fayda} - \text{Yatırım Maliyeti}$$

$$\text{NBD} = 123.272,00 \text{ TL} - (47.229,00+48.000,00) \text{ TL}$$

$$\text{NBD} = 28.043,00 \text{ TL}$$

Enerji tipine göre yıllık tüketim değerleri görülmektedir. Isıtma/soğutma, sıhhi sıcak su üretimi ve aydınlatma için enerji tüketimleri (birincil enerji olarak) 73,178 kWh/m<sup>2</sup> yıl ve buna bağlı olarak da emisyon salınımı değeri 13,5 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> yıl olarak bulunmuştur ve bu değerlere karşılık gelen hastane enerji tüketim ve emisyon değerlerine bağlı olarak hangi sınıfa girdiği belirlenmiştir. Bina birim hacim başına ihtiyaç duyulan maksimum ısı ihtiyacını sağlamak için yapılması öngörülenler:

- Aydınlatma
- Tesisat yalıtımı

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Enerji, hem bireysel hem de toplumsal açıdan vazgeçilmez bir ihtiyaç olup, talebi giderek artmaktadır. Bununla birlikte, fosil yakıtların arzında sürdürülebilirlik sorunları ve alternatif enerji kaynaklarının yeterli düzeye ulaşamaması, enerji verimliliğini artırmayı kritik bir öncelik haline getirmiştir. Bu bağlamda, aydınlatma sistemleri ve ısı yalıtımı, enerji tüketimini azaltmada ve verimliliği artırmada önemli iki unsur olarak öne çıkmaktadır.

Gelişmiş aydınlatma teknolojileri, özellikle LED ve akıllı aydınlatma sistemleri, geleneksel aydınlatma yöntemlerine kıyasla daha düşük enerji tüketimi sağlamak ve uzun ömürlü kullanım imkânı sunmaktadır. Akıllı aydınlatma sistemleri, sensörler ve otomasyon teknolojileri sayesinde yalnızca ihtiyaç duyulan alanlarda ve zamanlarda aydınlatma sağlayarak gereksiz enerji tüketimini önlemektedir. Böylece, hem bireysel konutlarda hem de büyük ölçekli kamu ve ticari binalarda önemli enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Bunun yanı sıra, ısı yalıtımı da enerji verimliliğinin artırılmasında kritik bir rol oynamaktadır. İyi tasarlanmış bir yalıtım sistemi, binalarda ısı kaybını önleyerek hem ısınma hem de soğutma maliyetlerini düşürmektedir. Çatı, duvar ve pencere yalıtımı gibi uygulamalar, binaların iç ortam sıcaklığını daha stabil hale getirerek enerji ihtiyacını minimize etmektedir. Özellikle Türkiye gibi farklı iklim koşullarına sahip ülkelerde, binaların enerji performansını artırmak için yalıtım standartlarının güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Aydınlatma ve ısı yalıtımı gibi enerji verimliliği sağlayan teknolojiler, sanayi, ulaşım ve hizmet sektörlerinde de geniş bir uygulama alanına sahiptir. Kamu binaları, okullar, hastaneler ve sanayi tesislerinde akıllı aydınlatma ve yüksek performanslı yalıtım sistemlerinin yaygınlaştırılması, toplam enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabilir. Türkiye’de enerji tasarrufu hedefleri doğrultusunda bina yalıtım standartlarının yükseltilmesi ve enerji verimli aydınlatma sistemlerinin teşvik edilmesi, sürdürülebilir enerji yönetimine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, enerji verimliliğini artırma sürecinde aydınlatma ve ısı yalıtımı kritik unsurlar arasında yer almaktadır. Bu teknolojilerin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için hem bireysel hem de kurumsal düzeyde farkındalığın artırılması, devlet destekli teşvik mekanizmalarının oluşturulması ve enerji tasarrufunu teşvik eden

düzenlemelerin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Enerji verimliliğine yönelik bu stratejilerin benimsenmesi, çevresel etkilerin azaltılmasına ve ekonomik tasarruf sağlanmasına önemli katkılar sunacaktır.

Çalışma kapsamında 2. derece-gün bölgesinde bulunan okulda enerji verimliliği çalışmaları yapılmıştır. Betonarme karkas yapıdaki bina, 8.352 m<sup>2</sup> arsa alanına sahip olup, toplamda 6.847 m<sup>2</sup> brüt kullanım alanına sahiptir. Bina, okul ve spor salonu olmak üzere iki yapıdan oluşmaktadır. Okul binası bodrum, zemin ve üç katlı, spor salonu binası ise zemin ve bir kattan oluşmaktadır.

2017 yılının Kasım ayında gerçekleştirilen enerji etüdü kapsamında, tesisin enerji ihtiyaçları değerlendirilmiş, tasarruf noktaları belirlenmiş ve enerji verimliliği iyileştirme önerileri sunulmuştur. Bununla birlikte, yapılacak iyileştirmelerin tasarruf potansiyeli, yatırım maliyeti ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Ayrıca, bu çalışmalar sonucunda binanın karbon emisyonlarında beklenen azalmalar da tespit edilmiştir.

Kolejin enerji ihtiyacı, elektrik ve doğalgaz kullanımı ile karşılanmaktadır. Elektrik enerjisi ağırlıklı olarak aydınlatma, soğutma, asansör tertibatı ve diğer işletme faaliyetleri için kullanılırken, doğalgaz ısıtma, sıcak su ve yemekhanede tüketilmektedir. Enerji etüdü sonuçlarına göre:

- Kolejin yıllık toplam enerji tüketimi 44,9 TEP olarak hesaplanmıştır.
- Enerji tüketiminin %25,9'u elektrik, %74,1'i doğalgaz ile karşılanmaktadır.
- Elektrik tüketimi yıllık 134.818 kWh olup, bu miktarın maliyeti 55.006 TL'dir.
- Doğalgaz tüketimi yıllık 40.308 Sm<sup>3</sup> olup, maliyeti 41.316 TL'dir.
- Elektrik enerjisinin birim maliyeti 4.744,2 TL/TEP, doğalgazın birim maliyeti ise 1.242,4 TL/TEP olarak belirlenmiştir.
- Toplam enerji maliyeti 96.322 TL'dir. Bu maliyetin %57,1'i elektrik, %42,9'u doğalgaz kaynaklıdır.

Ayrıca mevcut örneklemin yalıtım verimliliği de değerlendirilmiştir. Binanın brüt kullanım hacmi 20.541 m<sup>3</sup>, brüt kullanım alanı ise 6.847 m<sup>2</sup>'dir. Binanın mevcut durumunda ısı yalıtımı bulunmaktadır. Soğutma ve ısıtma sistemlerinin tüketim değerleri ile elektrik ana giriş sayacının tüketim değerleri karşılaştırılarak, toplam tüketilen enerjinin soğutma ve ısıtma için kullanılan enerjiye oranı hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda, toplam enerji tüketiminin %18'inin soğutma ve ısıtma sistemleri için kullanıldığı belirlenmiştir.

Enerji performansı açısından yapılan değerlendirmelerde bina, mevcut durumu itibarıyla:

- Enerji tüketimi bakımından “C” sınıfında,
- Sera gazı emisyonu (SEG) açısından da “C” sınıfında yer almaktadır.

Bu sonuçlar, binanın enerji ve yalıtım performansında belirli bir seviyeyi yakaladığını, ancak enerji tasarrufunu artırmak ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için iyileştirme fırsatlarının bulunduğunu göstermektedir.

Okulda elektrik faturaları tek zamanlı tarife üzerinden hesaplanmaktadır. Örneklemin toplam elektrik tüketimi, 2017 yılında 134.818 kWh olarak kaydedilmiştir. Enerji tüketiminin %79’u gündüz saatlerinde, %11’i puant saatlerinde ve %10’u gece saatlerinde gerçekleşmiştir. Tek zamanlı tarifeye göre birim enerji maliyeti 0,217 TL/kWh olup, yıllık toplam elektrik faturası 55.006,00 TL olarak hesaplanmıştır. Ancak, çok terimli tarifeye geçilmesi durumunda:

- Gündüz saatlerinde birim maliyet 0,166 TL/kWh,
- Puant saatlerinde birim maliyet 0,296 TL/kWh,
- Gece saatlerinde birim maliyet 0,197 TL/kWh olacaktır.

Bu tarifeye göre yapılan analizde, toplam elektrik tüketim maliyeti 24.744,68 TL olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, çok terimli tarifeye geçilmesi ile 30.261,32 TL tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, kolejin elektrik tüketim maliyetlerini azaltmak amacıyla mevcut tek zamanlı tarifeden çok terimli tarifeye geçiş yapılması önerilmektedir. Bu değişiklik, okul bütçesi açısından önemli bir maliyet avantajı sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında okul örneğinde yapılan enerji verimliliği etüt çalışması sonucunda özetle aşağıdaki bulgular ve öneriler ortaya konulmuştur:

- Mevcut Durum şöyledir:
  - Binadaki aydınlatma elemanlarının toplam kurulu gücü 36,06 kW’dır.
  - Aydınlatma yapılan ortamlar günde ortalama 12 saat kullanılmaktadır.
  - Yıllık enerji tüketimi yaklaşık olarak 157.942 kWh olarak hesaplanmıştır.
  - Elektrik dağıtım şirketinin birim kWh ücreti 0,217 TL’dir. Bu durumda yıllık toplam aydınlatma enerji gideri yaklaşık 34.273,58 TL olmaktadır.
- Öneriler ve Verimlilik Çalışması

- Mevcut aydınlatma sisteminin LED teknolojisi ile değiştirilmesi önerilmektedir.
- Yapılan analizler sonucunda, 273 adet 2660 lümen, 28 W'lık LED armatür kullanılması durumunda yeni kurulu güç 7,644 kW olacaktır.
- Bu değişiklik ile yıllık enerji tüketimi 33.480,72 kWh'ye düşecektir.
- LED dönüşümüyle sağlanabilecek yıllık enerji tasarrufu 124.492,88 kWh olacaktır.
- Yıllık mali tasarruf ise 27.014,78 TL olarak hesaplanmıştır.
- Ekonomik Analiz
  - LED dönüşümü için toplam yatırım maliyeti 47.229 TL olacaktır.
  - Basit geri ödeme süresi yaklaşık 1,74 yıl olarak hesaplanmıştır.
- Detaylı Analiz
  - Mevcut sistemde kullanılan lambaların toplam maliyeti 48.000 TL olup, ömrü 4 yıl olarak hesaplanmıştır.
  - LED dönüşümünün 6 yıllık fayda değeri 123.272 TL olarak hesaplanmıştır.
  - Net bugünkü değer (NBD), yapılan yatırımın karşılığında elde edilecek net kazancı ifade eder ve bu değer 28.043 TL olarak bulunmuştur.
- Enerji Tüketimi ve Emisyon Değerleri
  - Bina birim hacim başına yıllık enerji tüketimi 73,178 kWh/m<sup>2</sup> yıl olarak hesaplanmıştır.
  - Emisyon salınımı ise 13,5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> yıl olarak bulunmuştur.

## 5.2 Öneriler

Yukarıda verilen sonuçlar ışığında;

- Aydınlatma Sisteminin Yenilenmesi: LED armatürlere geçiş yaparak enerji tasarrufu sağlanması,
- Yıllık enerji giderlerinin önemli ölçüde azaltılması,
- Tesisat Yalıtımı: Isıtma ve soğutma sistemlerinin verimliliğini artırmak için tesisat yalıtımının güçlendirilmesi,
- Okul örneğinin elektrik tüketim maliyetlerini azaltmak amacıyla mevcut tek zamanlı tarifeden çok terimli tarifeye geçiş yapılması önerilmektedir.

Ayrıca mevcut enerji yönetiminde görülen aksaklıkların giderilmesi için atılması gereken adımlar şu şekildedir:

Otomasyon Sistemi Kurulması: Binada enerji tüketim değerlerinin izlenebilmesi için bir otomasyon sistemi oluşturulmalıdır. Bu sistem, enerji tüketiminde meydana gelen değişiklikleri anında tespit ederek gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olacaktır.

Enerji Yöneticisi İstihdamı: Enerji verimliliği konusunda uzmanlaşmış bir enerji yöneticisi istihdam edilmesi önerilmektedir. Enerji yöneticisi, enerji tasarrufu sağlamak için stratejiler geliştirecek ve uygulamaları izleyerek etkinliği artıracaktır.

ISO 50001 Alınması ve Enerji Politikası Oluşturulması: ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi belgesinin alınması, enerji yönetiminin uluslararası standartlara uygun hale getirilmesini sağlar. Ayrıca, bir enerji politikası oluşturularak tüm çalışanlar için enerji verimliliği hedefleri belirlenmelidir.

Farkındalık Eğitimi Verilmesi: Çalışanlara enerji verimliliği bilincinin artırılması amacıyla düzenli farkındalık eğitimleri verilmelidir. Bu eğitimler, çalışanların enerji tüketim alışkanlıklarını değiştirmelerine ve daha verimli çalışmalara teşvik etmelerine yardımcı olacaktır.

Enerji Tasarrufunu Sağlayıcı Politikalar ve Uygulamalar: Genel olarak, enerji tasarrufunu sağlamak için politikalar geliştirilmesi ve bu politikaların zorunlu uygulamalarla hayata geçirilmesi önerilmektedir. Bu, enerji verimliliğini artırmak ve maliyetleri düşürmek için önemli bir adımdır.

Bu adımların uygulanması, hem enerji tasarrufunu artırmaya hem de sürdürülebilir enerji kullanımına katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

- ALwaer, H., and Clements-Croome, D. J. (2010). Key performance indicators (KPIs) and priority setting in using the multi-attribute approach for assessing sustainable intelligent buildings. *Building and Environment*, Elsevier Ltd, 45(4), 799–807.
- Apanavičienė, R., & Shahrabani, M. M. N. (2023). Key factors affecting smart building integration into smart city: technological aspects. *Smart Cities*, 6(4), 1832-1857.
- Arditi, D., Mangano, G., and De Marco, A. (2015). Assessing the smartness of buildings. *Facilities*, 33(9–10), 553–572.
- Asadian, E., Azari, K. T., and Vakili Ardebili, A. (2017). Multicriteria Selection Factors for Evaluation of Intelligent Buildings-A Novel Approach for Energy Management. *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions*, Elsevier, 87–102.
- 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 Bilgi Ve Belge Yönetimi Anabilim Dalı.
- Azari, K. T., Asadian, E., and Ardebili, A. V. (2016). Evaluation of Multi-criteria Selection Factors of Intelligent Buildings. *Research Cell: An International Journal of Engineering Sciences*, 16(1), 31–37.
- Azari, K. T., Asadian, E., and Ardebili, A. V. (2016). Evaluation of Multi-criteria Selection Factors of Intelligent Buildings. *Research Cell: An International Journal of Engineering Sciences*, 16(1), 31–37.
- Bannister, P. (2012). NABERS: Lessons from 12 years of performance-based ratings in Australia. *Energy Systems Laboratory*, (Eu 2002).
- Birangal, G., Admane, S. V., and Shinde, S. S. (2015). Energy efficiency approach to intelligent building. *International Journal of Engineering Research*, 4(7), 389-393.
- Buckman, A. H., Mayfield, M., and Beck, S. B. M. (2014). What is a smart building? Smart and Sustainable Built Environment, 3(2), 92–109
- Burroughs, S. (2018). Improving office building energy-efficiency ratings using a smart-engineering–computer-simulation approach: an Australian case study. *Advances in Building Energy Research*, Taylor & Francis, 12(2), 217–234.
- Chen, Z., Clements-Croome, D. J., Hong, J., Li, H., and Xu, Q. (2006). A Review of Quantitative Approaches to Intelligent Building Assessment. *Renewable Energy Resources and a Greener Future*, VIII-6–2(May 2014).
- Chew, M. Y. L., and Das, S. (2008). Building Grading Systems: A Review of the State-of-the-Art. *Architectural Science Review*, 51(1), 3–13.
- China Intelligent Building Technology Information Network (CIBTIN). (2002). China's Premier Platform for IoT and Intelligent Building Technology. <https://shanghai-intelligent-building-technology.hk.messefrankfurt.com/shanghai/en.html>
- Civan, U. (2006). Akıllı Binaların Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye.

- Clift, M. (1996). Building quality assessment (BQA) for offices. *Structural Survey*, 14(2), 22–25.
- Cole, R. J., and Brown, Z. (2009). Reconciling human and automated intelligence in the provision of occupant comfort. *Intelligent Buildings International*, 1(1), 39– 55.
- Continental Authomated Buildings Association (CABA). (2015). *Intelligent Buildings: The Past and Future*. <https://www.caba.org/documents/Presentations/2015-04.pdf>
- Çakır, H. S., (2022). Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin Tasarımda Biçimlenişi: Akıllı Binalar. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 7(1), 421-441.
- DEGW. (1992). *Intelligent Buildings in Europe*. European Intelligent Buildings Group.
- Dunne, R., Morris, T., and Harper, S. (2021). A survey of ambient intelligence. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(4), 1-27.
- Ehrllich, P. E. (2005). What is an Intelligent Building? <https://www.esmagazine.com/articles/95077-what-is-an-intelligent-building->
- enerji.gov.tr (2022). T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Verimliliği Ve Çevre Dairesi Başkanlığı Sanayide Enerji Verimliliği Proje Yarışmaları (Senver –24) Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Proje Yarışması. <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/Bilin%C3%A7lendirme/EnerjiVerimlili%C4%9FiKonuluYar%C4%B1%C5%9Fmalar%C4%B1m%C4%B1z/Belgeler/SEVYUEsaslar%C4%B1.pdf>.
- Epokulu (2020). *Aydınlatma Hesabı*. <https://epokulu.com/aydinlatma-hesabi/>.
- Eugeny, I. B., (2015). The Distinctive Features of “Smart” Buildings. *Procedia Engineering journal*, 111, 103-107.
- Fântână, G. I., ve Oae, S. A. (2013). Evolution of Smart Buildings. *Proceedings of The 2013 International Conference on Environment, Energy, Ecosystems and Development*. <http://www.inase.org/library/2013/venice/bypaper/EEEAD/EEEA D33.pdf>
- Fujie, S., and Mikami, Y. (1991). Construction Aspects of Intelligent Buildings. *IEEE Communications Magazine*, 29(4), 50–57.
- Gemalto (2019). *The IoT and Smart Buildings*. Gemalto A Thales Company: Smart Buildings. <https://www.gemalto.com/m2m/markets/smart-buildings>
- Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., AlWaer, H., Chang, S., Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A., and Clements-Croome, D. (2016). What is an intelligent building? Analysis of recent interpretations from an international perspective. *Architectural Science Review*, 59(5), 338–357.
- Gözdem Elektrik (2025). [https://www.gozdemelektrik.com/assets/docs/Aydinlatma\\_hesabi.14563258.pdf](https://www.gozdemelektrik.com/assets/docs/Aydinlatma_hesabi.14563258.pdf).
- Hands on Guide (2007). *Intelligent Building Dictionary*. <http://intelligent-buildingdictionary.com/words.php/t/irintelligentbuilding/>
- Hayta, A. B. (2007). Çalışma ortamı koşullarının işletme verimliliği üzerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, (1), 21-41.
- Hoy, M. B. (2016). Smart buildings: an introduction to the library of the future. *Medical reference services quarterly*, 35(3), 326-331.

- Inogate (2019). Smart Intelligent Buildings. <http://www.inogate.org/documents/Lecture%20Building%20EE%203%20ENG.pdf>
- Kaya, İ., and Kahraman, C. (2014). A Comparison of Fuzzy Multicriteria Decision Making Methods for Intelligent Building Assessment. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(1), 59–69.
- Kolokotsa, D., Sutherland, G., Stavrakakis, G., Karatassou, S., and Santamouris, M. (2007). A matrix tool for assessing the performance of intelligent buildings. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 18(1), 36–49.
- Kurt, B. (2012). Plastik Ürün İmalatı Yapan Kobi’lerde İSG Uygulamaları Ve Plastik Enjeksiyon Makinelerinde Oluşan Tehlikelerin Tanımlanması Ve Önlenmesi. (İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi). Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı Ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.
- Lafontaine, J. (1999). Intelligent Building Concept. EMCS Engineering Inc. <https://www.scribd.com/document/267198252/Intelligent-Bldg-Concept>
- Laing C., Badii A. ve Vickers P. (2012). Securing Critical Infrastructures and Critical Control Systems: Approaches for Threat Protection. Pennsylvania: IGI Global.
- Lavy, S., Garcia, J. A., and Dixit, M. K. (2014). KPIs for facility’s performance assessment, Part II: Identification of variables and deriving expressions for core indicators. *Facilities*, 32(5), 275–294.
- Liu, Y., Prasad, D., Li, J., Fu, Y., and Liu, J. (2006). Developing regionally specific environmental building tools for China. *Building Research and Information*, 34(4), 372–386.
- Mangan, S. D. (2006). Akıllı binalarda alt sistem değerlendirmesi: İstanbul örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye.
- Moghaddam, M. F. (2012). Evaluating Intelligence in Intelligent Buildings Case Study in Turkey.”
- Omar, O. (2018). Intelligent Building, Definitions, Factors and Evaluation Criteria of Selection. *Alexandria Engineering Journal* 57(4): 2903-2910.
- Omrany, H., Soebarto, V., and Ghaffarianhoseini, A. (2022). Rethinking the concept of building energy rating system in Australia: A pathway to life-cycle net-zero energy building design. *Architectural Science Review*, 65(1), 42-56.
- Owajiony, L. F. (2007). Intelligent Building Concept: the Challenges for Building Practitioners in The 21st Century. *AARCHES J* 6(3). [https://www.researchgate.net/publication/274568716\\_INTELLIGENT\\_BUILDING\\_CONCEPT\\_the\\_challenges\\_for\\_building\\_practitioners\\_in\\_the\\_21st\\_century](https://www.researchgate.net/publication/274568716_INTELLIGENT_BUILDING_CONCEPT_the_challenges_for_building_practitioners_in_the_21st_century)
- ÖzbayOSGB (2025). Aydınlatma Ölçümleri. <https://www.ozbayosgb.com.tr/ortam-olcumleri/aydinlatma-olcumu/>
- Özmen, E., & Beşiroğlu, Ş. (2024). Akıllı Şehirler Kapsamında Akıllı Binalar: Sayısal Tasarım Metrikleri ve Araçları.

- Patil, M., Boraste, S., & Minde, P. (2022). A comprehensive review on emerging trends in smart green building technologies and sustainable materials. *Materials Today: Proceedings*, 65, 1813-1822.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., and Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398.
- Serer (2025). [https://www.serer.com.tr/uploads/docs/aydinlatma\\_birimleri\\_ve\\_denklemleri.pdf](https://www.serer.com.tr/uploads/docs/aydinlatma_birimleri_ve_denklemleri.pdf)
- Shah, H. H., Ma, Y., and Gulliver, S. R. (2010). Selecting key performance indicators for sustainable intelligent buildings. *IWCSC 2010*.
- Siemens (2019). Intelligent Infrastructure How to Make a Smart Building More Profitable. IDC, Business Strategy: Global Smart Building Technology Spending 2015-2019 Forecast. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1545927464.df017bef26a1c4f961b19b080942374b671de15f.bt-cpp-intel-infrstrctr-wp.pdf>
- Sinopoli, J. (2010). *Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders*. Butterworth Heinemann: Oxford.
- Snoonian, D. (2003). Smart Buildings. *IEEE Spectrum*, 40(8): 18–23.
- So, A. T. P., and Wong, K. C. (2002). On the quantitative assessment of intelligent buildings. *Facilities*, 20(5), 288–295.
- So, A. T. P., Wong, A. C. W., and Wong, K. (1999). A new definition of intelligent buildings for Asia. *Facilities*, 17(12), 485–492.
- Study.com (2019). What is an Integrated Building Management System? <https://study.com/academy/lesson/what-is-an-integrated-building-management-system.html>
- Temboo (2019). Smart Buildings: The Ultimate Guide. <https://blog.temboo.com/ultimate-smart-building-guide/>
- TGUB (2025). <http://tgub.org.tr/SF/129/ekler.pdf>.
- Utkuğ, G.S. (2001). Yeni Yüzyıla Girenken Bina Tasarımı Ekoloji/Enerji Etkin/ Akıllı Bina. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 1(14): 25-28.
- Wang, S. (2010). *Intelligent Buildings and Building Automation*. Spoon Press.
- Wigginton, M., & Harris, J. (2002). *Intelligent Skins*. Butterworth-Heinemann: Oxford
- Wong, J. K. W., and Li, H. (2008). Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems. *Building and Environment*, 43(1), 108–125.
- Wong, J. K. W., Li, H., and Wang, S. W. (2005). Intelligent building research: a review. *Automation in Construction*, 14(1), 143–159.
- Wong, J., Li, H., and Lai, J. (2008). Evaluating the system intelligence of the intelligent building systems. Part 1: Development of key intelligent indicators and conceptual analytical framework. *Automation in Construction*, 17(3), 284–302.
- Yılandı, S. (2023). Binalarda Enerji Performansı Mevzuatı ve Uygulamaları. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/egitim/duyurular/b-nalarda-enerji-performansi-mevzuati-ve-uygulamalari-20230314123202.pdf>.

Yılmaz, Z. (2006). Akilli binalar ve yenilenebilir enerji. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (91), 7, 15.



## EKLER

**EK 1.** Enerji Kaynaklarının Alt Isıl Değerleri ve Petrol Eşdeğerine Çevrim Katsayıları  
(enerji.gov.tr, 2022).

Miktar	Enerji Kaynağı	Yoğunluk	Alt Isıl Değer * 1000	Birim	TEP Çevrim Katsayısı
1 ton	Taşkömürü		6.100.000	kCal	0.610
1 ton	Kok Kömürü		7.200.000	kCal	0.720
1 ton	Briket		5.000.000	kCal	0.500
1 ton	Linyit teshin ve sanayi		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Linyit santral		2.000.000	kCal	0.200
1 ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1 ton	Petrokok		7.600.000	kCal	0.760
1 ton	Prina		4.300.000	kCal	0.430
1 ton	Talaş		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Kabuk		2.250.000	kCal	0.225
1 ton	Grafit		8.000.000	kCal	0.800
1 ton	Kok tozu		6.000.000	kCal	0.600
1 ton	Maden		5.500.000	kCal	0.550
1 ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1 ton	Asfaltit		4.300.000	kCal	0.430
1 ton	Odun		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Hayvan ve Bitki Artığı		2.300.000	kCal	0.230
1 ton	Ham Petrol		10.500.000	kCal	1.050
1 ton	Fuel Oil No: 4		9.600.000	kCal	0.960
1 ton	Fuel Oil No: 5	0.920 Kg/lt	10.025.000	kCal	1.003
1 ton	Fuel Oil No: 6	0.940 Kg/lt	9.860.000	kCal	0.986
1 ton	Motorin	0.830 Kg/lt	10.200.000	kCal	1.020
1 ton	Benzin	0.735 Kg/lt	10.400.000	kCal	1.040
1 ton	Gazyağı	0.780 Kg/lt	8.290.000	kCal	0.829
1 ton	Siyah Likör		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Nafta		10.400.000	kCal	1.040
bin m3	Doğal Gaz	0.670 Kg/m <sup>3</sup>	8.250.000	kCal	0.825
1 ton	Kok Gazı		8.220.000	kCal	0.820
bin m3	Kok Gazı	0.490 Kg/m <sup>3</sup>	4.028.000	kCal	0.403
1 ton	Yüksek Fırın Gazı		535.000	kCal	0.054
bin m3	Yüksek Fırın Gazı	1.290 Kg/m <sup>3</sup>	690.000	kCal	0.069
bin m3	Çelikhane Gazı		1.500.000	kCal	0,150
bin m3	Rafineri Gazı		8.783.000	kCal	0.878
bin m3	Asetilen		14.230.000	kCal	1.423
bin m3	Propan		10.200.000	kCal	1.020
1 ton	LPG		10.900.000	kCal	1.090
bin m3	LPG	2.477 Kg/m <sup>3</sup>	27.000.000	kCal	2.700
bin kWh	Elektrik		860.000	kCal	0.086
bin kWh	Hidrolik		860.000	kCal	0.086
bin kWh	Jeotermal		860.000	kCal	0.860

**EK 2.** SEG Sera Gazı Emisyonu Dönüşüm Katsayıları [kg eşdeğer CO<sub>2</sub> /kWh] Birincil Enerji ve Sera Gazları Emisyonu Dönüşüm Katsayıları (TGUB, 2025).

	*Birincil Enerji Dönüşüm Katsayıları		SEG Dönüşüm Katsayısı
	Yenilenebilir olmayan kaynak	Toplam	[kg eşd.CO <sub>2</sub> /kWh]
Fuel-Oil			0.330
Doğalgaz			0.234
Gaz (propan, bütan, metan, biyogaz)			0.277
Diğer fosil yakıtlar			0.320
Antrasit			0.394
Linyit			0.433
Kok			0.467
Talaş			0.004
Kütük, biokütle			0.014
Kayın kütüğü			0.013
Köknar kütüğü			0.020
Hidrolik enerji santralinden elektrik			0.007
Nükleer enerji santralinden elektrik			0.016
Kömür enerji santralinden elektrik			1.340
Doğalgaz enerji santralinden elektrik			0.819
Karışık elektrik			0.617
<b>*Birinci enerji dönüşüm katsayıları; ilgili kurum ve kuruluşların belirlediği değerler esas alınacaktır.</b>			

**NOT:** Bu değişkenler, birincil enerjiyi nihai enerjiye dönüştürmek için dönüşüm ve iletim sistemlerinde gerekli olan enerjiyi içerir.

**EK 3. Genel Aydınlatma İçin Uygun Aydınlatma Kaynakları (Yılancı, 2023).**

<b>Yüksek Basıncılı Sodyum</b>	Bütün çeşitleri ve sınıfları.
<b>Metal Halojenur</b>	Bütün çeşitleri ve sınıfları.
<b>Endüksiyon Aydınlatmalı</b>	Bütün çeşitleri ve sınıfları.
<b>Boru Şeklinde Fleurosan</b>	26 mm çapında (T8) lambalar, 16 mm çapında (T5) ve 11 W üzerinde sınıflandırılmış yüksek verimli kumanda dışlisine sahip lambalar ve (T12) lineer 2400 mm uzunluğunda fleurosan lambalar.
<b>Kompakt Fleurosan</b>	11W üzerindeki bütün sınıfları ve enerji verimliliği 50 lümen/devreWatt'tan büyük olan bütün çeşit ve sınıfları.
<b>Diğer</b>	Lambanın enerji verimliliği 50 lümen/devreWatt 'tan büyük olan bütün çeşit ve sınıfları.

**EK 4. Aydınlatma Şiddeti Değerleri Tablosu (ÖzbayOSGB, 2025)**

<b>Genel Olarak Tavsiye Edilen Aydınlatma Şiddeti Tablosu</b>			
<b>Sıra No</b>	<b>Bina</b>	<b>Aydınlatılması İstenen Mekan</b>	<b>Tavsiye Edilen Aydınlatma Şiddeti ( Lux )</b>
1	İdari Binalar	Bilgisayarların Bulunduğu Ortam	500
		Desinatörlerin Çalışma Alanı	1000
2	Okullar ve Üniversiteler	Dershaneler-Anfi tiyatro	300
		Laboratuvar – Yazı Tahtası	500
3	Dış Mekan Çalışma Alanı	Bina Girişi-Hol	30
		Benzin İstasyonu	300
		Merdivenler-Koridor	100 - 300
4	Mağazalar	Butik	300
		Self Servisler	500
		Süpermarketler	750
5	Endüstri Binaları	Tavuk Çiftliği	50
		Sağma Alanları	150
		Konserve Fabrikası	500
		Süt Fabrikası	300
		Odun Fabrikası	150
		Odun Kesme Makinaları	500
		Kaynak Ve Torna Makinası	300
		Depo	150
6	Yaşam ve Eğlence Alanları	Ev Aydınlatması	150
		Eğlence Salonu	300
		Öğrenci Ev Ödevi Salonu	300
		Yatak Odası	200
		Hotel Resepsiyonu-Hol-Mutfak	300
		Yemek Odası	200

**EK 5. Çalışma Alanı Ve Yapılan İşe Göre Aydınlatma Tablosu (Hayta, 2007).**

<b>Sıra No</b>	<b>Yapılan İş</b>	<b>Önerilen Aydınlatma Şiddeti (Lüx)</b>
1	Kaba İşler	80 - 170
2	Orta İncelikte İşler	170 - 350
3	İnce İşler	350 - 700
4	Çok İnce İşler	700 - 1000

**EK 6.** İş Sağlığı ve Güvenliği Mevzuatında Yer Alan Az Aydınlık Değerleri (Kurt, 2012).

<b>Sıra No</b>	<b>Yapılan İş</b>	<b>Önerilen Aydınlatma Şiddeti (Lüx)</b>
1	Avlu, Açık Alanlar, Dış Yollar, Geçitler vb. Yerler	20
2	Kaba Malzemelerin Taşınması, Depolanması vb. Kaba İşlerin Yapıldığı Yerler İle Koridor, Yol Ve Merdivenler	50
3	Kaba Montaj İşlerinin Yapıldığı Yerler İle Kazan Dairesi, Makine Dairesi, İnsan ve Yük Asansörü Kabinleri, Malzeme Stok Ambarları, Soyunma Ve Yıkama Yerleri, Yemekhane ve Tuvaletler	100
4	Normal Montaj, Kaba İşlerin Yapıldığı Tezgahlar	200
5	Ayrıntıların Yakından Seçilmesi Gereken İşlerin Yapıldığı Yerler	300
6	Büro vb. Sürekli Dikkat Gerektiren İnce İşlerin Yapıldığı Yerler	500
7	İncelikli İşlerin Sürekli Yapıldığı Yerler	1000

## EK 7. Önemli Bazı Maddelerin Yansıtma Ve Geçirme Kat Sayıları (Serer, 2025).

### AYDINLATMA BİRİMLERİ ve DENKLEMLERİ

Aydınlatma tekniği, bir sistemde ekonomik ve kaliteli bir aydınlık sağlanması için gerekli hesap yöntemlerini kapsamaktadır. Bir aydınlatma hesabında genel olarak aşağıdaki yöntem kullanılır.

Aydınlatılacak bölgenin ortalama aydınlık şiddeti, aydınlatma amacına uygun olarak ilgili tablodan alınır ve diğer veriler yardımıyla en uygun armatür ve ampulün cins ve miktar hesaplanır. Hesap yöntemi ve denklemler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

DENKLEMLER		
DENKLEM	SEMBOLE	AÇIKLAMA
$Z = \frac{\Phi T}{\Phi L}$	Z	Ampul sayısı
	$\Phi T$	Gerekli toplam ışık akısı (lm)
	$\Phi L$	Bir ampulün verdiği ışık akısı (lm.)
$k = \frac{axb}{h(a+b)}$	k	Bölge indeksi (mahal boyutlarına bağlı olarak)
	a	Uzunluk (m)
	b	Genişlik (m)
	h	Işık kaynağının çalışma düzlemine olan yüksekliği (m)
	H	Işık kaynağının zeminden yüksekliği (m)
$\Phi T = \frac{ExAx\eta}{\eta}$	H1	Çalışma düzleminin zeminden yüksekliği
	E	Gerekli aydınlık seviyesi (LUX) tablodan seçilir
	A	Aydınlatılacak bölgenin alanı (m <sup>2</sup> )
	d	Tesisin kirlenme faktörü (Tablodan seçilir)
	$\eta$	Tesisin ışığı yansıtma verimi. Aydınlatma sahasını sınırlayan tavan, duvar ve zeminin yansıtma faktörlerine, bölge indeksine ve seçilen armatür tipine bağlı olarak tablodan seçilir.

### VERİLER

ODA BOYUTLARI	KIRLENME FAKTÖRÜ: 1.25	AYDINLIK ŞİDDETİ	ARMATÜR TİPİ	"TL" 54/40 w ampulün verdiği ışık akısı $\Phi L$
a=13 m.	TAVAN: AÇIK 0.8	E=500 LUX (TABLODAN SEÇİLİR)	TMS 240	2100 Lümen
b=5.5 m.	DUVAR: HAFIF KOYU 0.5		LAMBA TİPİ	
H=3 m.	ZEMİN: KOYU 0.1		"TL" 54/40 W.	

### HESAPLAMA YÖNTEMİ

SIRA NO	İSTENİLEN	DENKLEM	HESAPLAMA	SONUÇ
1	h	$h=H-h1$	$h=3-0.85$ m.	$h=2.15$ m.
2	k	$k = \frac{axb}{hx(a+b)}$	$k = \frac{13 \times 5.5}{2.15 \times (13 + 5.5)}$	k=2
3	$\eta$	Tesisin aydınlatma etkinliği faktörü (Tablodan seçilir)		$\eta = 0.46$
4	d	Tesisin kirlenme faktörü (Tablodan seçilir)		d=1.25
5	A	$A=axb$	$A=13 \times 5.5$ m	$A=71.5$ m <sup>2</sup>
6	$\Phi T$	$\Phi T = \frac{ExAx\eta}{\eta}$	$\Phi T = \frac{500 \times 71.5 \times 1.25}{0.46}$	$\Phi T=97146$
7	Z	$Z = \frac{\Phi T}{\Phi L}$	$Z = \frac{97146}{2100}$	Z=46 adet
8	"TL" 54/40 W	Z=46 adet floresant ampul kullanılacak		
9	TMS 240	Bir armatürde 2 adet "TL" 54/40 W. floresant ampul olduğuna göre		
10	Z/2	Büro aydınlatmasında 23 adet TMS 240 armatür kullanılacaktır.		
		Büro aydınlatmasını armatür sayısına göre tekrarlırsak		
11	E	$E = \frac{\Phi LxZ\eta}{axA}$	$E = \frac{2100 \times 46 \times 0.46}{1.25 \times 71.5}$	E=497 LUX

Bir büro aydınlatmasında E= 497 Lux10k bir aydınlatma seviyesi elde edilir.

YANSITMA BİLGİLERİ				Tavan, duvarlar ve çalışma düzleminin ışık yansıtma katsayıları.		
YAPI MALZEMELERİ		DUVAR BOYALARI		Tavan	Duvarlar	Çalışma Düzlemi
Ak ağaç,huş ağacı	0,50	Beyaz	0,30-0,70			
Meşe,açık renk,parlatılmış	0,25-0,35	Açık gri	0,40-0,60	0,8	0,8	0,3
Meşe,koyu renk,parlatılmış	0,01-0,15	Orta gri	0,25-0,35	0,8	0,5	0,3
Sunta,krem rengi	0,50-0,60	Koyu gri	0,10-0,15	0,8	0,3	0,3
Granit	0,20-0,25	Mavi	0,15-0,20	0,5	0,5	0,3
Kireç taşı	0,35-0,55	Açık yeşil	0,45-0,55	0,5	0,3	0,3
Mermir,parlatılmış	0,30-0,70	Koyu yeşil	0,15-0,20	0,7	0,7	0,2
Harc,açık renk,kireç badana	0,40-0,45	Açık sarı	0,60-0,70	0,7	0,5	0,2
Siva(Alçı)	0,90	Kahverengi	0,20-0,30	0,7	0,3	0,2
Kum taşı	0,20-0,40	Pembe	0,45-0,55	0,8	0,8	0,1
Ahşap kaplama (Doğal)	0,20-0,30	Koyu kırmızı	0,15-0,20	0,8	0,5	0,1
Cimento,beton,cıplak	0,20-0,30			0,8	0,3	0,1
Kiremit,kırmızı,yeni	0,10-0,15			0,5	0,5	0,1
				0,5	0,3	0,1
				0,5	0,3	0,1

**EK 8.** Mahal Aydınlatma Verimi (Gözdem Elektrik, 2025).

TAVAN	0.80				0.50				0.30	
DUVAR	0.50		0.30		0.50		0.30		0.10	0.30
ZEMİN	0.30	0.10	0.30	0.10	0.30	0.10	0.30	0.10	0.10	0.10
Oda İndeksi $k = \frac{akb}{h^2(a+b)}$	<b>ODA VERİMİ ( <math>\eta</math> )</b>									
0.60	0.24	0.23	0.18	0.18	0.20	0.19	0.15	0.15	0.12	0.15
0.80	0.31	0.29	0.24	0.23	0.25	0.24	0.20	0.19	0.16	0.17
1.00	0.36	0.33	0.29	0.28	0.29	0.28	0.24	0.23	0.20	0.20
1.25	0.41	0.38	0.34	0.32	0.33	0.31	0.28	0.27	0.24	0.24
1.50	0.45	0.41	0.38	0.36	0.36	0.34	0.32	0.30	0.27	0.26
2.00	0.51	0.46	0.45	0.41	0.41	0.38	0.37	0.35	0.31	0.30
2.50	0.56	0.49	0.50	0.45	0.45	0.41	0.41	0.38	0.35	0.34
3.00	0.59	0.52	0.54	0.48	0.47	0.43	0.43	0.40	0.38	0.36
4.00	0.63	0.55	0.58	0.51	0.50	0.46	0.47	0.44	0.41	0.39
5.00	0.66	0.57	0.62	0.54	0.53	0.48	0.50	0.46	0.44	0.40

**EK 9. Kirlenme Faktörü (Epokulu, 2020).**

Armatör Cinsi	Aydınlatma Tipi	Temizleme Süresi			Kirlenme Durumu
		1 YIL	2 YIL	3 YIL	
Akkor Filamanlı Lâmba (Enkandesan)	Direkt	-	-	-	Az Kirlenme
		1,35	1,55	-	Normal Kirlenme
	Yarı Direkt	1,65	2,15	-	Çok Kirlenme
		1,25	1,40	-	Az Kirlenme
	Karışık	1,45	1,80	-	Normal Kirlenme
		-	-	-	Çok Kirlenme
	Yarı Endirekt	1,25	1,40	-	Az Kirlenme
		1,45	1,80	-	Normal Kirlenme
	Endirekt	1,35	1,55	-	Çok Kirlenme
		1,65	2,15	-	Az Kirlenme
Fluoresan Lâmba	Direkt	-	-	-	Normal Kirlenme
		1,40	1,70	1,90	Çok Kirlenme
	Yarı Direkt	1,65	2,55	3,10	Az Kirlenme
		1,25	1,40	1,55	Normal Kirlenme
	Karışık	1,45	1,80	2,06	Çok Kirlenme
		-	-	-	Az Kirlenme
	Endirekt	1,35	1,55	1,75	Normal Kirlenme
		1,65	2,15	2,50	Çok Kirlenme
		1,25	1,45	-	Az Kirlenme
		-	-	-	Normal Kirlenme
	-	-	-	Çok Kirlenme	

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ercan EKİNCİ  
**Uyruğu** : T.C.

### EĞİTİM

Derece	Adı	Bitirme Yılı
Üniversite	: Yakın Doğu Üniversitesi	2008
Yüksek Lisans	: Hasan Kalyoncu Üniversitesi	2025
Doktora	: -	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010	Saryaa Mühendislik ltd.	İnşaat Mühendisi-Şirket Ortağı

### UZMANLIK ALANI

- Enerji
- Akustik

### YABANCI DİLLER

- İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

**Aldığı Sertifikalar** : Enerji Yöneticisi Sertifikası  
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Sertifika No:2659  
D1 Temel Bina Akustiği Başarı Belgesi  
TMMOB Sertifik No:2019/49

### YAYINLAR