

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA  
AKILLI BİNALARIN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ekrem Eralp Üstün

İstanbul Bilgi Üniversitesi Lisansüstü Programlar Enstitüsü  
Mimarlık Tarihi, Teorisi ve Eleştirisi  
Yüksek Lisans Programı

İstanbul Bilgi Üniversitesi  
2020

## KABUL VE ONAY

116823020 Ekrem Eralp Üstün tarafından hazırlanan “Yapay Zekâ Çağında Akıllı Binaların Yeniden Değerlendirilmesi / Re-evaluation of Smart Buildings in the Age of Artificial Intelligence” başlıklı bu çalışma dijital ortamda yapılan tez savunma sonucunda başarılı bulunarak aşağıdaki jüri tarafından yüksek lisans tezi olarak kabul edilmesine karar verilmiştir.

İlgili onaylar elektronik posta yolu ile alınmıştır.

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tuğrul Yazar İstanbul Bilgi Üniversitesi

Jüri Üyeleri: Dr. Öğretim Üyesi Fulya Akipek İstanbul Bilgi Üniversitesi

Prof. Dr. Meral Erdoğan Yıldız Teknik Üniversitesi

Tezin Onaylandığı Tarih: 08.04.2020

Toplam Sayfa Sayısı: 103

### Anahtar Kelimeler

- 1) Akıllı Bina
- 2) Yapay Zekâ
- 3) Mimarlık
- 4) Bina Otomasyon Sistemleri
- 5) Sürdürülebilirlik

### Keywords

- 1) Smart Building
- 2) Artificial Intelligence
- 3) Architecture
- 4) Building Automation Systems
- 5) Sustainability

## ÖNSÖZ

Cesur Yeni Dünya bizi bekliyor.

Teknolojinin yegâne amacı insanın hayatını kolaylaştırmaktır ya da insanı ortadan kaldırmaktır. İnsansız arabaların, insansız uçakların, insansız her sistemin yerinde artık akıllı ‘şeyler’ vardır. Akıllı olan her şey ise biraz yapay zekâ içermektedir ya da gelecekte kesinlikle içerecektir. Çünkü ülkelerden daha büyük olan firmaların hemen hemen hepsinin yoğunlaştığı ar-ge faaliyetlerinde yapay zekâ çalışmaları bulunmaktadır. Teknoloji trendleri böyle devam ettiği sürece yapay zekâ araçları insan hayatında çok daha önemli bir paya sahip olacaktır. İnsanoğlu, yapay zekâ ile bu kadar girift bir dünya inşa ederken, bir makinenin gerçek bir zekâyâ sahip olma olasılığı ise varlığını sürdürmektedir. Birçoğuna göre zekâ, Homo Sapiens'i diğer türlerden farklı kılan unsurdur. Fakat insanları benzersiz kılan gerçekten nedir? Ya insan benzersiz olmak zorunda değilse, ya kendi zekâsını bir makinaya verebilirse? Farklı türde bir insanlık mümkün müdür? Örneğin insan gibi düşünen binalar olabilir mi? Uzun süre yaşamak için kendi tesisat ve sistemlerinin bakımlarını yapan, çevreye saygılı davranan ve kullanıcılarının konforunu gözetten bir bina...

Bu soruların cevaplarından daha önemlisi, bu konular hakkında farkındalık kazanıp, bilgi sahibi olmak olacaktır. Bu farkındalığı yaratma konusunda bana hep destek olan hocam Doç.Dr. Tuğrul Yazar'a teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ABSTRACT.....	vii
ÖZET .....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. AMAÇ .....	3
1.2. KAPSAM.....	3
1.3. YÖNTEM .....	4
2. YAPAY ZEKÂ VE UYGULAMA ALANLARI.....	5
2.1. YAPAY ZEKÂNIN GELİŞİM SÜRECİ .....	5
2.1.1. Yapay Zekânın Gelişim Sürecindeki Önemli Aşamalar.....	8
2.1.2. Sembolik ve Siberetik Yapay Zekâ .....	11
2.2. YAPAY ZEKÂNIN UYGULAMA ALANLARI.....	12
2.2.1. Yapay Sinir Ağları ve Makine Öğrenmesi .....	12
2.2.2. Bulanık Mantık .....	14
2.2.3. Doğal Dil İşleme.....	16
2.2.4. Robotik.....	17
2.2.5. Uzman Sistemler.....	18
2.3. MİMARLIK ALANINDA YAPAY ZEKÂNIN GELİŞİMİ.....	22
2.3.1. Bilgisayar Destekli Tasarım.....	22

2.3.2. Mimarlıkta Yapay Zekâ Uygulamaları .....	29
<b>3. AKILLI BİNALARDA OTOMASYON VE YAPAY ZEKÂ İLİŞKİSİ .....</b>	<b>32</b>
3.1. AKILLI BİNALAR .....	33
3.1.1. Akıllı Binalar ve Enerji Verimliliği .....	36
3.1.2. Akıllı Binalarda Sürdürülebilir Tasarım .....	38
3.2. AKILLI BİNA KONTROL SİSTEMLERİ .....	41
3.2.1. Bina Otomasyonu .....	41
3.2.1.1. Kontrol ve Kumanda Sistemi .....	41
3.2.1.2. Kontrol Birimleri .....	42
3.2.1.3. Uygulama Birimleri .....	42
3.2.2. Otomasyon Kontrol Sistemleri .....	42
3.2.2.1. İletişim ve Veri Sistemleri .....	44
3.2.2.2. İklimlendirme Sistemleri .....	44
3.2.2.3. Aydınlatma Sistemleri .....	45
3.2.2.4. Güvenlik Sistemleri .....	45
3.2.2.5. Yangın Algılama ve Alarm Sistemleri .....	46
3.2.2.6. Asansör Sistemleri .....	47
3.3. AKILLI BİNALARDA İLERİ TEKNOLOJİ UYGULAMALARI .....	47
3.3.1. Yapay Zekâ .....	48
3.3.2. Nesnelerin İnterneti .....	51
3.3.3. Sensörler .....	52
<b>4. BAZI AKILLI BİNA ÖRNEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>	<b>55</b>
4.1. AKILLI BİNA ÖRNEKLERİ .....	55
4.1.1. The Edge - Deloitte, Amsterdam (Hollanda) .....	55
4.1.2. Manitoba Hydro Place, Winnipeg (Kanada) .....	60

4.1.3. Sabancı Center, İstanbul (Türkiye).....	65
4.1.4. Tekfen Tower, İstanbul (Türkiye) .....	68
4.2. ÖRNEKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	71
4.2.1. Analiz Kriterlerinin Belirlenmesi .....	71
4.2.2. Örnek Yapıların Analizleri .....	76
5. SONUÇ.....	83
KAYNAKÇA.....	87

## **ABSTRACT**

### **RE-EVALUATION OF SMART BUILDINGS IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

Rapid changes in technology, economics, politics, social, culture, rules and institutions affect cultural production. Accordingly, it affects the discipline of architecture, which is one of the most permanent carriers of cultural production identity. Computers today can analyze large amounts of data and make predictions by leveraging the data. These skills related to artificial intelligence bring some alterations in the field of architecture.

In this thesis study, the current status of artificial intelligence in architecture is examined. Within the scope of the research, the developments created by current technologies in the smart building industry were evaluated. Current studies of the smart building reveal that the smart building concept has no fixed definition, it is a constantly changing and updated concept. In this context, it has been investigated that how smart buildings have changed in the age of artificial intelligence, how smart building performances will be evaluated and which evaluation criteria will be at the forefront in the future.

In this research, the relationships among artificial intelligence, smart buildings, and architectural disciplines are examined in today's conditions. It was concluded that smart buildings should have a sustainable architectural design, a user-friendly application that provides comfort for the occupants, and a technical infrastructure equipped with artificial intelligence systems.

## ÖZET

### YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA AKILLI BİNALARIN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Teknolojik, ekonomik, politik, sosyal, kültürel alanlarda, kural ve kurumlardaki hızlı değişimler, kültürel üretimleri ve buna bağlı olarak; kimliğin, en kalıcı taşıyıcılarından birisi olan mimarlık disiplinini etkilemektedir. Günümüzde bilgisayarlar, büyük miktarlarda verileri analiz edebilir ve bu verileri kullanarak geleceğe ilişkin tahminlerde bulunabilir. Yapay zekâ olarak adlandırılan bu beceriler mimarlık alanında bazı değişimleri de beraberinde getirmektedir.

Bu tez çalışmasında, yapay zekânın mimarlık alanındaki mevcut konumu incelenmiştir. Araştırma kapsamında güncel teknolojilerin akıllı bina endüstrisinde yarattığı gelişmeler değerlendirilmiştir. Akıllı binalarla ilgili güncel çalışmalar, bu kavramın sabit olmadığını, değişmekte olan ve güncellenen bir kavram olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, yapay zekâ çağında akıllı binaların nasıl bir değişime uğradığı, akıllı bina performanslarının nasıl değerlendirileceği ve gelecekte hangi değerlendirme kriterlerinin ön planda olacağı araştırılmıştır.

Yapay zekâ, akıllı binalar ve mimarlık disiplinleri arasındaki ilişkilerin incelendiği bu çalışmada; günümüz şartlarında akıllı binaların, sürdürülebilir bir mimari tasarıma, bina sakinlerinin konfor şartlarını sağlayan kullanıcı dostu bir uygulamaya ve yapay zekâ sistemleri ile donatılmış teknik bir altyapıya sahip olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.1. 2018 yılı teknoloji trendleri – “Hype Cycle” Çizelgesi .....	2
Şekil 3.1.2.1a Google Cardboard - Akıllı telefonlar ile VR deneyimi .....	27
Şekil 3.1.2.1b Notre-Dame Katedralinin VR Videosu .....	27
Şekil 3.2.1. SPG ile oluşturulan hastane planı .....	30
Şekil 4.1.1. Akıllı Bina Piramidi .....	34
Şekil 4.1.1.1. Türkiyede Sektörlere göre Enerji Tüketim Oranları .....	37
Şekil 4.3.1.1. Akıllı binalarda yapay zekâ yaklaşımları .....	48
Şekil 5.1.1.1. Güneşe Göre Bina Oryantasyonu .....	58
Şekil 5.1.2.1. Manitoba Hydro Place, Kanada.....	63
Şekil 5.1.2.2. Manitoba Hydro Place, Kanada.....	64
Şekil 5.2.2.1. Değerlendirme Kriterleri .....	78
Şekil 5.2.2.2. Örnek değerlendirme çizelgesi .....	80

## FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Fotoğraf 3.1.1.1. Absolute World / İkiz Gökdelenler .....	25
Fotoğraf 5.1.1.1. The Edge, Amsterdam / Dış Görünüm .....	56
Fotoğraf 5.1.1.2. The Edge, Amsterdam / İç Görünüm (Avlu) .....	57
Fotoğraf 5.1.2.1. Manitoba Hydro Place, Kanada .....	60
Fotoğraf 5.1.3.1. Sabancı Center, İstanbul .....	66
Fotoğraf 5.1.4.1. Tekfen Tower, İstanbul .....	69
Fotoğraf 5.1.4.2 Tekfen Tower Girişi.....	70

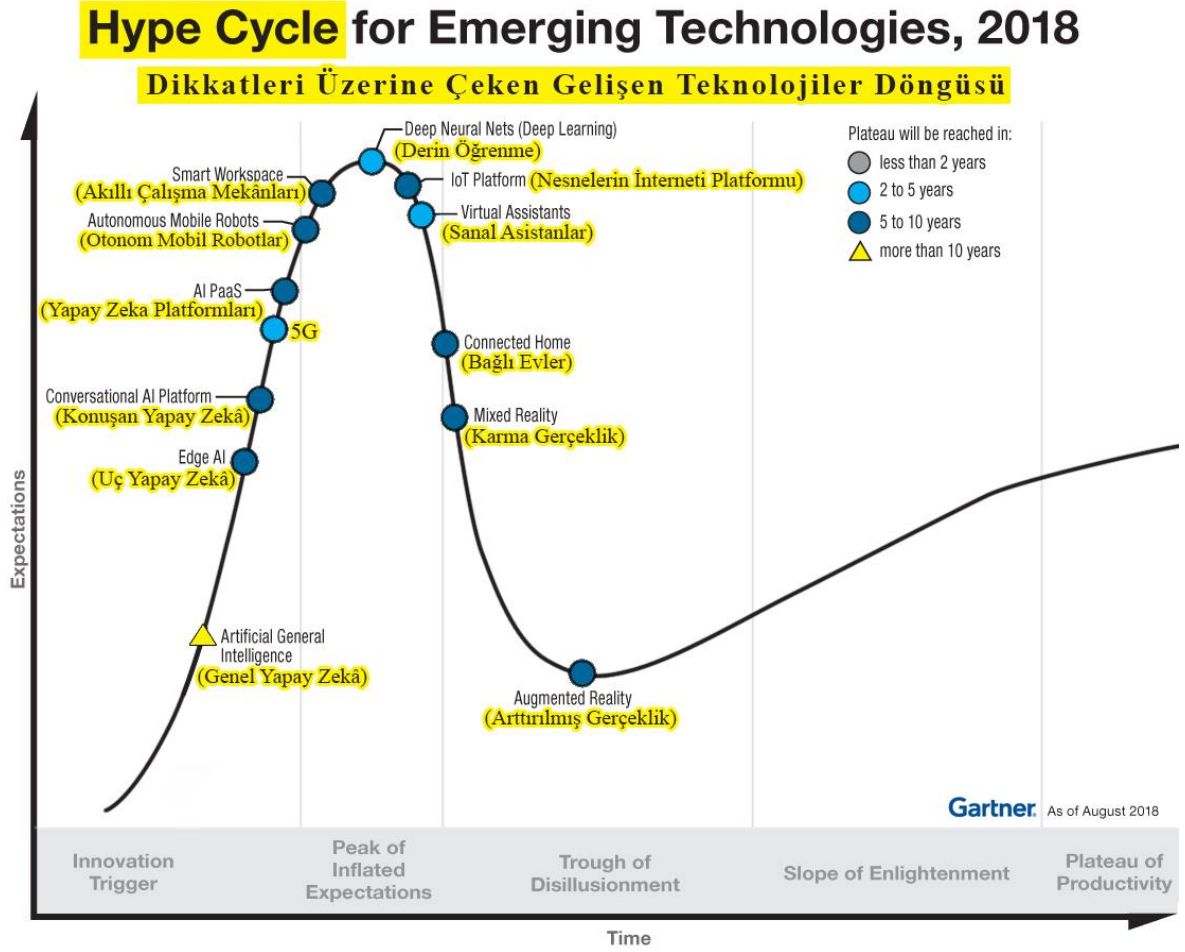
## KISALTMALAR

AI	Artificial Intelligence / Yapay Zekâ
ANN	Artificial Neural Networks / Yapay Sinir Ağı
AR	Augmented Reality / Arttırılmış gerçeklik
ATM	Automatic Teller Machine / Bankamatik
BAS / BOS	Building Automation System / Bina Otomasyon Sistemi
BIM	Building Information Modelling / Yapı Bilgi Modellemesi
BMS	Building Management System / Bina Yönetim Sistemi
BREEAM	BRE Environmental Assesment Method
CAAD	Computer Aided Architectural Design / Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım
CAD	Computer Aided Design / Bilgisayar Destekli Tasarım
EBYS	Elektronik Bina Yönetim Sistemleri
EMS	Energy Management System / Enerji Yönetim Sistemi
ES	Expert System / Uzman Sistem
GBCA	The Green Star of the Green Building Council of Australia
HVAC	Heating, Ventilation, Air-conditioning / Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
IBM	International Business Machines (Uluslararası İş Makineleri)
IoT	Internet of Things / Nesnelerin İnterneti
KBS	Knowledge Based System / Bilgi Tabanlı Sistem
LEED	The Leaders in Energy and Environmental Design
LISP	List Processing Language (Liste İşleme Dili)
MIT	Massachusetts Institute of Technology / Massachusetts Teknoloji Enstitüsü(Üniversitesi)
MR	Mixed Reality /Karma Gerçeklik
NLP	Natural Language Processing / Doğal Dil İşleme
PC	Personal Computer / Kişisel Bilgisayar
VAV	Variable Air Volume / Değişken Hava Debili Havalı Sistem
VR	Virtual Reality / Sanal Gerçeklik
XR	Extended Reality / Genişletilmiş Gerçeklik

## 1. GİRİŞ

Teknolojik, politik, ekonomik, sosyal, kültürel alanlarda, kural ve kurumlardaki hızlı değişimler, kültürel üretimleri ve buna bağlı olarak; kimliğin, en kalıcı taşıyıcılarından birisi olan mimarlık disiplinini etkilemektedir. Mimarlığı, bu ideolojik dönüşümlerden bağımsız olarak düşünmek veya onun sadece teknolojik gelişmelerden etkilendiğini iddia etmek mümkün değildir. Ancak temel bir parametre olarak teknolojinin, insan yaşayışını değiştirdiği ve buna bağlı olarak, mimarlık pratiğindeki güncel yaklaşımları şekillendirdiği sonucuna varılabilir.

Bilgisayarlar, günümüzde büyük miktarlarda verileri işleyebilmekte ve bu verileri kullanarak gelecek hakkında tahmin yapabilmektedir. Bilgisayarlarda bu becerilerin gelişmesini sağlayan çalışmalar “yapay zekâ” olarak adlandırılır. İlk kez 1950'lerde ortaya çıkan yapay zekâ terimi, zaman içinde değişimler göstermiştir. Yapay sinir ağlarının geliştirilmesi ile yapay zekâ çalışmaları hızlanmıştır. Makine öğrenmesini mümkün kılan bu teknoloji, önemli gelişmelerin habercisi olarak görülmüştür. Hatta yapay sinir ağları, endüstriyel toplumun sona ermesine ve bilgi toplumunun başlangıcına neden olan etkenlerden birisi olarak kabul edilmektedir. Güncel bir kaynak sunan ve genellikle bilişim teknolojileri odağında bilgi, tavsiye ve araçlar sağlayan küresel bir araştırma ve danışmanlık firması olan Gartner'ın 2018 yılında yayımladığı “Hype Cycle” (teknoloji trendleri) çizelgesine göre, (şekil 1.1.) yapay zekâ teknolojileri güncel trendleri birçoğunu oluştururken, akıllı çalışma mekânları, bağlı evler, sanal asistanlar, nesnelerin interneti gibi akıllı binalar ile yakından ilgili teknolojiler de dikkat çekmektedir.



Şekil 1.1.1. 2018 yılı teknoloji trendleri – “Hype Cycle” Çizelgesi (Gartner, 2018).

Teknolojinin gelişimi insan yaşantısını derinden etkilemektedir. Günümüzde insan hayatını nasıl değiştirdiğini gösteren çalışmalardan birisi Amerika Birleşik Devletleri’nde ve Kanada’da yapılan bir çalışmada görülmektedir. Bu araştırmaya göre insanlar ortalama olarak zamanlarının %87’sini binalarda geçirmektedir (Klepsis, ve diğerleri, 2001). Bunun dışında, Birleşmiş Milletler’in dünya kentleşme beklentilerine bakıldığında, 2018 yılında dünyanın %55,3’ü kentsel bölgelerde yaşarken 2050 yılında bu oranın dünyada %68,4’e, Avrupa’da ise %83,7’ye çıkacağı öngörülmektedir. (United Nations, 2018). Dolayısı ile önümüzdeki yıllarda bu kentleşme trendinin devam etmesi durumunda, şehir arazilerini daha verimli kullanmak adına, yüksek katlı binalardaki artışın devam edeceğini söylemek yanlış olmayacaktır. Konfor standartlarını yükseltmek ve nüfus yoğunluğunun yol açacağı çeşitli çevre sorunlarına çözüm üretmek için akıllı bina teknolojilerine olan ihtiyacın artacağı öne sürülebilir. Kentleşmenin ve yapay zekâ teknolojilerinin gelişim trendlerindeki bu paralellikler, akıllı binalarla ilgili tanımlarımızı nasıl etkilemektedir?"

Bu tez çalışmasında, yapay zekânın mimarlık alanındaki güncel konumu araştırılmıştır. Araştırma kapsamında, güncel teknolojilerin akıllı bina endüstrisinde yarattığı gelişmeler incelenmiştir. Mimarlık pratiğinin temel mottolarından birisi, tasarımın fonksiyonu takip etmesidir. Fonksiyona yeni özellikler katan akıllı bina yaklaşımı ise, yapay zekâ ile yeniden şekillenmektedir. Bu bağlamda akıllı binalar, yapay zekânın mimarlıktaki gösterimi olarak ele alınıp, örnekler üzerinden incelenmiştir. Böylece, güncel yapay zekâ sistemlerinin akıllı binalar üzerindeki olası etkilerinin yorumlanmasını sağlayacak bir örnek incelemesi gerçekleştirilmiştir.

### **1.1. AMAÇ**

Bu tez çalışmasında, yapay zekâ çağında akıllı binaların yeniden değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda mimarlığın bilgisayar teknolojileriyle buluşmasından itibaren oluşan birlikteliğin önemli duraklarıyla birlikte aktarılması, yapay zekâ teknolojisinin, akıllı bina sistemlerinin ve güncel teknolojik durumun örnekler üzerinden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu süreçte, “akıllı bina” ve “yapay zekâ” kavramlarının gelişimleri ve bu kavramların mimarlık alanında ne kadar yer bulduğu üzerine yoğunlaşmıştır. Yapay zekâ çağında akıllı binaların nasıl bir değişime uğradığı, akıllı bina performanslarının nasıl değerlendirileceği ve gelecekte hangi değerlendirme kriterlerinin ön planda olacağı, araştırmanın sonunda cevaplarının bulunması beklenen sorulardandır. Akıllı binalarla ilgili güncel çalışmalar bu kavramın sabit olmadığını, değişen ve güncellenen bir kavram olduğunu ortaya koymaktadır. Bu tezin temel amacı, sistematik bir literatür araştırması ve örnek incelemesi yoluyla bu kavramda yaşanmakta olan değişimleri gözlemlemek ve gelecekte yaşanacak değişimleri öngörmeye çalışmaktır.

### **1.2. KAPSAM**

Tez kapsamında, yapay zekânın gelişimi, mimarlığın teknoloji ile dönüşümü ve akıllı binaların bu süreçlerden nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Literatürdeki; binaların “akıllılığını” ölçmek için oluşturulan performans değerlendirme kriterleri güncel teknolojik gelişmeler ışığında incelenmiş ve akıllı binalar için güncel kriterler araştırılmıştır. Akıllı bina kavramı çevresinde şekillenen; bina otomasyonu, yapay zekâ, sürdürülebilirlik ve konfor şartları yüksek katlı akıllı ofis binaları üzerinden incelenmiştir.

### 1.3. YÖNTEM

Tezde kullanılan ana araştırma yöntemi örnek-olay analizi olarak belirlenmiştir. Örnekler üzerinden analiz yapılırken aynı zamanda örneklerin sağladığı verileri ilişkilendirme ve karşılaştırma yapılarak kavramsal çerçeveler oluşturulmuştur. Sonuç bölümünde ise belirli genellemeler üretebilmek için literatür araştırması, gerekli noktalarda tarihsel süreçleri de kapsayacak şekilde verilmiştir. Bilimsel metot bağlamında post-pozitivist bir bakış açısı benimsenmiştir. Dolayısı ile gerek literatür incelemesi, gerek de örnek incelemesi yapılırken, özellikler ve yapı taşları belirlenip, bunlar üzerinden analizler yürütülmüştür.

Bu araştırma sürecinde:

- o Araştırmanın hangi kavramlar üzerine kurulacağını ve araştırma boyunca ne şekilde ele alınacağını belirlenmesi ile araştırmanın kavram haritasının oluşturulması,
- o Üniversitelerde yapılan çalışmalar ve konuyla ilgili literatürün incelenmesi,
- o Yapay zekâ ve uygulama alanlarının okuyucuya aktarılması ve mimarlık pratiğinde bu unsurlara dikkat çekilmesi,
- o Akıllı bina ve yapay zekâ ilişkilerinin irdelemesi ve bu alandaki güncel teknolojiler üzerine bilgilerin verilmesi,
- o Akıllı bina ve yapay zekâ ilişkilerinin bazı mimari yapı örnekleri üzerinden araştırılması ve araştırmacı tarafından değerlendirme ölçütlerinin paylaşımı,
- o Verilerin birbirleriyle karşılaştırılması, ilişkilendirilmesi ve yorumlanması, hedeflenmektedir.

## 2. YAPAY ZEKÂ VE UYGULAMA ALANLARI

Yapay zekâ, bilgisayarlarda akıllı davranış simülasyonu ile uğraşan bir bilim dalıdır. İnsan zekâsını taklit etmek amacıyla ortaya çıkmış bu kavram McCarthy ve çalışma arkadaşları (1955) literatürde ilk defa yorumlarken; öğrenme gibi herhangi bir insan zekâsı özelliğinin kesin bir biçimde tanımlanabilmesinin, onun simülasyonunun yapılabileceği anlamına gelmesi olarak değerlendirmişlerdir. Bu alanda çalışan ve yapay zekâ özelinde çeşitli kitaplar yazan Jack Copeland'a (2000) göre insan zekâsı tek bir yetenek ya da bilişsel süreç olarak değil, bir dizi ayrı bileşenden oluşmaktadır. Yapay zekânın başarımlarını hedeflerini oluşturan bu yetenekler şu şekilde sıralanabilirler:

- Öğrenme (Learning): Farklı kaynaklardan deneme ve yanılma ile öğrenebilme yeteneğidir.
- Akıl yürütme (Reasoning): Tümevarım ya da tümdengelim yöntemleri ile karşılaşılan duruma uygun çıkarımlar yapabilmektir.
- Problem çözme (Problem-solving): Doğru sonuca ulaşmak için gereken bir dizi hareketlerin planlanması ile gerçekleşmektedir.
- Algılama (Perception): Çeşitli sensörler ya da duyu organları ile çevredeki nesnelere ve özellikleri ile bu nesnelere arasındaki ilişkilerin belirlenmesidir.
- Dili anlama (Language-understanding): Konvansiyonel anlamdaki dilden öte bir şekilde, tabelalar ve trafik ışıkları gibi her türlü işareti de içeren, bu dillerden belirli anlamlar çıkarabilme yeteneğidir.

Yapay zekâ günümüzde, algılama ve akıl yürütme gibi genel alanlardan; hastalıklara teşhis koyma, satranç oynama, şiir yazma ve matematik teoremlerini ispatlama gibi belirli görevlere kadar çeşitli alt alanları da içine almaktadır (Russel & Norvig, 2002). Mimarlık ve mühendislik alanlarında ise, çoğunlukla tasarım süreçlerini araştıran birçok farklı yapay zekâ aracı kullanılmaktadır (Brown, 2005).

### 2.1. YAPAY ZEKÂNIN GELİŞİM SÜRECİ

Yapay zekâ, hedefine ulaşmak için içinde bulunduğu çevreyi analiz ederek harekete geçebilen ve akıllı davranışlar gösterebilen sistemlerdir. İnsan beyninin öğrenme ve hatırlama süreçlerine dayalı kalıpları ve örüntüleri tahmin etme yeteneğinden esinlenmiştir.

İnsanın yapay bir kopyasını yaratma motivasyonu tarih boyunca süregelmiştir. Bu bağlamda düşüncenin yeniden üretimi ve taklidi 16. yüzyıldan itibaren, efsaneler, gerçekler ve üretilen yapay yaratıklar ile iç içe geçmiştir. Homunculi, Mekanik Otomat, Golem, 1769 yılında Mälzel satranç otomatı veya Frankenstein, geçmiş yüzyıllarda yapay olarak zekâ üretme ve insana özgü olanı taklit etmek için yaratıcı veya gerçek girişimlerden birkaçıdır. Buradan anlaşılmaktadır ki; cansız nesnelere zeki varlıklara çevirip onlara hayat verme fikri insanlığa her daim ilgi çekici gelmiştir. Eski Yunanlıların robotik hakkında efsaneleri vardır. Çinli ve Mısırlı mühendisler o dönemlerde otomasyona dayalı birtakım aparatlar üretmişlerdir. Mimarlığın, mühendisliğin ve teknolojinin ayrılmadığı zamanlardan itibaren insan beyninin işleyişi merak unsuru olarak görülmüştür.

İlk çağlarda insanlar fizyolojik ihtiyaçların başında gelen barınma ve güvenlik ihtiyacını, kendi imkânları doğrultusunda sağlamaktaydılar. Nitekim toplum içerisinde mühendis, mimar ya da yapı ustası gibi iş kollarını icra eden kimseler aynı kişilerdi. Bu duruma örnek olarak M.Ö. 1. yy 'da hem mimar hem mühendis olarak görev yapan Vitruvius'un M.Ö. 30-15 yılları arasında yazdığı tahmin edilen kitaplar bütününde de çok farklı disiplinleri bir arada görebilmekteyiz. Onun eserinde; şehir planlama, yapı malzemeleri, tapınaklar, kaldırımlar, dekoratif alçı işleri, su kemerleri, su değirmenleri, sivil binalar, geometri, ölçü birimleri, astronomi ve mancınıklar ile ilgili bilgiler bir araya toplanmıştır. Antik tapınak düzeni üzerine bahsettiği yazılarda; sütunların gövde yükseklikleri taban kalınlıkları ve olması gereken çap uzunlukları gibi bazı bilgiler verilmiştir. Bununla birlikte, mimarlığın nasıl olması gerektiği konusunda gelecek nesillere bilgiler verilmiştir. Ancak 1521 yılına kadar bu kitabın varlığından haberdar olunmadığı için, insanlık bu kitaptan uzun bir süre faydalanamamıştır. Bununla birlikte mimar ve heykeltıraş olan Alberti'nin 1443-1452 yılları arasında yazdığı 'De Re Aedificatoria' (Mimarlık Üzerine / Bina Sanatı Üzerine) adlı eseri (Alberti, 1404-1472/1988), sanki mimarlık alanındaki bu eksik olan sistem açığını görüp kapatmak için yazılan benzer tarzda ki bir diğer eserdir. Bu eserin etkileri 17.yy ortalarında Andrea Palladio ile simetrik ve sistemli mimarlık anlayışı şeklinde pekişmiştir. Sözü edilen bu sistem ve düzen ile ilgili olarak, Le Corbusier ve Amédée Ozenfant, matematiğin ve düzenin bulunmadığı bir sanat eserinin varlığından söz edilemeyeceğini, vurgulamışlardır. Bu görüşten hareketle bütün mimarlık tarihi boyunca, mimarlığın belli kodları, belli sistemleri olduğunu söylemek mümkündür. Le Corbusier de modern mimarlık için 5 önemli madde belirlemiştir. Binayı zeminden yükselten kolonlar, açık plan, açıklıklı cephe, yatay

uzun pencereler ve çatı bahçesi gibi maddeler ile yeni mimarlığın gerekliliklerinden bahsetmiştir. Burada bahsi geçen kodlamalar, yapay zekânın temelini oluşturan “tekrar eden örüntüler”in ortaya çıkarılmasına hizmet etmesi sebebiyle önemli bir yere sahiptir. 20. Yüzyılda dönemin en önemli figürlerinden birisi tarafından gerçekleştirilen, modern mimarinin genel örüntülerini belirleme çabası, 21. Yüzyılda makine öğrenmesi ile yapay zekâ mimarlığı tarafından devamlılığı takip edilebilecek tarihsel bir tutumdur. Çünkü mimarlık tarihinde, her zaman üretilen pratiğin idealleştirme kaygısı olmuştur. Dolayısıyla bu kaygı mimarlığın sistematik yüzünü bize göstermektedir. Örneğin; neoklasisizmin en önemli figürlerinden biri olarak Jean Nicolas-Louis Durand, “Compendium and Parallel of Buildings of all Kinds” yayını ve “Specific architectural lessons” adındaki öğretileri ile antik ve Greko-Romen dönemlerinde ortaya çıkan üretimleri Lego gibi parçalarına ayırıp, kodlayıp, tekrar üretmek için gerekli formülü sunmaya çalışmıştır.

1977 yılında Christopher Alexander’ın yazmış olduğu A Pattern Language (Bir Desen/Biçim Dili) adlı eserde, mimarlığı kentsel ölçekten insan ölçeğine kadar derlemiş ve biçimlerine ayırmıştır. Alexander bu eserde mimarlığı geniş bir perspektif içerisinde değerlendirerek; şehir planlamadan iç mimari tasarıma kadar uzanan, karmaşık tasarım problemlerine, hümanist çözümler sunmaya çalışarak incelemiştir. Kişinin kendisine ev, ofis veya atölye tasarlamak için kullanacağı bir el kitabı olarak betimlenen bu kitap mimarlar ya da profesyoneller için değil, herkes için yazılmıştır (Alexander, 1977). Alexander, yaşayan evler ve şehirler tasarlamak için bir biçim diline ihtiyaç olduğunu ve bu biçim dilinin de konuşma dili ile benzer olduğunu söyler. Nitekim kelimelerle cümleler oluşturulmasına karşın; biçimlerle, mekânlar ve yapılar oluşturulur. Nasıl kullandığımız dil bize cümle kurma konusunda, sonsuz bir esneklik sağlıyorsa, biçim dili de sonsuz sayıda farklı mekân ve yapı üretiminde bulunmamıza olanak sağlamaktadır (Alexander, 1977). Bu kitapta, 250’den fazla arketipsel biçim oluşturulmuştur ve bu biçimler organik şekilde birbirlerine bağlı olarak yan yana getirilir. Büyük biçimlerden, küçük biçimlere doğru hiyerarşik bir düzen ile bağlanırlar. Örneğin: Altmışıncı biçim olarak belirlenen, ‘Ulaşılabilir Yeşil Alan’ (Accessible Green / 60), daha küçük biçimler olarak sırasıyla; ‘Açık Alanlar’ (Positive Outdoor Space / 107), ‘Ağaçlık Alanlar’ (Tree Places / 171) ve ‘Bahçe Duvarları’na (Garden Wall /173) bağlanacaktır ve bu oluşturulan alan ancak bir komşuluk ilişkisi içerisinde var olma yetisine sahiptir.

Alexander ve ekip arkadaşları, birlikte yazdıkları bu Desen Dili ve diğer 2 kitabı (The Timeless Way of Building, The Oregon Experiment) için; mimarlık, bina ve şehir planlamaya tamamen yeni bir yaklaşım getirdiklerini, mevcut fikirlerin ve uygulamaların yerini almasını umduklarını açıklamışlardır (Alexander, 1977). Alexander ve ekip arkadaşlarının bu çabası, bozuk olarak değerlendirdikleri sistemin iyileştirilmesini ve mimariye düzen getirmesini amaçlamaktadır. Ancak söz konusu çabaları değerlendirildiğinde amaç ve üslup özelinde, tarihteki önceki rafineleştirme çabalarından pek farklı olmadığı ön plana çıkmaktadır. Üretilcek mimariyi parçalarına ayrıştırarak özelliklerini belirleme durumu, “A Pattern Language” kitabında açıkça görülmektedir. Bu bağlamda, kitabın tek başına, gelecekte yaratılacak bir “yapay zekâ mimarlığı” manifestosu olarak insanlığın karşısına çıkması tahayyül edebilir. Tarihsel paradigmalardan ve teknolojik gelişmelerden anlaşıldığı kadarıyla, yapay zekâ mimarlığının, izleyeceği ya da ulaşacağı yol bakımından benzer olması şaşırtıcı bir bulgudur.

### **2.1.1. Yapay Zekânın Gelişim Sürecindeki Önemli Aşamalar**

Modern yapay zekânın başlangıç izleri, klasik filozofların insan düşünce sistemini sembolik bir şekilde açıklamayı denedikleri çalışmalarda görülmektedir. Fakat bir bilim olarak, yapay zekâ 1956'da ilk kez Dartmouth Koleji'nde, New Hampshire'da "Yapay Zekâ" konferansı ile tanınmıştır. Bu konferansta bahsedilen üstesinden gelinmesi gereken problemler şu şekilde belirtilmiştir; yapay zekânın insan beynini tamamen simüle edebilmesi, dili kullanabilmesi, yapay nöronlarının oluşturulması ve konumlandırılması, problemi nasıl çözeceğini bilmesi, kendisini geliştirmesi, soyutlama yapabilmesi, yaratıcı düşünceye sahip olması ve rastgele olabilmesidir. Bütün bu aşılması gereken zorluklara rağmen; Marvin Minsky ve konferansa katılan diğer bilim adamları yapay zekânın geleceği konusunda oldukça iyimser yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Minsky'nin “Yapay Zekânın Zararlı Araştırması” adlı kitabında belirttiği gibi, “yapay zekâ yaratma sorunu bir nesil süresince önemli ölçüde çözülecektir”. Bu alanda en önemli teorisyenlerden biri de Alan Turing'dir. 1936'da İngiliz matematikçi "Turing makinesi"ni kurgulamıştır ve bu varsayımsal makine ile ne kadar karmaşık olursa olsun herhangi bir bilgisayar algoritmasını simüle edilebilmektedir. Alonzo Church tarafından 1936 yılında ortaya atılan, Church-Turing tezine göre ise; algoritma ile çözülebilen herhangi bir problem, Turing makinesi ile de çözülebilmektedir.

Bir makinenin akıllı olup olmadığını belirlemek için Alan Turing'in 1950 yılında oluşturduğu testte; bir sorgulayıcı, bir insan ve bir de bilgisayar bulunmaktadır. Sorgulayıcının, diğerlerini görmeyeceği şekilde bir düzenek oluşturulur. Konuşarak veya mesajlaşarak gerçekleştirilen görüşme sonucunda, sorgulayıcının, karşısındaki X ve Y'den hangisinin insan, hangisinin bilgisayar olduğunu bulması istenecektir (Sterrett, 2003). Sorgulayıcıyı kandıran veya şüpheye düşüren makine, testi geçmiş sayılacaktır. Bu testten geçen makinelerin zekâ seviyesi, yapay zekâ için yeterli kabul edilebilirdi. 1957 yılında John McCarthy tarafından geliştirilen "Liste İşleme Dili" (LISP), liste strüktürlü temel işlemler sunan esnek programlar oluşturulmasına izin veren, yapay zekâ için geliştirilmiş işlevsel bir programlama dilidir. 1965 ve 1970 arasında, yapay zekâ alanındaki gelişmeler azalmıştır. Gerçekçi olmayan beklentilerden beslenen bu iyimser tutum, makinelerin yapay zekâ ile üretilmesinin kolay olacağı fikrine yol açmıştır ancak bu dönem yapay zekâ adına karanlık bir dönem olarak adlandırılmıştır çünkü sadece belirli girdiler ile akıllı makineler yaratma fikri başarısız olmuştur. 1970 ile 1975 arasında, yapay zekâ çalışmaları tekrar ivme kazanmıştır. Farklı alanlar için geliştirilen sistemlerde elde edilen başarı sayesinde günümüz yapay zekâ alanının temeli atılmıştır. 1975-1980 süresince ise yapay zekânın fayda sağlayabileceği, psikoloji gibi bilimin diğer alanlarında teoriler geliştirilmiştir (Mijwel, 2015).

1980'li yıllarda yapay zekâ, pratik uygulamalar ile çeşitli projelerde kullanılmaya başlanmıştır. Hayatımızdaki gerçek problemleri çözmek için, geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında, daha uygun olan yazılım ve araçlarla daha da geniş bir alana yayılabilme yeteneğine sahip olmuştur. Mijwel, (2015) yapay zekâ alanındaki önemli gelişmeleri kronolojik olarak sıralamıştır. Buna göre, yaklaşık 8 asırlık bir tarihsel süreç içerisinde yaşanan önemli gelişmeler şu şekilde sıralanabilir:

- Antik çağda: Alexander Heron, su ve buhar gücü kullanarak mekanik düzenekli otomatlar yapmıştır.
- Ebru İz Bin Rezzaz Al Jezeri, 1206 yıllarında su ile çalışan otomatik kontrollü makineler üzerinde çalışmıştır.
- 1623 yılında, Wilhelm Schickard dört işlem yapabilen bir hesap makinesi geliştirmiştir.
- 1672 yılında, Gottfried Leibniz, günümüzün bilgisayarlarının temelini oluşturan ikili sistem (1 ve 0) üzerinde çalışmalar yapmıştır.

- 1822 ve 1859 yılları arasında Charles Babbage, polinom hesaplamaları yapabilen, “difference engine” adında otomatik bir hesap makinesi geliştirmiştir.
- Karel Capek 1923’de “Rossum'un Universal Robots” adlı tiyatro oyununda ilk kez robot kavramını göstermiştir.
- 1931 yılında, Kurt Gödel kendi adıyla anılan eksiklik teorisini sunmuştur.
- 1936 yılında Konrad Zuse, ZK isimli ve 64K belleğe sahip programlanabilir bir bilgisayar geliştirmiştir.
- 1946 yılında Amerikalı bilim adamları tarafından, 30 ton ağırlığında ve oda büyüklüğündeki ilk bilgisayar olan ENIAC üretilmiştir.
- John von Neumann 1948 yılında “kendi kendini kopyalayan” program fikrini ortaya koymuştur.
- Bilgisayar bilimlerinin kurucusu Alan Turing, 1950 yılında “Turing Testi” konseptini tanıtmıştır.
- 1951 yılında, Manchester Ferranti tarafından üretilen ve piyasada satışı gerçekleşen ilk bilgisayar olma özelliğine sahip olan “Ferranti Mark 1” için, basit bir yapay zekâ algoritması yazılmıştır.
- 1956 yılında Newell, Shaw ve Simon tarafından, ilk yapay zekâ sistemi olarak kabul edilen “Logic Theorist” adlı yazılım tanıtılmıştır.
- 1950'lerin sonu, 1960'ların başında Margaret Masterman ve ekibi tarafından makine çevirisi için şematik bir ağ geliştirilmiştir.
- 1958 yılında, MIT'den (Massachusetts Institute of Technology) John McCarty, LISP dilini yaratmıştır.
- 1960 yılında JCR Licklider, çalışmalarında insan-makine ilişkisini tanımlamıştır.
- Unimation adlı firma 1962 yılında endüstriyel alanda robot üreten ilk girişim olmuştur.
- 1965 yılında Weizenbaum tarafından ELIZA adlı chatbot geliştirilmiştir.
- 1966 yılında Stanford Üniversitesi'nde hareket edebilen bir robot olan “Shakey” geliştirilmiştir.
- DARPA’da 1973 yılında “TCP / IP” adı verilen haberleşme protokolleri geliştirmeye başladı.
- 1974 yılında ilk defa “internet” terimi kullanılmaya başlanmıştır.
- 1978 yılında Herbert Simon, Yapay zekâ üzerine önemli bir çalışma olan “Sınırlı Rasyonellik Teorisi” için bir Nobel ödülü kazanmıştır.

- 1981 yılında IBM ilk defa kişisel bilgisayar üretmiştir.
- 1993 yılında MIT, insan görünümlü bir robot olan Cog'u geliştirmiştir.
- Deep Blue adındaki süper bilgisayar, 1997 yılında dünya satranç şampiyonu Kasparov'u mağlup etmiştir.
- 1998 yılında ilkel olarak yapay zekâ içeren Furby isimli oyuncak piyasaya sürülmüştür.
- 2000 yılında iletişim için jest ve mimik hareketleri kullanabilen “Kismet” adlı robot tanıtılmıştır (Mijwel, 2015).
- 2002 yılında Amazon firması, müşterilerine önerilerde bulunmak için yapay zekâ algoritmaları kullanmaya başlamıştır (Santos & Qin, 2019).
- 2007 yılında görüntü tanıma yazılım araştırmalarında önemli bir kilometre taşı olan Fei Li ve çalışma arkadaşları, ek açıklama içeren görüntülerden oluşan bir veritabanı olan ImageNet'i bir araya getirmiştir (Russakovsky & Fei-Fei, 2010).
- 2011 yılında Apple firması, Siri adlı sanal asistanı çıkarmıştır. Yine aynı yılda, IBM Watson isimli bir yazılım, Risk (Jeopardy) adlı TV bilgi yarışmasında şampiyon Brad Rutter ve Ken Jennings'i mağlup etmiştir.
- 2012 yılında Google'ın otonom aracı yollarda görülmüştür.
- 2016 yılında DeepMind AlphaGo, profesyonel “go” oyuncusu Lee Sedol'u 4-1 mağlup etmiştir.
- 2019 yılında DeepMind AlphaStar, profesyonel Starcraft II (gerçek zamanlı strateji oyunu) oyuncusunu mağlup etmiştir (Santos & Qin, 2019).

### 2.1.2. Sembolik ve Siberetik Yapay Zekâ

İnsanı diğer canlılardan ayıran en büyük özellik olan zekâ kavramını, yapay olarak üretmek için bilim insanlarının öncelikle milyarlarca nöron içeren insan beyninin çalışmasını anlaması gerekmektedir. Warren McCulloch (nörolog) ve Walter Pitts (mantıkçı) nöron içeren karmaşık biyolojik yapıların içinde saklanan bilginin tekrar eden örüntülerden oluştuğunu, ve bu tekrar eden birimlerin oluşturduğu örüntülerin sembolik bir birleştirme ile araya gelen 1 ve 0'lardan oluştuğunu öne sürerek, 1943 yılında biyolojik nöronları yapay olarak modellemişlerdir.

Bilim insanları, biyolojik organizmalarda bulunan zekâyı taklit etmek ve hatta ötesine geçmek için canlı bedenlerdeki nöral ağlardan yola çıkarak oluşturdukları yapay sinir ağlarından, sibernetik biliminin de dâhil olduğu, sembolik yapay zekâ bilişsel süreçlerine kadar bir sürü farklı araştırma yolları izlemişlerdir. Üzerinde çalışmalar yürütülen bu farklı yöntemler arasında ne kadar kesin ayrımlar olmasa da; içerdikleri teknoloji farklılıkları bakımından bunların ikiye ayrıldığını söylemek mümkündür. Natele'e (2004) göre Satranç oynamak, şifre çözmek gibi deneme ve yanılmalardan doğru sonuçlar üretebilen çalışmalar, "sembolik yapay zekâ" olarak tanımlanmıştır. Dolayısı ile 1964-1966 yılları arasında Weizenbaum tarafından geliştirilen "Eliza" isimli chatbot (konuşmak üzere programlanmış robot), Natele'in sembolik yapay zekâ kavramına uymaktadır. Çünkü Eliza karşısındakiyle konuşuyor gibi görünmesine karşın, yalnızca karşısındaki insanın cümleleri üzerinde bazı işlemler yapmaktan öteye geçememiştir. Bir diğer yandan ise; daha karmaşık problemleri çözmek üzere üretilen ve karşılaştığı tecrübeler karşısında yeni şeyler öğrenebilen, yapay sinir ağları çalışmalarının da dâhil olduğu "sibernetik yapay zekâ" geliştirilmektedir. Bu sistemlerin sembolik yapay zekâ sistemlerinden en önemli farklılığı, kendi kendine karar verebilecek şekilde tasarlanmış olmalarıdır.

## **2.2. YAPAY ZEKÂNIN UYGULAMA ALANLARI**

Yapay zekâ, çoğunlukla insan zekâsı gerektiren şeyleri yapmayı öğrenen makinalar veya bilgisayar programlarıdır. Bu çalışmaları yapmak için birçok formda üretilen yapay zekâ, farklı yaklaşımlara sahip alt kümelerden oluşmaktadır. Bu çeşitlilik aynı zamanda; yapay zekânın mimarlığa etkisinin de çok boyutlu olmasına sebep olmaktadır. Aşağıdaki bölümde bu uygulama alanları kısaca özetlenmektedir.

### **2.2.1. Yapay Sinir Ağları ve Makine Öğrenmesi**

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin sanal bir temsilidir. Onu, merkezi sinir sisteminin biyolojik sinir yapılarının fonksiyonel ve dijital bir gösterimi olarak tanımlamak mümkündür. Karmaşık örüntüleri tanımak, fonksiyonları belirlemek ve sınıflandırma problemlerini çözmek üzere çalışan güçlü bir hesaplama aracıdır (Adeli, 2002).

Sinir ağının çalışma prensibi insan beyninin işleyişine dayanır. Benzersiz bir örüntü tanıma sistemi olan insan beyni, Anderson'a (1995) göre, nöron adı verilen  $10^{10}$  ile  $10^{11}$  ya da daha fazla bilgi işlem elemanından oluşur. Bir akson ağı ve sinaps ağı vasıtasıyla iletişim kurarlar, böylece insan beyni büyük ölçüde biyokimyasal işlemle koşullandırılan yoğun bir şekilde bağlı elektrik anahtarlama ağı olarak kabul edilebilir (Anderson, 1995).

Yapay sinir ağları, esas olarak ses tanıma, robot kontrolleri, görüntü işleme ve yüz tanıma gibi daha çok insan beyni ve insan algılarının nasıl çalıştığına odaklanan sistemler üzerinden çalışmalarını yürütmektedir. Özellikle yüz tanıma sistemleri yapay sinir ağlarının en güncel konulardan biridir. Bu sistemler yakın gelecekte havaalanlarında, ATM'lerde ve güvenlik kameralarında kullanılacaktır. Yüz tanıma sistemlerinde karşılaşılan en büyük zorluk, farklı görüntüleme koşullarında sistemin aynı anda doğru çalışmasını sağlamaktır. Bu süreçte doğru algoritmalar kullanılsa bile, bellek ve performans açısından süper bilgisayarlara ihtiyaç duyulabilmektedir. Yüz tanıma sistemleri, eş zamanlı çalışmaya gerek olmadığında daha hızlı çalışır ve yüksek hassasiyetli sonuçlar elde edilebilir. Sinir ağları, karmaşık ya da yanlış verilerden anlam çıkarma kabiliyetine sahiptir. İnsanlar için karışık eğilimleri bulmak ve göstermek için kullanılabilirler. Eğitimli bir sinir ağı bir uzman gibi hareket edebilir (Ergezer, Dikmen, & Özdemir, 2003). Bu nedenle, yapay sinir ağları bilim ve mühendisliğin birçok alanındaki bazı insan faaliyetlerini kopyalamak için yaygın olarak kullanılmıştır (Adeli, 2002).

Yapay sinir ağları, makine öğrenmesinin alt kümesi olarak tanımlanabilmektedir. Adeli'ye göre (2002), YSA makine öğrenmesinin etkili bir şekilde kullanılmasının bir yoludur. Makine öğrenmesi ile daha fazla veri elde ettikçe yazılımın zaman içindeki performansını artırmasını sağlayan algoritmalar sağlanır. Bu, bir insanın kodlamasından ziyade, girdi ve çıktılarının sonucu ile programlanmadır. Örneğin, bir yazılımcının organik bir nesneyi ya da bir hayvanı tanıması için bilgisayarı nasıl programlayacağına dair bir fikri olmayabilir, ancak ağaçları tanıması istenen bir programa yeteri kadar ağaç görseli verisi sağlanır ise, program bu verilerden öğrendiği bilgiye dayanarak daha önce hiç görmediği bir ağacın, ağaç olduğunu anlayabilecektir. Sadece nesnelere tanımak için değil, onları üretmek için de yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi kullanılabilir. Böyle bir tasarım aracı, mimarın hayal gücünün ötesinde yeni formlar üretmeye olanak sağlamaktadır.

Makine öğrenmesi alanında Radziszewski (2017) tarafından yapılan bir araştırmada; yapay zekâ algoritmalarının tasarım alanında kullanılabilecek bir araç olup olmadığı araştırılmıştır. Bu araştırma kapsamında, klasik mimarideki sütun başlarının bitki figürleriyle süslendiği ve sütunların bir kaide üzerine oturtulduğu, klasik üç baş düzeninden biri olan korint düzeni üzerinde çalışmıştır. Küresel koordinat sistemi ve kartezyen koordinat sistemi birlikte kullanılarak, 3d sütun modeli üzerinde çalışmıştır. Düşük hata payı ile yapılan bu çalışmada, yapay ağ bir kez başarılı bir şekilde eğitildiğinde, öğrendiği detay kompozisyonunu verilen herhangi bir geometrik şekil üzerine uygulayabilmektedir. Bu çalışmanın çıktısı incelendiğinde anlaşılıyor ki; makine öğrenmesi yalnızca tasarım sürecini hızlandırmak ve basitleştirmekle kalmaz, insanlar tarafından daha önce üretilmemiş formları veya mimari uygulama çözümlerini keşfetme fırsatı vermektedir (Radziszewski, 2017).

Makine öğrenmesi araçlarının kullanımı; bilgisayar bilimi, elektrik mühendisliği, enerji mühendisliği gibi çok çeşitli disiplinlerde araştırma trendleri arasındadır. Akıllı binalar gibi gelişmekte olan bir alan için incelendiğinde; bina sakinlerinin davranışlarını ve tercihlerini tahmin etme, enerji talebini ve yoğun dönemleri öngörme gibi temel problemlerin çözümü konusunda yardım sağladığı görülmektedir (Djenouri, ve diğerleri, 2019). Bu alanda Soleimani-Mohseni ve çalışma arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada görülmüştür ki; yapay sinir ağları yaklaşım modeli ile verileri işlenen dış hava sıcaklıkları, iç mekân sıcaklığı, duvar sıcaklıkları, günün saati, kullanılan elektrik miktarı ve iç ortam havalandırması gibi veriler sonucu istenilen sıcaklık değerini elde etmek için gereken operasyonel ısı miktarı daha efektif olarak tahmin edilebilmektedir (Soleimani-Mohseni, ve diğerleri, 2006). Benzer bir çalışma olarak Lu ve Viljanen bir test odasında iç, dış sıcaklık ve nem verilerini kullanarak hissedilen hava sıcaklığını ve bağıl nemi tahmin etmek için YSA yaklaşımını kullanmışlardır (Lu & Viljanen, 2008). Zabada ve Shahrour ise yaptıkları bir araştırmada; sosyal konutlardaki ısıtma giderlerinin analiz ve tahminleri için YSA modelini kullanmışlardır (Zabada & Shahrour, 2017).

### **2.2.2. Bulanık Mantık**

Bulanık mantık, karmaşık sorunlarla başa çıkmada çok güçlü bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Genellikle klasik matematik kuralları ile sayısal olarak kesin bir çözüme ulaşılması imkânsız olan problemlere karşı kullanılmaktadır. Bulanık mantıktan yararlanılarak, bilinmeyen

modeller ya da kötü tanımlanmış bir sistem karakterize ve kontrol edilebilmektedir. (Patki & Raghunathan, 1996). Bulanık teori, dilsel terimlerin doğal dil ifadelerindeki kesinliğini yakalama kabiliyetine de sahiptir. Böylece mantık yürütmeyi ve karar vermeyi modelleme konusunda daha fazla yetenek sağlamıştır (Calusdian, 1995).

Bulanık mantık fikri, 1965'te Lotfi Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonra yaptığı çalışmalar, “Bulanık Kontrol İçin Bir Gerekeçe” ve “Dilbilim Yaklaşımı” (sırasıyla 1972 ve 1973'te) diğer bilim adamlarının yaptığı öncü çalışmaları motive etmiştir. Bulanık kontrolün ilk çalışması Mamdani tarafından 1974'de buhar makinesi laboratuvarında yapılmıştır. Bu gelişmeler, 70'li yıllarda araştırmacıları bir dizi bulanık kontrol uygulaması geliştirmeye motive etmiştir (Lee, 1990). Seksenli yılların ortalarından bu yana araştırma, donanım düzeyinde kendi kendine bulanıklaşmaya yönelmiştir (Patki, 1995; Watanabe vd., 1990). Togai (1985) tarafından yapılan bulanık yonga seti üzerinde yapılan çalışmalar bu yönde önemli bir dönüm noktasıdır. Bulanık kümeler ve Bulanık mantık, karmaşıklıkları yönetmek için güçlü araçlardır. Matematiksel modeller ve ilgili fiziksel gerçeklik arasındaki köprü, bulanık mantık sayesinde kurulabilmektedir. Yakın gelecekte bulanık mantık tabanlı taşınabilir ürünlerin kapsamı çok büyük rakamlara ulaşacaktır (Badrinath, Anvekar, & Sonde, 1995).

Belli bir sonucu elde etmek için iki ya da daha fazla parametrenin, sürekli değiştiği durumlarda, aynı sonuca ulaşmak için kademeli olarak parametreleri değiştiren sistemleri bulanık mantık olarak adlandırmak mümkündür. Günümüzde, yapay zekânın dâhil olduğu birçok farklı sektörde bulanık mantık kullanıldığı gibi, hesaplamalı tasarımı destekleyen bilgisayar destekli tasarım yazılımlarında ya da ortamdaki sabit bir sıcaklık değerini enerji verimli bir şekilde sağlamak için fan hızı, sıcaklık derecesi gibi değişkenleri birbirleriyle arasındaki ilişkileri gözeterek ayarlayan akıllı bina sistemlerinde bulanık mantığın kullanıldığını görmek mümkündür. Akıllı bina otomasyon sistemleri tarafından yönetilen iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin çoğu açma ve kapatma kontrolörüne ve denetleyici kontrolörlerine dayanan geleneksel sistemler kullanılarak kontrol edilir. Fakat iklimlendirme sistemlerinin operasyonları doğrusal olmadığı için bu kontrolörler enerji tasarrufu için nihai çözümler sunamamaktadır. Dolayısıyla akıllı binalarda bulanık mantık denetleyicilerinin uygulanması daha verimli bir çözüm sunabilir. Bu bağlamda, Alcalá ve çalışma arkadaşları genetik algoritmalar tarafından optimize edilen enerji performansı ve iç mekân konforu ile

ilgili olarak HVAC sistemlerini kontrol eden bulanık mantık kontrolörleri geliştirmişlerdir. İç mekân sıcaklık konforu hava kalitesi ve sistem kararlılığının da izlendiği bu sistem ile enerji tüketiminin yıllık olarak yaklaşık %16 civarında bir tasarruf sağlanabileceğini belirtmişlerdir (Alcala, ve diğerleri, 2003).

### 2.2.3. Doğal Dil İşleme

Yapay zekânın uygulama alanlarından biri olan doğal dil işleme (Natural Language Processing), yapay zekâ yöntemleri kullanarak bilgisayar ile doğal dil arasında iletişimin sağlanmasıdır. İlk olarak, bilgisayarın dilbilgisi olarak adlandırılan dil kurallarını öğrenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte dil içinde kullanılan deyimleri, söz öbeklerini, atasözlerini, özdeyişleri ve bütün özel tabirleri içeren bir sözlüğün tanımlanması gerekmektedir. Son olarak, bütün bu bilgilerin çeşitli algoritmalar yardımı ile kullanılması gerekmektedir. Doğal dil işleme, kelime dizgilerini, cümleleri, girdi olarak alır ve bu dizgilerin anlamlarını yakalayan yapısal gösterimler oluşturur. Bu çıktının niteliği büyük ölçüde eldeki görevin zorluğuna bağlıdır. Veri tabanı ile doğal dil arasında aracı işlevi gören doğal dil anlama sistemi, veri tabanında tutulan veri büyüklüğüne ve diline bağlı olarak, o dil ile ilgili tüm soruları kabul edebilir ('Lkit: A Toolkit for Natuaral Language Interface Construction').

Doğal dil işleme üzerine yapılan çalışmalar yazılı dokümanları otomatik tanıma, çeviri programları, konuşmalar üretme ve metin özetleme gibi bir sürü farklı alanda kullanılmaktadır. Konuşma sentezleme çalışmaları ve konuşma anlamadaki gelişmeler ile gelecekte makine-insan iletişiminin temel yapıtaşları bu alandaki gelişmeler odağında gelişmektedir. Robotların kendi kendine öğrenmesi bu dil işleme teknolojileri sayesinde başarılacaktır. Yapay zekâ araştırmaları günümüzde robotik tasarımdan, doğal dil işleme çalışmalarına kadar uzanan, birbirinden uzak gibi görülen geniş bir alanı kapsamaktadır fakat ortak noktaları; hesaplamalı teknolojilerden faydalanmak olan bu farklı alanlar arasında yeni ilişkilerin kurulması insan ve robotlar arasındaki haberleşmeyi başarma açısından önemli bir yere sahiptir. Özellikle, akıllı ev sistemlerinde kullanıcı ile kontrol merkezi arasındaki iletişimin sağlanmasında önemli bir göreve sahip olan yardımcı domotiklerin ya da sanal asistanların geliştirilmesinde doğal dil işleme, yapay zekânın geliştirilmesinde kullanılan uygulama alanlarından biridir.

#### 2.2.4. Robotik

Robotik, robotlarla uğraşan bir teknoloji dalıdır. Robotlar, genellikle özerk ya da yarı özerk bir dizi eylem gerçekleştirebilen programlanabilir makinelerdir. Genel olarak robot teknolojileri üç temel özellik içerecek şekilde geliştirilirler. Bunlar “algılama”, “planlama” ve “eylemde bulunma” olarak tanımlanabilir. Robotlarda bulunan çeşitli sensörler, robotların algılama üniteleridir. Bu sayede çevrelerini algılayabilirler. Çevreyi algıladıkları oranda durum değerlendirmesi yapabilme kapasitesine sahip olurlar. Bu sayede, çeşitli engellere çarpmadan ilerlemek için programlanabilirler. Programlandıkları oranda planlama yapabilme kabiliyetine sahiptirler. Bu planları eylem hâline getirmeleri, fiziksel ortam ile iletişime geçmeleri demektir. Sadece hareket etmeleri değil, ortam sıcaklığını manipüle etmeleri de bir robotik eylem olarak görülebilir. Ancak, robotların sahip olması gereken bu bir dizi karmaşık süreç onların zeki olduğu anlamına da gelmemektedir.

Mimarlık teknolojik gelişmelerden birçok farklı alanda etkilenmektedir. Robotik ise sahip oldukları verimlilik, hız, hassasiyet, güç, güvenilirlik, modülerlik ve uyarlanabilirlik gibi ortaya çıkan özellikleri ile mimarlık alanında farklı rollere sahiptir.

- o Tasarım sürecinde, prototipleme için masaüstü ya da endüstriyel robotlar kullanılmaktadır.
- o Üretim sürecinde, toplu dijital imalat ya da özelleştirilmiş toplu imalatlar için robotlar aktif olarak kullanılmaktadır. Yerinde üretim kabiliyetlerinden ötürü de endüstriyel robotlar tercih sebebi olmaktadır.
- o Operasyonel robotlar genellikle, mimaride dış cephe imalatlarında kullanılan otonom ya da yarı otonom robotlar olarak kullanılmaktadır.
- o Bir yapı olarak robot ise, gelecek projeksiyonlarında karşımıza çıkan; insanların içinde yaşayabilecekleri otonom ya da yarı otonom vasıtalar olarak tahayyül edilebilmektedir (Daas, 2014).

Robotlar özellikle son 10 yılda mimarlık ve tasarım alanında yoğun biçimde kullanılmaya başlamıştır. Yukarıda özetlenen temel özelliklerin yaratıcılık ve inovasyon ile bulunduğu araştırmalarda robotlar artık sadece birer seri üretim aracı değildirler. Mimari tasarım araştırmalarının etkin konuları haline getirmiştir (Kohler & Gramazio, 2014). Tasarımlama yöntemleri ile desteklenen, malzeme bilimlerini ve mekatronik mühendisliğinden

destek alan bu araştırmalar, günümüzde hesaplamalı tasarım olarak bilinen alanın en aktif araştırma alanlarından birisidir.

Akıllı bina ve evlerde ise robotlar farklı şekillerde vücut bulmaktadırlar. Otonom robot süpürgeler 20 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır. Günlük toz alma gibi basit işlevleri sorunsuzca yerine getirmektedirler. Akıllı binaların önemli rollerinden biri olan güvenlik sistemlerini inceleyen Luo ve çalışma arkadaşları, davetsiz misafirleri belirleme veya yangın çıkış noktasını belirlemek için çeşitli sensörlerle donatılan ‘‘Chung-Cheng-I isimli bir robot üzerinde çalışmışlardır (Luo, ve diğerleri, 2009). Samsung’un her yıl Ocak ayında düzenlenen tüketiciler elektronik fuarı olan CES (Consumer Electronic Show) 2020’de tanıttığı ‘‘Ballie’’ isimli yuvarlanan robot konsepti ise, akıllı evlerdeki diğer cihazları ve robotları kontrol eden bir yardımcı domotik olarak geleceğin akıllı evlerinin, teknoloji firmaları tarafından nasıl ngrldğine ışık tutmaktadır.

### **2.2.5. Uzman Sistemler**

Dijital bilgisayarın 1940'larda gelişmesinden bu yana, bilgisayarların matematik problemlerini zlemek için veya satranç oynamak gibi çeşitli görevleri yerine getirmek için programlanabileceği gösterilmiştir. Bilgisayarların işlemci ve bellek hızlarındaki ilerlemelere rağmen anlık bilgi gerektiren işlerde insan esnekliğini karşılayabilecek hiçbir program yoktur. Fakat bazı programlar, belirli konularda gereken görevleri yerine getirmek için yeterli seviyelere ulaşmıştır. Bu bağlamda yapay zekâ, ses ve el yazısı tanımlamada, arama motorlarında ve hastalıkların teşhisi gibi çeşitli uygulamalarda görülmeye başlanmıştır (Copeland, 2019).

Uzman sistemler (expert systems) ve bilgi tabanlı sistemler (knowledge-based systems) eş anlamlı iki terim olarak kullanılır. Problem zme, dil öğrenme ve dili anlama becerisi gibi konuların hepsini ele almaktadır. Ancak bugüne kadar olan en fazla ilerleme, problem çözme alanında yapılmıştır (Feigenbaum, ve diğerleri, 1994). Uzman sistemler, problemlerin çözümünde uzmanların bilgisini taklit etmeyi amaçlarlar ve her daim bilgiye dayalı işlem yaparlar (Turban, 1993). İnsan tecrübelerinden oluşan veri tabanının pratik bir uygulaması olarak görülebilir.

### ***Uzman Sistemlerin Yapı Taşları***

Her uzman sistem iki ana bölümden oluşur. Bunlar bilgi tabanı ve akıl yürütme veya çıkarım, motor olarak adlandırılır. Uzman sistemlerin bilgi tabanı hem gerçek hem de sezgisel bilgi içerir. Gerçek bilgi, görev alanı bilgisinin geniş ölçüde paylaşılan, genellikle ders kitaplarında veya dergilerde bulunan ve genellikle bu alanda bilgili kişilerce kabul edilen bir bilgidir. Sezgisel bilgi, daha az titiz, daha deneysel, daha yargılayıcı performansla dayalı bilgidir. Gerçek bilginin aksine, sezgisel bilgi nadiren tartışılır ve büyük ölçüde subjektiftir. “İyi tahmin sanatı”nın altında yatan bilgidir (Feigenbaum, ve diğerleri, 1994).

Bir uzmanın kullandığı bilgi tabanı, eğitim hayatı, meslek hayatı ve yıllar boyu edinilen deneyimler ile oluşmaktadır. Muhtemelen ne kadar fazla deneyime sahip olursa, bilgi birikimi o kadar büyük olur. Bilgi, teşhis, tasarım ve analizde avantaj sağlamak için veri tabanlarındaki bilgileri yorumlamasına olanak tanır. Uzman sistemler temel olarak bir bilgi tabanı ve bir çıkarım motorundan oluşsa da bunlar dışında da bulanık mantık ile akıl yürütme gibi özelliklere sahiptirler. Akıl yürütme sürecinde belirsiz bilgiyi belirsiz verilerle birlikte kullanmanın yöntemlerine belirsizlikle muhakeme (reasoning) denir. Uzman sistemlerde, belirsizlik ile muhakeme için bulanık mantık yöntemleri kullanılmaktadır (Feigenbaum, ve diğerleri, 1988). Herhangi bir uzman sistemde en önemli bileşen bilgidir. Uzman sistemlerin gücü, görev alanları hakkında içerdikleri belirli, yüksek kaliteli bilgide bulunur. Uzman sistemlerdeki bilginin önemi ve mevcut bilgi edinme yöntemi yavaş ve zor olduğu için, uzman sistemlerin geleceği, bilgi edinme darboğazının kırılmasına ve büyük bir bilgi altyapısının kodlanmasına bağlıdır.

### ***Bilgi Mühendisliği***

Bilgi mühendisliği, uzman sistemler tasarlama ve inşa etme sanatıdır. Bilgi mühendisleri ise bu yapay zekâ algoritmaları içeren programları tasarlayıp uygulayan bilgisayar bilimcileridir. Bugün bir uzman sistem kurmanın iki yolu vardır. Sıfırdan inşa edilebilirler veya "araç" ve "kabuk" olarak bilinen bir geliştirme yazılımı (iskeletleri) kullanılarak oluşturulabilirler. Farklı bilgi mühendisliği stilleri ve yöntemleri olsa da temel yaklaşım aynıdır: Bilgi mühendisleri, bir uzman veya uzman grubu danışmanlığında, bilgiyi temsil etme aracı olan uzman sistemlerin programlanmasından sorumludur. Uzmanlık bilgisi programa parça parça girilirse de her zaman istenilen doğru sonuçlar elde edilemeyebilir. Bütün sorunlar süreç boyunca keşfedilerek, uzman sisteme kademeli olarak yetkinlik kazandırılarak çözümlenir. (Feigenbaum, ve diğerleri, 1994).

### ***Uzman Sistem Geliştirme Yazılım Araçları***

Yapay Zekânın temel çalışma hipotezi; akıllı davranışın, öngörülemeyen şekilde yapılandırılmış verilerin manipülasyonu ile tanımlanabileceği ve modellenebileceğidir. 1950'lerin sonlarında, bu süreci kolaylaştıran özel programlama dilleri icat edilmiştir. O dönemde, LISP adı verilen bu programlama dili önemli bir yere sahiptir. Basitliği ve esnekliği nedeniyle, çoğu yapay zekâ araştırma programı o dönem LISP'de yazılmıştır, ancak ticari uygulamalarda pek tercih edilmemiştir. 1970'lerin başında bir başka yapay zekâ programlama dili Fransa'da icat edilmiştir. Buna PROLOG (LOGIC dilinde programlama) adı verilir (Feigenbaum, ve diğerleri, 1994). Bugün büyük bir kaynağa sahip olan Python, yapay zekâ programlamasında kullanılan popüler dillerden biridir. Bunun dışında, Java ve C++ gibi diller yapay zekâ desteği gerektiğinde başarılı sonuçlar verebilmektedir.

### ***Uzman Sistemlerin Kullanım Alanları***

Uzman sistem teknolojisinin endüstriyel ve ticari alanlarda uygulama spektrumu çok geniştir. Uygulamalar bilgi çalışmalarının çoğu alanına yer bulabilirler. Bu alanlar, bankacılıktan, akıllı bina yönetim sistemlerine, tıpa, mimarlığa ve uzay çalışmalarına kadar geniş bir alanı kapsamaktadır. Genellikle kullandıkları alanlardaki uzmanlıkları şu şekildedir:

- o Her türlü cihaz ve sistemlerde problemin teşhisi ve çözümü
- o Plan ve program oluşturma
- o Alt grup ürünlerin konfigürasyonları
- o Finansal konularda karar verebilme
- o Bilgi yayıncılığı
- o Sistem süreçlerini izleme ve kontrol etme
- o Tasarım ve imalat

Uzman sistemlerde bilginin temsili, önceden tanımlanmış bir insanın uzmanlığı şeklindedir. Örneğin, bir akıllı bina operatörünün tecrübelerinden yararlanılarak da bu sistemler geliştirilebilmektedir. Bu bağlamda, Doukas ve ekibi (2007), bir binanın günlük enerji operasyonlarının yönetimi ve konfor seviyesi ayarlamaları için bir dizi kuralların belirlendiği setler kullanarak akıllı bir karar destek modeli geliştirmiştir. Oluşturulan karar birimi, bina enerji yönetim sistemi ile entegre olarak Atina'daki tipik bir ofis binasında uygulanmış ve yaklaşık %10 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Kaldorf ve çalışma arkadaşları ise bina

operatörlerine yardımcı olmak için düşük performansın tespiti ve teşhisi için uzman sistem altyapısına dayanan bir performans denetim aracı önermişlerdir. Azalan performans detayları, enerji tüketimi sapmaları ve konfor seviyelerinin değişmesi gibi girdilerden; kısmi bileşen arızası, yanlış parametre ayarları, operatör hataları, sistem kapasite yetersizliklerini tespit edebilmektedir (Kaldorf ve diğerleri, 2002).

### ***Dar Yapay Zekâ ve Genel Yapay Zekâ***

Uzman sistemler, birçok sektörde güncel olarak kullanılan yapay zekâ uygulamalarını oluşturmaktadırlar. Bu sistemler belirli bir konuda uzman olmak için üretilirler. Bu tür özel görevler için üretilen yapay zekâlar, “dar yapay zekâ” olarak tanımlanmaktadır. Dar yapay zekâ, zayıf yapay zekâ olarak da adlandırılmaktadır. Bir diğer yaklaşım ise genel yapay zekâ ya da güçlü yapay zekâ olarak adlandırılan, insan beynini simüle etmeye çalışan ve aynı zamanda bu süreci kavramaya yönelik ipuçları da sağlayan sistemlerdir. Örneğin, 10 yıldır açık kaynaklı olarak geliştirilen Stockfish adlı satranç yazılımı saniyede 60 milyon konum inceleyerek, dar yapay zekâ sınıfındaki en güçlü yazılımlardan biridir. Bir diğer yandan ise Google’ın geliştirdiği DeepMind; önceden programlı olmamakla birlikte, verilen görev üzerinde çeşitli yöntem ve algoritmalar kullanarak doğru ilerlemeleri bulup, kendi kendine çözüm geliştirmek üzere üretilmiş sistemlerdir. Bu tür sistemler “genel yapay zekâ” kategorisinde yer almaktadırlar. Mike Klein’in yaptığı araştırmaya göre (2017); DeepMind’in AlphaZero isimli satranç öğrenen versiyonu birkaç saatlik bir satranç öğrenimi ile StockFish’i 100 oyunluk ve daha sonra yapılan 1000 oyunluk seride mağlup etmiştir. Üstelik AlphaZero, StockFish’in 60 milyonuna karşı, yalnızca saniyede yaklaşık 60 bin konum incelemektedir. Demis Hassabis (2016), DeepMind’in temeli üzerine kurulmuş AlphaGo isimli “go” oyunu için özelleştirilmiş olan yapay zekâ için; onun sadece kural tabanlı bir uzman sistem olmadığından bahsetmektedir. Bunun yerine AlphaGo, go oyununda nasıl kazanacağını bulmak için genel makine öğrenme tekniklerini kullanmaktadır. Oyunlar, yapay zekâ algoritmalarını hızlı ve verimli bir şekilde test etmek ve geliştirmek için uygun platformlardır fakat önemli olan, öğrenilen bu teknikleri gerçek dünya sorunları üzerinde uygulamak olacaktır (Hassabis, 2016).

### 2.3. MİMARLIK ALANINDA YAPAY ZEKÂNIN GELİŞİMİ

Günümüz dünyasında yapay zekâ teknolojileri birçok sektörde kendine yer bulmaya başlamıştır. Uygulama alanları ve sorumlulukları da bu alandaki gelişmeler ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Yaratıcılık gerektiren, insan ilişkilerinin yoğun olduğu ve karar mekanizması konumdaki mesleki gruplar için, günümüzde bu “insanın yerini alma” düşüncesi uzak gibi gözükse de yapay zekânın ilerleyişi her yıl katlanarak artmaktadır (Sandberg & Bostrom, 2008). Öyle ki, günümüzde ulaşım, sağlık, askeri ve sanat gibi alanlarda hâlihazırda kullanılan mekanizmalar bulunmaktadır. Bu gelişmeler bağlamında yapay zekânın gelecekte daha çok hayatımıza gireceği öngörülebilmektedir. Özellikle, katma değer üretilmediği, ulaşım ve hizmet gibi sektörlerde yapay zekâ destekli otonom araç ve gereçlerin kullanımları hayatımıza girmiştir. Fakat yapay zekânın yaratıcılık gerektiren işlerde kullanımı konusundaki yaklaşım, güncel bir tartışma konusu olarak yerini korumaktadır. Bir sanatçının veya tasarımcının yerini alması mümkün görülen yapay zekâ teknolojisinin mimari alanda nasıl kullanılacağını daha iyi anlamak için öncelikle bilgisayar teknolojileri ile mimarlık ilişkisini incelemek gerekmektedir.

#### 2.3.1. Bilgisayar Destekli Tasarım

Bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design, CAD) alanındaki ilk adımlardan biri, Ivan Sutherland’ın MIT’nin geliştirdiği TX-2 bilgisayarının kullanarak ürettiği Sketchpad adlı proje, olarak kabul edilmektedir. Kalem (stylus) yordamıyla ekranda geometrik şekiller çizmeyi sağlayan bu programın tanıtıldığı 1963 yılında düzenlenen “Bahar Bilgisayar Konferansı”nın da etkileriyle birlikte, bazı mimarlar bu tür araçların mimarlık çalışmaları için gerekli olduğunu ön görmüşlerdir (Choo, 2004). O zamanlar çoğunlukla mühendislik alanında kullanılan CAD yazılımları, 1970’li yıllardan itibaren mimaride de görülmeye başlanmıştır. İlk uygulamalar mimari planlar için geometrik diyagramlar oluşturmak için kullanılmıştır fakat 1970’lerin sonuna gelindiğinde “Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım” (Computer Aided Architectural Design, CAAD) örnekleri mimari plan ve kesit örnekleri üzerinden görülmeye başlanmıştır. 1980’lerde Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile kişisel bilgisayarlar ortaya çıkmış ve MiniCAD, PowerDrawer, MacDraw gibi birçok CAD programı ilk olarak Macintosh bilgisayarlar için yazılmıştır. IBM PC’nin piyasaya çıkmasıyla birlikte, bu platformda çalışan AutoCAD programı, mimarlık ofislerinde

kullanılmak üzere ilk adımı atmıştır (Kalay, 2004). Donanım ve yazılımdaki teknolojik gelişmelerin paralel bir şekilde ilerlemesi ile 90'lı yıllarda 3 boyutlu CAD uygulamaları olan AutoCAD R13, STEP, SolidWorks gibi son kullanıcı için yazılan bilgisayar programları mimarlığa yeni bir perspektif sunmuştur. 2000'li yıllara gelindiğinde, bilgisayar destekli mimari tasarımın bir çeşidi olan “Yapı Bilgi Modellemesi” (Building Information Modelling, BIM) ön plana çıkmaktadır. Revit ve Archicad gibi BIM yazılımları, CAD yazılımlarından farklı olarak bir yapının fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin dijital bir temsilidir. Yapının, yaşam döngüsü boyunca alınacak kararlarının gösterileceği bir temel oluşturur. Burada bahsi geçen üretim yalnızca iki boyutlu planlar ve kesitleri değil, bina içi ve dışı ışık analizleri, coğrafi konum bilgisi, binanın yapımında kullanılan bütün malzemeler ve özelliklerini de kapsayan üç boyutlu bir modele dayanmaktadır. Bu sayede mimardan, işverene, mühendislere kadar projede görev alan herkes iletişim halinde ve proje süreçleri hakkında bilgi sahibi olabilmektedir. Sadece üretim aşamasında değil, proje tamamlandıktan sonra da üç boyutlu bina bilgi modelleri, akıllı bina yönetim araçları tarafından kullanılabilir. 2017 yılında yapılan bir araştırmada; acil durumlar için geliştirilen akıllı yangın önleme ve afet yardım sisteminin, üç boyutlu bir bina bilgi modellemesi ile entegrasyonu sağlanmış olup farklı sensörlerden gelen gerçek zamanlı bilgiler ile acil durum senaryoları uygulanabilmektedir. Bu sayede genel bina güvenliği ve afet müdahale kapasiteleri, etkili bir üç boyutlu görselleştirme sayesinde arttırılmıştır. (Cheng, ve diğerleri, 2017). Bir diğer yandan, BIM sistemleri “Sanal Gerçeklik” (Virtual Reality, VR) teknolojileri ile birlikte kullanıldığında, projenin sunumu ve anlatımı açısından tasarımcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bilgisayar programlarının tasarımcıya desteği arttıkça; hem görselleştirme alanında daha gerçekçi görüntüler elde etmek üzerine farklı Render motorlarında büyük gelişmeler elde edilmiş, hem de mimari tasarım alanında, parametrik modelleme programlarındaki gelişmeler ile akıllı tasarım pratikleri daha çok yaygınlaşmıştır. Günümüzde, bilgisayar destekli tasarım programları gelişerek ve çeşitlenerek, mimarlık ve tasarım ofislerinin üretim, sunum ve proje yönetimi gibi her türlü ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik gelişimlerini sürdürmektedir.

### ***Parametrik Tasarım***

Parametrik modelleme yazılımları, farklı seçenekleri olan karmaşık tasarım problemlerine en iyiye yakın bir ya da daha fazla çözüm üretebilmeyi sağlamaktadır. Bu özelliklerinden dolayı, mimarlık alanında faydalı olabileceği fikri ilk olarak Gross (1990) tarafından

belirtmiştir. Gross (1985), doktora tezinde resmi ve ekonomik kısıtlamalarla önerilen modelleme binası için tipik değişken formlar kullanarak genel olarak hizalama ve düzenli rakamların uzaklaştırılması konusunu tartışmıştır. Kısa bir süre sonra Schnoedt (1991) esnekliğine dayalı parametrik tasarımın mimari yansımalarını ilk tasarım yazılımından edinilebilir formlar olarak belirtmiştir. Bununla birlikte sanayileşme ve prefabrik bileşenlerin üretimi, tasarım sürecinde bilişsel ve işlevsel yönlerin tartışılmasının önü açılmıştır.

Mimarlık alanında bilgisayar, uzun bir süre temsil aracı olarak görülen rolünün yanında, toplumun hız ve çeşitlilik talep ettiği tüketim çağında, üretimde de yerini almıştır. Tasarımın gerçeğe dönüştürülmesi için gerekli olan bilgisayar destekli üretimde (Computer Aided Manufacturing, CAM) parametrik tasarımın önemi, tasarımın üretilebilmesi bağlamında çok kritiktir. Parametrik tasarım araçları sayesinde bir yapının dış cephesindeki çok sayıdaki pencerelerin, tümünün farklı boyutta olabildiği bir üretim gerçekleştirilebilmektedir. Leach'e göre bilgisayar, tasarımın kendisini mümkün kılan güçlü bir araçtır (Leach, 2009). Dolayısı ile parametrik tasarım araçları da, tasarıma katkıda bulunan önemli yöntemlerinden biri olarak görülebilir. Parametrik modelleme sayesinde uygulanabilirliğin artmasıyla birlikte, tasarımcıların sınırları genişlemektedir ve yaratıcılıkları artmaktadır. Örneğin; akıllı bina cephelerinde, rüzgâr yönlendirmesi için kullanılan akışkan formların oluşturulmasında ya da güneş panelli cephelerinin tasarımında parametrik tasarım araçları kullanılmaktadır.

Mimarlar, tasarımlarında hem estetik kaygılardan ötürü, hem de çevre ile uyum, sürdürülebilirlik gibi farklı başarımları sağlamak için karmaşık veya akışkan formlar kullanabilirler. Doğru algoritmayı tasarlanarak, uygun kurallar ve kısıtlamalar belirlenerek ve tanımlanmış parametreler ayarlayarak çok çeşitli form ve seçenekleri üretilebilmektedir. Bunun çok sayıda örneği vardır. MAD Architects'in Kanada akıllı konut binası olarak tasarladıkları ikiz gökdelenler parametrik tasarımın dikkat çeken güncel örneklerindedir (bkz. Fotoğraf 3.1.1.1.).



Fotoğraf 3.1.1.1. Absolute World, İkiz Gökdelenler (James, 2016).

Parametrik tasarımın mimari formları belirli algoritmalara veya kurallara dayanır. Parametrisizm elemanları, mimarlığı ve şehirciliği, insanların bina içinde hareket etme şekillerini, karşılaşma sıklıklarını, bekleme sürelerini vb. içerecek şekilde tam bir “sistem” oluşturan tasarım kriteri kümesini göz önüne alarak birbirlerine bağlar. Bu değerler bir elektronik tabloya benzer şekilde bağlanır ve bir değer değişikliği diğer tüm ilgili değerlerde değişikliğe neden olur (Schumacher, 2009). Bütün değerlerin birbirine bağlı olma hâli, kavisli ve doğrusal olmayan binaların inşa edilmesiyle sonuçlanmıştır. Eğrilerden oluşan geometriler belirli parametre girdileri ile oluşmaktadır fakat parametrik tasarımın, doğrusal geometriler üretemeyeceği anlamına gelmemektedir. Ayrıca, parametrik tasarımın amacı görsel bir başarımdan çok, yapının içinde bulunduğu çevreye olan sorumluluklarını yerine getirerek, ona uygun bir formda tasarlanmasıdır. Bu sayede çevreyle uyumlu, sürdürülebilir ve akıllı binaların doğru formları bulmasına yardımcı olabilmektedir. Bu bağlamda üretilmiş bir uygulama olan “cove.tool”, makine öğrenmesi kullanan algoritmalar ve çeşitli BIM, CAD eklentileri ile akıllı binalar için kullanılacak bir sürdürülebilirlik danışmanıdır. Cove.tool’un Grasshopper eklentisi ile birlikte, Rhino’da hızlı bir şekilde binanın kütlesi, cephesi ve kullanılacak malzemeleri enerji hedefleri doğrultusunda optimize edilebilmektedir (Mcneel, 2018).

### ***Sanal Gerçeklik***

Bilgisayar teknolojilerindeki ilerlemelerin mimarlık alanındaki kullanımını, mimarlarda parametrik tasarım gibi farklı yaklaşımlarının benimsenmesine öncülük etmektedir. Benzer şekilde; yapay zekânın uygulama alanlarından biri olan sanal gerçeklik ile birlikte, mimarlık pratiğindeki algılar ve alışkanlıklar değişmektedir. Bu teknolojik araçlar sayesinde gerçek dünya deneyimini, sanal bir ortamda yakalamak ve geliştirmek mümkün olmaktadır. Dolayısı ile mimarlık alanında önemli bir yere sahip olan sanal gerçeklik, algımızı çevreleyen dünyayı farklı bir şekilde görmeyi ve dijital olarak hazırlanan görselleri gerçekmişçesine deneyimlemeyi sağlar.

Sanal görselleştirme alanında, sanal gerçeklikle birlikte farklı terimler de ortaya çıkmıştır. Yapay zekâ teknolojilerinden yararlanan bu sistemlerde, “sanal gerçeklik” (Virtual Reality, VR) taktığımız bir başlık aracılığı ile tamamen dış dünyadan kendinizi soyutlayarak, sanal ortama entegre olma deneyimi iken, “Arttırılmış gerçeklik” (Augmented Reality, AR), içinde bulunduğumuz dünya üzerinde oluşturulan sanal nesnelere ve görseller ile sağlanır. Masanın üzerinde gerçek bir bina maketi yerine, o maketi masanın üzerinde gerçekten varmışçasına gösteren bir başlık, gözlük veya tablet aracılığı ile oluşturulan gösterimdir. “Karma Gerçeklik” (Mixed Reality, MR) ise arttırılmış gerçeklikten farklı olarak, oluşturulan bu sanal nesnelere ve görseller ile etkileşim haline girebilmeyi sağlayan bir deneyim sunmaktadır. Bunların hepsini kapsayan alana ise “Genişletilmiş Gerçeklik” (Extended Reality, XR) adı verilmektedir.

Mimarların projeleri sanal gerçeklik platformunda proaktif şekilde geliştirebilmesi veya sunabilmesi için bazı donanım ve yazılım araçlarına ihtiyacı bulunmaktadır. Özellikle grafik performansı yüksek bir ekran kartına sahip bir dizüstü ya da masaüstü bilgisayar, hem yazılımı çalıştırmak için hem de gereken yüksek çözünürlüklü görüntüyü oluşturması gereklidir. Bu bilgisayara bağlı, gözlerini de kapsayan bir başlık (headset) kullanıcılar tarafından takılmaktadır ve ellerinde tuttukları kontrolcüler (wand controllers veya touch controllers) sayesinde proje ile etkileşime geçebilmektedirler. 2019 yılı son çeyreğinde satışa çıkan Vive Cosmos ürünü ile kullanım daha da basitleşmiştir. Eski sürümlerde, başlığın takıldığı odanın çevresine yerleştirilen izleyici cihazlara (trackers) artık ihtiyaç kalmamıştır. Bu teknolojileri pasif olarak deneyimlemek ise artık çok kolaylaşmıştır. Mimarlar kolayca kullandıkları Revit ve 3ds Max with Vray gibi yazılımlardan doğrudan ya da VRto.me ve

IrisVR gibi üçüncü parti hizmetler desteği ile 360° derece stereo panoramik “render”lar oluşturabilmektedirler. Örneğin, Notre-Dame Katedralini 8K çözünürlükte, 360° derece ziyaret etmek için tek gereken internet bağlantılı bir akıllı telefon ve basit bir düzenekte telefonunuzun ekranını gözlerinizin önünde sabit tutacak, büyüteç mercekli bir düzenektir (bkz. Şekil 3.1.2.1a.). Youtube.com web sitesi üzerinden izlenebilmektedir (TARGO, 2019), (bkz. Şekil 3.1.2.1b.).



Şekil 3.1.2.1. Kolay VR Deneyimi: (a) Google Cardboard - Akıllı telefonlar ile VR deneyimi yaşamak için gereken aparat (Google, 2015), (b) Notre-Dame Katedralinin VR Videosu

Sanal gerçekliği bir görselleştirme aracı olarak kullanmaya yönelik ilk girişimler, mimari alanda gezinti ve yol izleme sistemleri olmuştur (Brooks Jr, 1987). Günümüzde ise VR teknolojilerinin mimarlık alanında kullanımı oldukça geniştir ve mimarlara farklı avantajlar sunmaktadır. Projelerin tasarım ve geliştirme sürecinde, takım arkadaşlarıyla birlikte karar verme sürecinde, projeyi müşteriye sunma ve kabul sürecinde iş akışının verimini arttıracak faydalar sağlamaktadır. Fakat bu teknolojinin en ayırt edici unsuru, tasarlanan projelerin 3 boyutlu uzamsal farkındalığı hissettirmesidir. Alanı işgal edebilmek tasarımcının mekânsal öğelerin nasıl çalıştığını veya ışığın günün çeşitli saatlerinde nasıl değiştiğini gerçek zamanlı olarak görmesini sağlamaktadır. Bu, tasarım sürecinde yapıya karşı verilen teknik tepkileri insana dayalı sezgisel yaklaşımlara dönüştürebilir. VR ile mimarlar tasarladıkları mekânlar ile gerçek zamanlı olarak etkileşim haline geçebilirler ve canlı bir katalogda yürürmüşçesine, iç mimari elemanların malzeme ve dokuları değiştirilebilir. Burada yapılan hacimsel ve sanatsal bütün değişikliklerin algısı daha yüksek olacaktır. Ayrıca sanal gerçeklik araçlarının çok farklı kullanımları da bulunmaktadır. Bu bağlamda, 2019 yılı Ocak ayında Las Vegas'taki Autodesk galerisinde ve San Francisco'da

bulunan Autodesk galerisinde Autodesk Üniversitesi tarafından düzenlenen “The BIM, VR, and AR for Smart Buildings” sergisi kapsamında akıllı binaların planlama sürecinden, yönetim sürecine kadar sanal ve artırılmış gerçeklik sistemlerinin, BIM üzerindeki uygulamaları gösterilmiştir. Bina yönetim sistemleri sağlayıcısı olan VINCI firması, BIM verilerinin, yönetim araçları ile birleştirilmesi konusunda Autodesk ile birlikte çalışarak, bir akıllı binanın tüm verilerini ve çeşitli sistemleri tek bir platformda birleştirerek, XR teknolojileri ile operatörlerin koşulları daha iyi izlemesine ve sorunlara yanıt vermesine olanak sağlamaya çalışılmıştır (Sheppard, 2019).

Bilgisayar teknolojilerindeki ilerlemeler ile mimarlar tarafından kullanılan araçlar da değişmektedir. Tasarlamayı dijitalleştirmeyi amaçlayan bu araçlar, Akipek’e (2007) göre; geleneksel tasarım ortamına kıyasla farklılıklar gösterdiği için, tasarımcının görsel düşünme tarzına ek olarak sayısal ve algoritmik düşünme tarzını benimsemesi de gerekmektedir. Çünkü CAD ile başlayan bu tasarımın dijitalleşme süreci, bilgisayar destekli mimari tasarım (CAAD) ve hesaplamalı tasarım (computational design) alanlarını kapsayan, tekil görselleştirme aracından öte, bütünüyle bir tasarım ortamı sağlamaktadır. Bu açıklamaya göre, tasarımcının da gelişen tasarım teknolojileri kullanabilmek için düşünsel yaklaşımlarını geliştirmesi gerektiği sonucuna varılabilmektedir. Ne kadar bilgisayar destekli tasarım teknolojileri alanındaki bütün gelişmeler kullanıcıya fayda sağlama odaklı olsa da, günümüzde yapay zekâ ile buluşan bu yazılımlar bütün tasarım sürecini yeniden şekillendirmektedir. Mimarların bu araçlar hakkında bilgi sahibi olmaları, süreci idare etme açısından oldukça önemlidir. Öğrenen sistemler tasarlamada ve kullanmada formasyona sahip olmak, bu yazılımlardan alınacak faydayı arttıracaktır. Kalay’a (2004) göre; yapay zekâ teknolojilerinin ortaya çıkışı, mimarlık alanında çalışan araştırmacılara tasarım sentezi sürecini rasyonelleştirmek için yeni yöntemler ve araçlar sağlamaktadır. Bu bağlamda, yapay zekânın sahip olduğu problem çözümüne yönelik sezgisel yaklaşım, tasarımcıların düşünme şekline uyum sağlamaktadır. Çünkü yapay zekânın bilgisayar programlarına entegresinde, belirli durumlarla karşılaşıldığında yapılması gereken eylemi tanımlayan koşullu yapılar (IF-THEN), deneyimli profesyonel tasarımcılardan toplanan bilgilerden ilham alınmaktadır. Bu tür uzman sistemlerin mimari tasarım alanında kullanımı ile duruma uygun ve ona özgü bir bilgi birikimi sayesinde, bir banyodaki sıhhi teçhizatın gerekliliklerinin yerine getirilmesi ya da mutfak ekipmanlarının yerleştirilmesi gibi karmaşık plan yerleşimi problemlerinin üstesinden gelinebilmektedir (Kalay, 2004).

Dolayısıyla, yakın gelecekte akıllı bina özelliklerine sahip çok katlı komplike yapıların üretimi aşamasında yapay zekâ sistemlerin tasarıma daha çok dahil olması öngörülebilmektedir.

### 2.3.2. Mimarlıkta Yapay Zekâ Uygulamaları

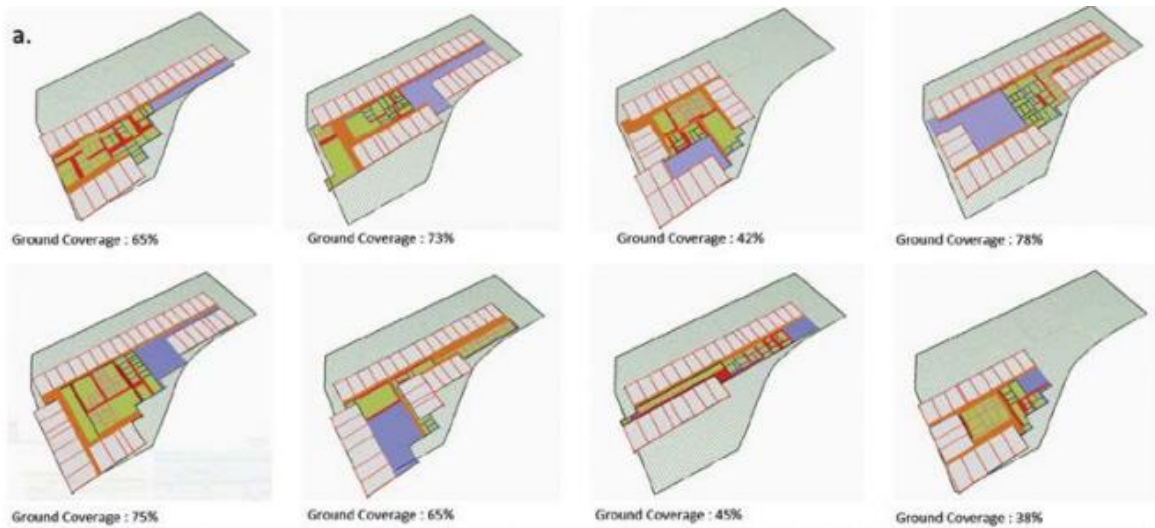
Genel olarak mimari tasarım, çizim ve yönetim programlarını bu aşamaya kadar incelediğimizde, bilgisayar teknolojisinin kullanımının ilk evrelerinde dahi problemlerin çözümünde fayda sağlandığı ve bu sayede tasarım kararlarının verildiği bir ortam oluşmaya başladığı gözlenmektedir.

Mimarlığın yapay zekâ alanındaki gelişiminde mihenk taşı olarak gösterilebilecek önemde bir gelişme olarak karşımıza çıkan bilgisayardan tasarım konusunda destek alma olgusu, her zaman edilgen olarak görülen bilgisayar programlarının artık etkin rol oynayan bir oyuncuya dönüşmesiyle birlikte değişmiştir. Özellikle, parametrik tasarım anlayışında, bilgisayar aracılığı ile oluşturulmak istenen tasarım; çizgiler, eğriler gibi geometrik şekiller yerine, kodlar ya da kod yazma yardımcıları ile sağlanmaktadır. Bu tür çalışmalar gerçekleştirilirken, hesaplamalı tasarım yöntemlerinde programlama dilleri kullanılarak yazılımlar geliştirilmekte olup proje temelli olarak scriptler, algoritmalar oluşturulmaktadır. Nitekim bu algoritmaların yardımıyla üretilen bu tasarımlar, bu süreçte tasarımcılara yeni ufuklar açmaktadır. Kolarevic'e (2005) göre hesaplamalı tasarım, form oluşturma ve dönüştürme süreçleri belli hesaplamalara dayanan dijital morfogenez süreçleri ile tanımlanmaktadır. Bu kavramsal hesaplamalar ile oluşturulan üretimler ise topolojik geometriler, izomorfik yüzeyler, obje dinamik ve hareketleri, animasyonlar, parametrik tasarım ve genetik algoritmalar temelinde meydana gelmektedir.

Mimarlık alanındaki güncel yapay zekâ uygulamalarını ve kullanımlarını incelediğimizde, "Perkins+Will" tasarım ve mimarlık firması, 2018 yılında "Fast Company" tarafından mimarlık alanında dünyadaki en yenilikçi firma olarak seçilmiştir. 2500 kişilik ekibiyle uluslararası çapta projeler üretmektedirler. Teknoloji alanında araştırmalar yaparak mimari tasarım alanında ilerlemeyi hedeflemiştirler.

Kullandıkları teknolojilerin bir kısmı şu şekildedir:

- o Büyük veri (Big data) ile önceki projelerden dersler çıkarabilecekleri, problemleri önceden görmeyi sağlayacak erken uyarı sistemi kullanılmaktadır.
- o Sosyal sanal gerçeklik ile üretilen tasarıma, dünyanın her yerinden bağlanan mimarlar, proje üzerinden üretim hakkında kritik yaparak, projenin gelişmesine katkı sağlamaktadır.
- o Karma gerçeklik ile var olan alan üzerine, tasarlanan kütle yerleştirilerek; tasarımın geçerliliği, alan kullanımı gibi meseleleri önceden analiz edilebilmektedir.
- o Arttırılmış gerçeklik sayesinde mobil cihazlar ile sanal bir mimari maketi masa üzerine konumlandırarak, mekânın gerçek dünyada 3 boyutlu olarak algılanması sağlanmıştır.
- o Yapay zekâ destekli tasarım üretimi konusunda 2016 yılından beri Autodesk ile birlikte çalışmaktadırlar. (Alderton, 2018).



Şekil 3.2.1. SPG ile oluşturulan hastane planı (Das, ve diğerleri, 2016).

Günümüzün bütün teknolojik avantajlarından faydalanmaya çalışan Perkins+Will, işbirliği sonucunda bir hastanenin iki katını “mekân plan üreticisi” ile (Space Plan Generator, SPG) tasarlamışlardır. Hesaplamalı BIM tasarım yazılımı olan Autodesk Dynamo Studio üzerinden kodlanan bu yazılım ile hastanenin gereksinimleri ve alan bilgileri girilip belirli tasarım çıktılarına ulaşılmıştır (bkz. Şekil 3.2.1.). Bu araştırmada rasyonel mimari planlar sunmak için ölçeklenebilir algoritmalar kullanan hesaplamalı geometriden ve üretken tasarımdan yararlanılmaktadır. Kavisli alanların hesaplanmaması gibi farklı kısıtlamalar

olmasına rağmen tatmin edici sonuçlara ulaşıldığı söylenebilir (Das, ve diğerleri, 2016). SPG ile deneysel bir algoritma kullanmalarına rağmen, genel kullanıma sahip mekânları tasarlama açısından ideal bir kullanımın ortaya çıktığını belirtmişlerdir (Alderton, 2018). Konut, otel, okul, tiyatro, sinema, ofis, kilise, cami, hastane, stadyum projeleri gibi fonksiyonları belirli ve standartları net olan yapıların tasarımında yapay zekâ kullanımı sayesinde mekânsal işlevsellikte bir yarar sağlanabilir. Perkins+Will yetkilileri, yapay zekâ üretkenliğinin bu şekilde mimarlık alanında kullanılmasının, mimarlara daha çok görsel üretime odaklanmak için zaman kazandıracağını savunmaktadırlar. (Alderton, 2018).

Yapay zekâ ile mimari plan üretme çalışmaları, “generative design” (üretken tasarım) alanının alt başlıklarından birini oluşturmaktadır. Üretken tasarım, belirli bir tasarım sisteminde yeni ve yüksek performanslı sonuçları keşfetmek için meta-sezgisel arama algoritmalarını kullanarak yapay zekâyı tasarım sürecine dâhil eder. Mimari plan üretiminde ise; ulaşılması istenilen hedeflerin tanımlanıp, kısıtlamaların belirlenmesinin ardından bilgisayar hesaplamalarının gücünden faydalanılarak, tasarım varyasyonları keşfedilir ve bu sayede en iyi tasarım seçenekleri belirlenebilmektedir. Yukarıda örneği verilen SPG benzeri birçok farklı üretken tasarım tabanlı çalışma yapılmıştır. Jun ve Gero’nun yaptığı benzer bir çalışmada, büyük bir ofis binasının mekânsal elemanların topolojik ve geometrik düzenlemeleri üzerinde çeşitli varyasyonlar yaratımı sağlanmıştır. Alan yerleşim planlamasında yapay zekâ alanının altında bulunan genetik algoritmalar kullanılarak iyi sonuçlar üretilebileceği sonucuna varılmıştır (Jun & Gero, 1998). 2002 yılında yapılan başka bir araştırmada insanın karar verme sürecini iş akışına dâhil etmek için bir yenilik yapılmak istenilmiştir. Kavramsal tasarım sırasında, olumlu karar verme üzerine çalışan bir optimizasyon modeli sunulmuştur. Form problemlerini çözmekte kullanılan gradyent algoritmalar kullanılarak geliştirilmesine rağmen, otomatik oluşturulan konsept planlar sınırlı sayıda varyasyonlar üretebilmektedir (Michalek, ve diğerleri, 2002). Nassar (2010), mimari planları basit, bağlantılı ve etiketli düzlemsel grafikler olarak tanımlamıştır ve bu grafik teorisinde alan planlama problemleri üzerinde doğrudan etkileri olan yeni bulgular sunmuştur. Sadece iki boyutlu mimari planlarla sınırlı olan bu çalışmada önerilen modelin gerçekten kapsamlı bir dizi potansiyel tasarımlar üretebileceği iddia edilmektedir (Nassar, 2010; Das, ve diğerleri, 2016).

### 3. AKILLI BİNALARDA OTOMASYON VE YAPAY ZEKÂ İLİŞKİSİ

Akıllı bina terimi, farklı otoriteler tarafından farklı şekillerde yorumlanmaktadır. Tanımlamalar yapılırken bile “Zeki Bina” (Intelligent Building) ya da “Akıllı Bina” (Smart Building) şeklinde literatürde farklı terminolojiler kullanılabilir. “Akıllı Ev” (Smart Home) şeklinde geçen terim ise bazı makalelerde “Akıllı Bina” ile aynı anlamı taşısada genellikle akıllı bina özelliklerini gösteren daha küçük konutlar ya da daireler özelinde kullanılmaktadır. Bu bağlamda güncel akıllı ev tanımına bakıldığında; akıllı telefon veya bilgisayar tarafından uzaktan kontrol edilebilen, aydınlatma, ısıtma ve elektronik cihazlarla donatılmış bir ev, şeklinde bir sonuca rastlanabilir. Genel geçer bir doğruluğa sahip olsa da, bu eksik bilgiler içeren bir tanımdır.

Mozer, yukarıdaki gibi eksik bilgiler içeren tanımlar için; tüm kararların “akıllı” ev tarafından değil, kullanıcıları tarafından alındığını vurgulamaktadır. Böyle tanımlar piyasadaki genel durumu yansıtmaktadır ve sıklıkla “akıllı” binalar, otomasyona sahip binalar ile karıştırılmaktadır. Çoğu ticari ürün, yalnızca uzaktan kumanda kullanma ve farklı mühendislik sistemlerinin davranışını önceden tanımlama yeteneğini sağlayabilir. Bu gösteriyor ki herhangi bir “akıllılık” bulunmamaktadır (Mozer, 2005). Bu görüşe benzer bir şekilde Batov’a göre; akıllı bina piyasası incelendiğinde ve akıllı bina terimi ile ilgili literatür incelendiğinde görülmektedir ki akıllı bina tanımı çok belirsizdir. Binadaki “akıllılığın”, bina otomasyonu ile karıştırıldığı gözlemlenmektedir. Fakat akıllı binaların potansiyel faydaları çok daha geniştir (Batov, 2015).

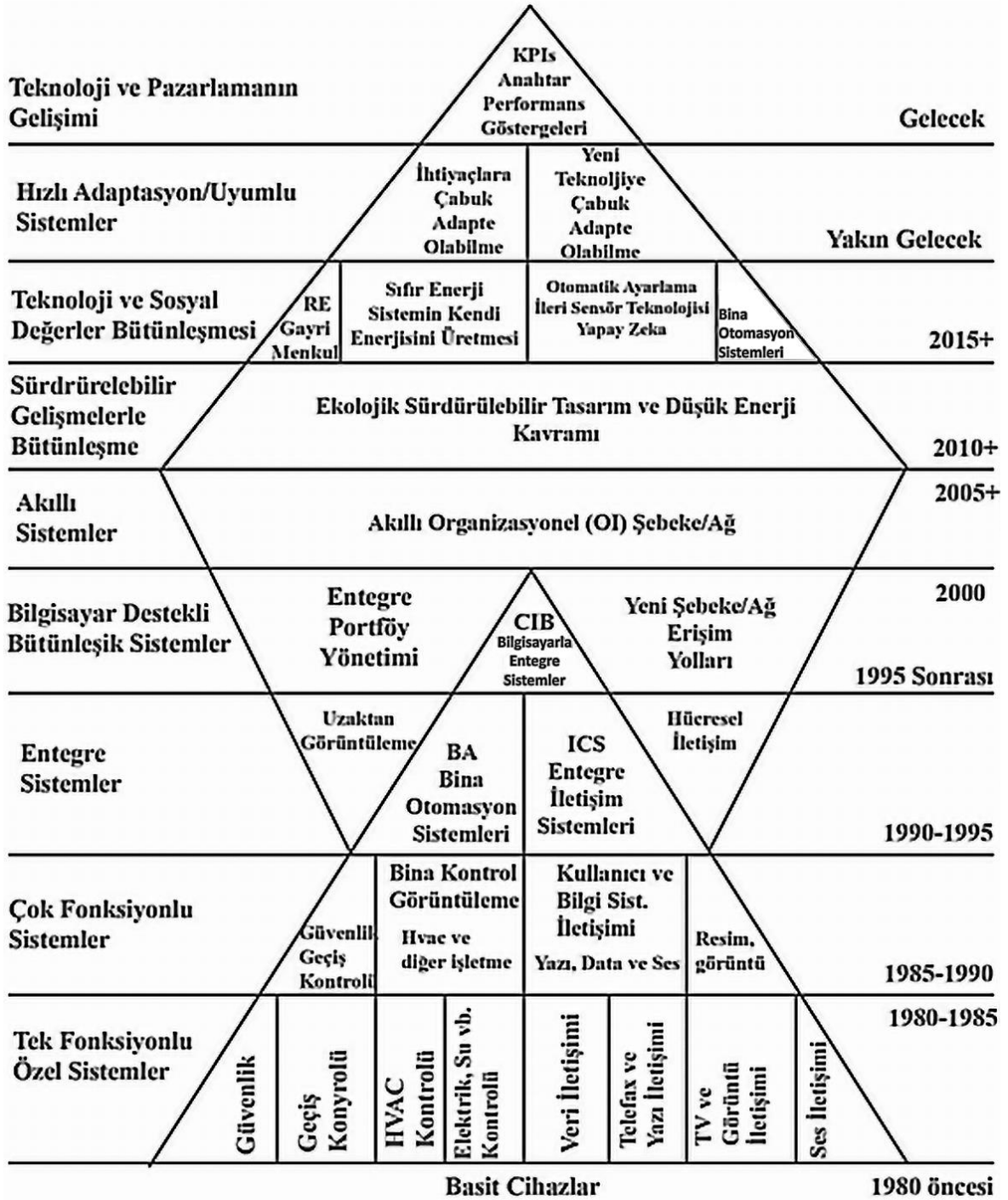
Mozer’e göre, akıllı binalara dair doğru tanımlama şu şekilde olabilir; akıllı binalar, belli eylemleri gerçekleştirmek için programlanmak yerine, çeşitli bileşenleri sayesinde çevreyi izleyerek ve kullanıcılarının gerçekleştirdiği eylemleri (örneğin, ışıkları açıp kapamak, termostatı ayarlamak) öğrenerek ve analiz ederek programlanmalıdır. Kullanıcıların davranış desenlerini gözlemlemeli ve evin gelecekteki durumlarını tahmin etmelidir (Mozer, 2005). Bu da ancak yapay zekâ teknolojileri kullanılarak ile mümkün kılınabilir.

### 3.1. AKILLI BİNALAR

Akıllı binanın tanımlayıcı özelliği; teknolojik altyapısı, veri analizleri ya da nesnelerin interneti gibi sistem entegrasyonları değildir. Aksine, bina için düşünülen başarımlara ulaşmak için bilimsel yöntemlerden yararlanmaktır. Hem kontrol ünitelerinin, hem de bu kontrol ünitelerine bağlı tüm teknolojik sistemlerin uyum içinde çalışması gerekmektedir. Bu bağlamda, Wang ve ekip arkadaşları, akıllı binaların genel konfor seviyesini ve enerji verimliliğini sağlamak için akıllı teknolojilerin kullanılması gerekliliğinden bahsetmişlerdir. Akıllılığı ve sürdürülebilirliği sağlamak için ise bina endüstrisinde bilgisayar kullanmanın önemini vurgulamışlardır (Wang, ve diğerleri, 2012).

Clements-Croome (2004) akıllı binayı, insanla özdeşleştirerek, nasıl insan bilgisi ve yetenekleri tek vücutta birleşik ve bütünleşikse, akıllı bina sistemlerinin yetenek ve kabiliyetlerinin bütünleşik çalışması gerektiği görüşünü sunmaktadır. Bu bütünleşik sistemin Clements-Croome (2004) tarafından belirlenen bazı özellikleri bulunmaktadır. Bunlardan ilki; kullanıcıların sistemle iletişim kurmasını sağlayan “bağlanabilirlik”, ikincisi “farkındalık”; yapının basit bir bilinç ile içinde olduğu durumu ve koşulu kavrayabilmesidir. Üçüncüsü “mekânsallık” olarak tanımlanmaktadır ve uzay içerisinde 3 boyutlu bir alan işgal ettiğinin farkındalığı olarak nitelendirilebilir. Dördüncü özellik “kinestetik” olma durumudur, yani yapının değişimlere duyarlı, ayarlanabilir ve değişimlere açık olmasıdır. Son özellik ise “mantık” olarak belirlenmiştir ve yapıdaki kullanıcılarının günlük aktivitelerini denetleyen ve kullanıcıların ihtiyaçlarına göre ortamı ayarlayan sensörler gibi sistemler olarak belirtilmiştir.

Bu özellikler, akıllı binayı çok geniş bir çerçeveden incelemenin getirdiği tanımlamalar olarak karşımıza çıkmıştır. Çünkü akıllı bina kavramı da, bütün diğer teknolojik gelişmeler gibi yaşamaktadır. Akıllı bina kavramı yıllara ve teknolojinin getirdiği gelişmelere göre şekillenmektedir. Akıllı bina piramidinde de görüleceği üzere, bina otomasyon sistemleri artık yerini akıllı sistemlere bırakmıştır (bkz. Şekil 4.1.1.).



Şekil 4.1.1. Akıllı Bina Piramidi (Clements-Croome, 2004; Arat, 2017)

Clements-Croome'un yarattığı piramit incelendiğinde, günümüzde ulaşılan son teknolojik gelişmeler çerçevesinde akıllı binaların, uzaktan açma ve kapatma ya da zamanlayıcı kurma gibi basit özelliklerin çok daha üzerinde olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Batov (2015) dergide yayınlanan bir makalesinde, akıllı bir ev geliştirmeyi amaçlayan güncel teknolojik projeleri incelemiştir: Colorado Üniversitesi'nden Adaptive Home, MIT'den House\_n, Georgia Teknoloji Üniversitesi'nden Aware Home, Texas Üniversitesi'nden MavHome. Bu

beş proje incelenip özetlendiğinde, akıllı evlerin sağladığı başlıca faydalar şu şekilde gösterilebilir:

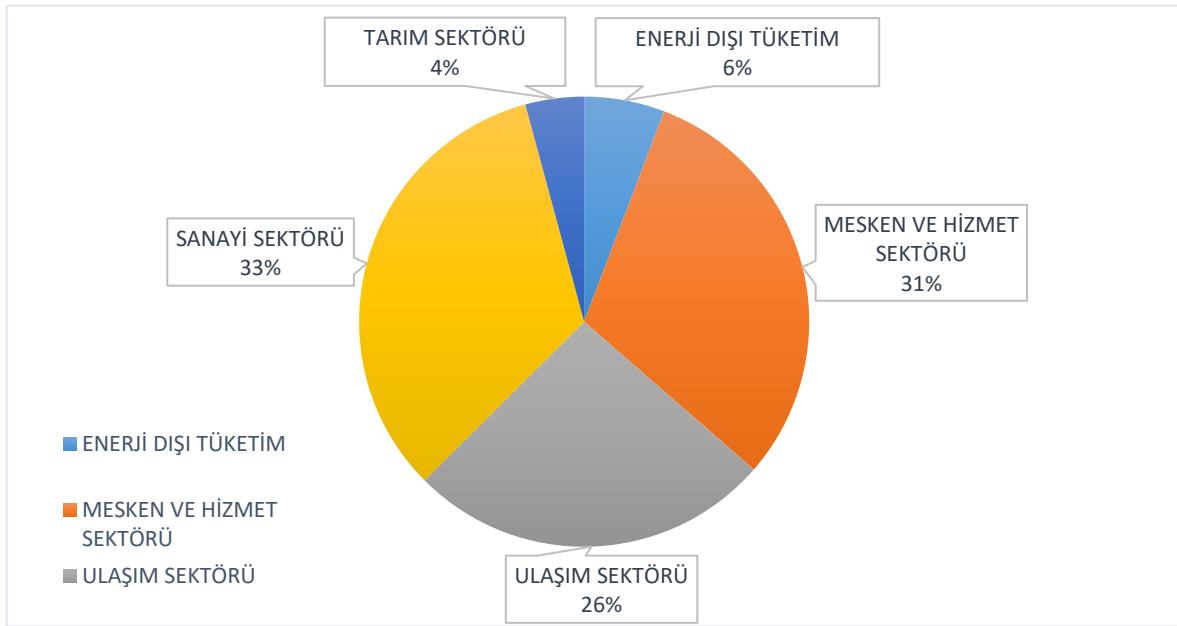
- o Kullanıcıların rahatlığı: Akıllı binalar, kullanıcılarının davranışlarından ders alır ve rahatlıklarını en üst düzeye çıkarmaya çalışır.
- o Enerji tasarrufu: Akıllı binalar enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabilir. Bina sahipleri için maliyetlerin düşürülmesini sağlar.
- o Zaman tasarrufu: Akıllı binalar günlük rutinleri otomatikleştirerek çok fazla zaman kazandırabilir.
- o Güvenlik: Dışarıdan gelecek tehditlerin önlenmesi dışında akıllı binalar yangın, su ve gaz sızıntılarını teşhis ve tespit edebilir. Ekipman arızalandığında veya performans düşmeye başladığında kullanıcılarını uyarır.
- o Uzman Sistemler: Eklenebilir uzman sistemler ile çevresel alan hakkında ayrıntılı bilgi elde edilebilir.
- o Sağlık ve bakım: Tüm akıllı bina sistemlerinde kullanıcılarının sağlığı en yüksek önceliğe sahiptir. Uygun sıcaklık, ışık yoğunluğu, hava durumu parametreler bu çerçevede ayarlanır.
- o Yardımcı Domotikler (Ev içinde hayatı düzenleyen teknolojik asistanlar): Evde güvenli ve rahat bir ortam sağlarlar. Evlerin günlük rutinde yardımcı olurlar, temizlik havalandırma gibi faaliyetleri programlarlar, acil yardım gerektiğinde sosyal hizmetleri veya yakınları uyarabilirler.

Günümüzde akıllı binalar hızla artmaktadır. Akıllı binalar, konut ve alışveriş merkezleri dışında akıllı ofisler, akıllı oteller ve akıllı eğitim kampüsleri gibi birçok farklı formda görülebilmektedirler. Hangi formda olurlarsa olsunlar akıllı binalar geniş bir işlem, iletişim altyapısı ve tekniğinden yararlanan entegre sistemler olarak kabul edilmektedirler (Cheng & Kunz, 2009). Akıllı binaların; öğrenmeyi, tahmin etmeyi ve akıllı kararlar vermeyi sağlayan bazı araçlara ihtiyaçları vardır ancak bu sayede konfor standartları yükseltilebilir, maliyetleri düşürülebilir ve bina sakinlerinin ihtiyaçlarına uyum sağlanabilmektedir. Yapay zekâ teknolojilerinden yararlanan akıllı bina algoritmaları; robotik, akıllı materyaller, kablosuz sensör ağı, multimedya, mobil bilgi işlem ve bulut bilişim gibi bir dizi teknolojiyi kapsamaktadır. Bu teknolojiler sayesinde akıllı binalar birçok hizmeti yönetebilmektedir. Sensörlerden ve internete bağlı nesnelere toplanan çok sayıda veriler, algoritmalar ile analiz edilip bilgiye dönüştürülmektedir (Qolomany, ve diğerleri, 2019). Uygun eylemleri

gerçekleştirmek için kullanıcıların davranışlarını veri analitiği kullanarak öğrenmesi, günümüz teknolojisinin akıllı binalara sağladığı en önemli olanaklardan biridir.

### **3.1.1. Akıllı Binalar ve Enerji Verimliliği**

Akıllı bina konsepti, yıllar boyunca değişime uğramıştır. İçinde bulunduğu çağın şartları doğrultusunda evrilmiştir. Günümüzde akıllı binayı tanımlarken, enerji etkin tasarım kriterlerine sahip olması ve sürdürülebilirlik özelliklerini barındırması beklenmektedir. EuroACE (The European Alliance of Companies for Energy Efficiency in Buildings, Avrupa Binalarda Enerji Verimliliği Şirketler Birliği) akıllı binaların en önemli önceliğini enerji verimliliği olarak belirlemektedir. Bunların yanında doğru malzeme seçimi ve doğru ekipmanlarla donatılmış olmasının da sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından önemli olduğu belirtilmektedir (EuroACE, 2015). Bina sakinlerinin ve kullanıcılarının konfor ve güvenliğini sağlamanın yanında, enerji tüketimini en aza indirmeyi amaçlamak modern binaların temel görevlerinden biri haline gelmektedir. Çevre sorunlarına yönelik farkındalık artıkça, akıllı binaların bu konuda ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Çünkü Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 17 Şubat 2020’de yayımlanan 2018 yılı ulusal enerji denge tablosuna göre (şekil 4.1.1.1.) ; Türkiye’de sektör bazında enerji tüketiminde en fazla payı sanayi sektörü (%33) ile konutları, ofis binalarını, alışveriş ve ticaret merkezlerini içeren mesken ve hizmetler sektörü (%31) almıştır. (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2018). AB ülkelerinde 2016 yılı verilerine göre enerji tüketiminde konut ve hizmetler, en fazla payı (%36,4) almıştır (Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, 2019). Amerika’da ise 2018 yılı verilerine göre, hizmet sektörü ve konutların toplam enerji payı %40 civarındadır (U.S. Energy Information Administration, 2019). Enerji tüketiminde bu kadar büyük rol oynayan meskenlerin bu bağlamda izlenmesi ve enerji verimliliğine yönelik önlemlerin alınması hem çevre hem de ekonomik açıdan kritik derecede önemlidir.



Şekil 4.1.1.1. Türkiye’de Sektörlere göre Enerji Tüketim Oranları

Türkiye’de 2018 yılında sektörler bazında toplam enerji tüketimi, 2000 yılına göre yaklaşık %78,4 oranında, 2010 yılına göre %37,3 oranında artmıştır. 2017 yılına göre ise %2,4 oranında düşmüştür. Enerji tüketimindeki artışlar ekonominin büyümesi ya da küçülmesi ile ilişkilendirilebilir (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2018). Ancak büyüyen ekonomisine rağmen Avrupa Birliğine bağlı ülkelerdeki 2016 yılı verileri incelendiğinde enerji tüketiminin son 10 yılda yaklaşık %6 oranında azaldığı görülmektedir (Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, 2019). Enerji verimliliğine verilen önem, teknolojiye gelişmeler ve yapay zekânın sistemlerin verimliliğini artırması sayesinde bütün sektörlerde tasarruf sağlanmıştır. Konut ve hizmet sektöründe ise akıllı binalar ile birlikte enerji tasarrufu miktarı arttırılmaktadır.

Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi (WBCSD) 2009 yılında yürütülen bir çalışmada, 2050 yılında binaların tükettiği enerjinin radikal bir şekilde azaltılabileceği öngörülmektedir. Tasarruf edilebilecek miktar için ise bütün ulaştırma sektörünün harcadığı enerjiye eşit olduğu belirtilmektedir ki bu yaklaşık olarak %20 civarındadır (WBCSD, 2009). Bina endüstrisinin geleceği akıllı bina ile şekillenmektedir. Çoğu modern kamu ve konut binası, enerji tüketimini azaltmak maksadı ile planlanmaktadır. Enerji koruma stratejilerinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarının kullanılması bu alanın geliştirilmesindeki önemli faktörlerin başında yer almaktadır.

### 3.1.2. Akıllı Binalarda Sürdürülebilir Tasarım

Bu yüzyılda bireylerin dünya görüşü iletişim ve seyahat olanaklarının artmasıyla hızlı bir şekilde değişmektedir. Dünya nüfusunun artması ve çevrenin atık ürünlerle nasıl kirletildiğinin farkına varılmasıyla artık biyosferin sonlu bir yapıda olduğu anlaşılmıştır. Bütün geliştiriciler, tasarımcılar ve yükleniciler, kaynak taleplerinden sorumlu olurken, üreticiler ve karar mekanizmaları da ürettikleri atık ürünlerden sorumludurlar. Herkes sürdürülebilir bir yaşam alanı geliştirmeye katkıda bulunmalıdır. Bu yüzden akıllı binalar da sürdürülebilirlik çerçevesinde, diğer bütün sıfatlarından ve avantajlarından öte sosyal sorumluluk olarak bile değerlendirilebilir (Derek & Clements-Croome, 1997). Akıllı binalar, kullanıcılarının ve toplumun gereksinimlerine cevap vermelidir. Bu bağlamda akıllı binaların, enerji ve su kaynaklarını tasarruflu bir şekilde kullanması gerekmektedir. Karbon ayak izinin düşük olması, çöp ve diğer atıkların minimum miktarda olması gerekmektedir. Böylece akıllı ve sürdürülebilir binalar, kullanıcılarının konforunu sağlarken, çevreye olan etkilerini de azaltabilirler (Clements-Croome, 2011).

Enerji ve su kaynaklarını tasarruflu kullanmak dışında, kullanılan enerji türünün de yenilenebilir olması kritik bir öneme sahiptir. Çünkü yenilenebilir enerji kullanımının sera gazı emisyonlarında azalma sağlaması, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve fosil yakıtlarına daha az bağlı olmak gibi faydaları bulunmaktadır. Bu sebeple Avrupa Birliği ülkelerinde 2018 yılında toplam enerji tüketiminin %18,9'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır. 2020 yılında ise yenilenebilir enerji kaynakları kullanımındaki hedef %20 olarak belirtilmiştir (Eurostat, 2020). Yenilenebilir enerjiler, doğal bir etkileşimin sonucu olarak gerçekleşen sürecin ürünleridir. Kaynaklar değişkenlik göstermekle birlikte, günümüzde güneş, rüzgâr, okyanus, hidroelektrik, atıklardan üretilen biyo-yakıtlar, jeotermal ve hidrojenle üretilen elektrik gibi farklı yenilenebilir enerji kaynakları bulunmaktadır. Bu kaynakların dolaylı ya da doğrudan kullanımı günümüz akıllı binalarının standartları hâline gelmiştir.

Bütün bu çabanın asıl amacı dünyanın yüzleştiği bu karbon salınımı problemiyle başa çıkmak üzerinedir. İklim uzmanları, emisyonları azaltmak için dünyanın acil önlem alması konusunda hemfikirdir. Microsoft'un başkanı Brad Smith, insanlığın bu kötü gidişata dur demesi için, her yıl yaydığı kadar karbonu yok etmesi gerektiğini belirtmiştir ve firma olarak

bu bağlamda bazı hedefler belirlemişlerdir. Microsoft, yenilenebilir enerji kaynakları seçimi, sürdürülebilir akıllı bina çözümleri ve yapay zekâ destekli sistemlerin kullanımı gibi alınan çeşitli önlemler ile 2030 yılında negatif karbon emisyonu politikasına geçmeyi ve 2050 yılında, günümüze kadar yaydığı bütün karbon miktarını, dünyaya geri kazandırmayı hedeflemektedir (Smith B. , 2020).

Güncel akıllı bina tasarımlarında aktif enerji kaynakları kullanımı dışında pasif sistemlerde önemli bir role sahiptir. Dolayısıyla fonksiyonel, teknik ve estetik kaygılar sonucu üretilen mimari tasarımların çevre ile ilişkisi binanın yönüne, formuna ve kabuğuna etki etmektedir. Rüzgâr ve güneşin etki alanları, hava kalitesi, gürültü koşulları ve diğer çevre şartları binanın dış ortam ile ilişkisini belirlemektedir. Biyoklimatik ısıtma, soğutma, gün ışığı ve enerji stratejileri bu bağlamda binanın dış kabuğunun tasarımı ile doğrudan ilişkilidir. İyi bir bina tasarımı bir yandan bina sakinlerinin konforunu sağlarken diğer bir yandan enerji tüketimini azaltmayı, bina koşullarını çevreye göre optimize etmeyi amaçlar. Brophy ve Lewis (2011) binanın çevre şartlarına uygun bir forma sahip olmasının ve doğru bir şekilde konumlandırılmasının, enerji tüketimini %25-35 oranında azaltabileceğini söylemişlerdir.

Brophy ve Lewis sürdürülebilirlik bağlamında doğru bir bina mimarisi için dört önemli faktör belirlemişlerdir. Bunlar;

- 1) Arazi planlaması: Yapının yönlendirmesi, topoğrafya şartları ve manzara gibi birçok farklı nedene bağlıdır. Ulaşım imkânları, çevre kirliliği ve ses kirliliği gibi faktörler bina yönlendirmesi için önemli nedenlerden bazılarını oluştururken, güneş ve rüzgâr gibi çevresel faktörler hem sürdürülebilirlik hem de bina sakinlerinin konforu açısından çok önemlidir.
- 2) Bina formu: Enerji etkin bir mimarlık için yapının biçimi de yapının yönü kadar önemlidir. Yapının yüksekliği, uzunluğu, genişliği, çatı şekli, cephe eğimi gibi yapısal maddeler, bina formunu belirlemektedir.
- 3) Bina kabuğu: Yapının dış yüzeyi ve cephesini oluşturan elemanlar, iç mekân ile dış mekân arasındaki sınırı oluştururken; gün ışığı alınımı ve havalandırma olanaklarını da belirlemektedir. İklim şartlarına göre farklı cephe sistemleri kullanılmakla birlikte, son yıllarda akıllı bina kabuğu, akıllı ve hibrit cepheler olarak adlandırılan, bina enerji sarfiyatını azaltmaya yönelik, iklim şartlarına göre değişen ve uyum sağlayabilen cephe sistemleri geliştirilmiştir.

- 4) Kullanılan malzemeler: Strüktürel sistemde ve binanın dış kabuğunda kullanılan malzemelerin dış çevreye olan uyumunun değerlendirilmesi olarak belirlenmiştir (Brophy & Lewis, 2011).

Örneğin kuzey enlemlerinde bulunan bir binanın formu ve yönlendirilmesi iklimlendirme olanakları düşünülerek ayarlanmalıdır. Bu sebeple, kış aylarında minimum ısı kaybı ve yaz aylarında minimum ısı alımı sağlanmalıdır. Doğu-batı ekseninde uzanan bir bina, kış aylarında güney cephesinden maksimum ısı kazanımı sağlamaktadır. Yaz aylarında ise maksimum ısı kazanımı, binanın formu gereği daha küçük alana sahip doğu ve batı yüzeylerinde gerçekleşmektedir. Hem yaz hem de kış aylarında kuzey cephesi en az güneş ışımasına maruz kalacağı için, bu bölümlere koridor, depo ya da merdiven gibi az kullanılan tampon alanlarının yerleştirilmesi daha uygun olacaktır (Brophy & Lewis, 2011).

Avrupa genelinde binalar mevsimsel olarak ısıtılmakta ve soğutulmaktadır. Yinede birçok bölge birbirinden farklı çevreye sahip olup, genel geçer kurallara tabi olmayabilir. Bazı bölgelerde mikro iklim koşulları görülebilir ya da güney cephesine şiddetli rüzgâr alan özel alanlar bulunabilmektedir. Ayrıca sınırlı ve dar inşaat alanları da iklime uygun bina mimarisine belirli kısıtlamalar getirebilmektedir. Bu sebeple kullanılan çeşitli uzman sistemler, güneş ve rüzgâr simülasyonları ile doğru bina formu çıktılarını sağlamaktadır. Bu bağlamda, HMC Mimarlık'ta proje müdürü olarak görev alan Gulotti, modern mimarlık firmalarının güneş simülasyon yazılımları ile tasarlanan binaların geometrilerinin analiz edilip, yıl boyunca alınan güneş ışığının hesaplandığından ve yapay zekânın bu konudaki en son gelişme olup, daha etkili sonuçlar üretilebileceğinden bahsetmektedir (Gullotti, 2019). Mimarlar için temel bina performans göstergelerini sağlamak için çok çeşitli bina simülasyon programı bulunmaktadır. Bu yapay zekâ destekli yazılımlar mimarlara akıllı binaların enerji taleplerini, günışığı analizlerini, iç ve dış mekân tahmini sıcaklık değerlerini, rüzgâr şiddetlerini ve nem gibi parametreler üzerinden simülasyonlar oluşturmaktadır. Amerikan enerji bakanlığı tarafından "EnergyPlus", Autodesk tarafından "ECOTECH" ve "Green Building Studio", Archicad tarafından "EcoDesigner" isimli uygulamalar, hâlihazırda kullanılabilen popüler simülasyon yazılımlarından birkaçını oluşturmaktadır.

## 3.2. AKILLI BİNA KONTROL SİSTEMLERİ

### 3.2.1. Bina Otomasyonu

1980’li yıllarda ortaya çıkan “Bina Otomasyon Sistemleri” yaklaşımı, günümüze kadar devam etmiş olup, teknolojinin gelişmesiyle birlikte sürekli gelişmekte ve değişmektedir. Günümüzde merkezi bir kontrol birimi tarafından yönetilen ve izlenen çok daha karmaşık bir yapıya evrilmiştir. “Akıllı Bina Yönetim Sistemleri” olarak da adlandırılan bu sistemler sayesinde bir binanın günlük işlevlerinin bağımsız olarak sürdürebilmesi sağlanmaktadır (Wong, 2007). İstenilen tüm konfor koşulları bina otomasyon sistemleriyle tamamen bilgisayar kontrolünde gerçekleşmektedir. Binadaki tüm denetim bu sistemler ile sağlanmaktadır (Aytıs, 1999). Akıllı bina konseptinin gerçekleştirilmesinde rol alan bütün elektronik sistemler bina otomasyonunun bir bileşeni olarak görülmektedir. Luo ve çalışma arkadaşlarına (2003) göre sadece bileşenlerin kontrolü değil; elektrik, su ve gaz dağıtımını izleme, bina performansını sistematik olarak analiz etme ve raporlama gibi yeteneklere de sahiptir. Bu sayede tüm yönleriyle genel bir stratejik yönetim sağlanabilmektedir (Luo, ve diğerleri, 2003). Bu operasyonları yönetirken çeşitli modülleri, cihazları ve bileşenleri kullanan bina otomasyon sistemleri, sahip olduğu yazılım, donanım ve ağ özellikleri ile var olabilmektedir.

#### 3.2.1.1. Kontrol ve Kumanda Sistemi

Akıllı binaların beyni olarak tanımlayabileceğimiz kontrol ve kumanda sistemi, otomasyon altındaki her binada tüm parametrelerin izlendiği, kaydedildiği ve gerektiğinde tüm müdahalelerin binanın içinde bulunan kontrol merkezine paralel olarak gerçekleştirilebildiği merkezi bir denetleme ve kontrol sistemidir. Ana bilgisayarda, verileri işleyerek binayı yönetmeyi sağlayan bir yazılım çalışmaktadır. Çeşitli sensörlerden ve sayaçlardan gelen ham bilgiler bu yazılımlar tarafından işlenmektedir. Sistem bu yazılıma entegredir ve her binadaki bir alt sistemle iletişim kurar, telemetri ve diğer kontrolleri denetler (açık, kapalı, ayar, devre dışı bırakma, devreye alma, alarm ve sonraki işlevleri yürütme vb.) Batov’a göre, bu yazılımların öğrenme, karar alma veya insan faaliyetlerini tahmin etme gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bahsedilen bu özellikler yapay zekâ teknolojisinin kullanımı ile gerçekleşebilir (Batov, 2015).

### 3.2.1.2. Kontrol Birimleri

Bir binanın akıllı olabilmesi için, bina içinde ya da dışında bulunan olayları fark etmesi gerekmektedir. Akıllı binaların bu özelliklere sahip olabilmesi için, sensörler, çeşitli ölçüm cihazları, sayaçlar ve nesnelerin interneti cihazları ile donatılmışlardır (Batov, 2015). Sensörler, kontrol panelinden alınan bilgileri işleyen ve kontrol eden ve pratik bir uygulama elemanına yollayan sistemdir. Işıktan gelen parlaklık seviyesini panelden girdiğiniz ışık düzeyi ile karşılaştırır. Lambanın ışık yoğunluğunu sonuca göre ayarlar. Sisteme her an gelen bilgileri değerlendirir. Batov'a (2015) göre bu sayede bir binada; odanın işgali, ışık yoğunluğu, iç mekân sıcaklığı, karbondioksit seviyesi, gürültü seviyesi belirlenebilmekte veya gaz sızıntısı tespit edilebilmektedir.

### 3.2.1.3. Uygulama Birimleri

Akıllı binaların donanımsal özellikleri yalnızca çevrede meydana gelen değişiklikleri fark etmek üzerine kurulu değildir. Aynı zamanda değişiklikleri kontrol edebilme mekanizmasına da sahiptirler. Bu özellikleri bağlamında "akıllı" binaların, aydınlatma, ısıtma, klima, eğlence sistemi ve benzeri çeşitli mühendislik sistemlerini kontrol edebilen cihazlar ve aktüatörlerle donatılmış olduğu söylenebilir (Batov, 2015). Uygulama birimleri, kontrol ünitesinden çıkan sinyallerin maddi olarak harekete dönüştürülmesini sağlar. Örneğin perdeler motoru açar ve kapatır, klima, alarm, vana, eleman gibi kilit sistemini kapatır (Aytıs, 1999).

Bunlara ek olarak, bütün bu donanım ve yazılım sistemlerinin birlikte çalışabilmesi için güçlü bir ağa ihtiyaç vardır. Genellikle zayıf akım hatları üzerinden olan bu iletişim, kablosuz veya hibrit olarak da bu sistemler üzerinden sağlanmaktadır.

### 3.2.2. Otomasyon Kontrol Sistemleri

Otomasyon kontrol sistemlerinin öncelikli amacı, binanın günlük işlevlerini yürütmektir. Akıllı binalar; iletişim olanakları, termal konfor, görsel konfor, güvenlik ve işlevsellik gibi bazı nitelikler ile kullanıcılarına verimli bir ortam sağlamak için kontrol sistemleri ile donatılmışlardır. Aytıs'a göre otomasyon sistemleri, binaya ait bütün sistemler için esneklik

ve optimum kullanım sağlamaktadır (Aytıs, 1999). Farklı bina tiplerine göre ihtiyaç gereken kontrol sistemleri değişiklikler gösterebilmektedir. Akıllı binalarda otomasyon adı altında alınabilecek çözümler çok geniş bir aralıkta, farklı marka ve sistemler ile değişebilmektedir. Fakat otomasyon kontrol sistemleri açısından bir genelleme yapma gerekirse, Wong ve Li'ye göre bina otomasyon sistemlerinin genel ortak gereksinimleri şu şekilde sıralanmaktadır:

- o Bina yönetim sistemi (Otomasyon kontrol sistemi): Binayı kontrol eden bütün sistemlerin ana merkezidir.
- o İletişim ve veri sistemi: İnternet ve yerel ağlar üzerinden veri aktarımından sorumludur.
- o İklimlendirme sistemi: İç mekân hava kalitesinden ve termal konfordan sorumludur.
- o Aydınlatma kontrol sistemi: Bütün binanın aydınlatmasından sorumludur.
- o Güvenlik: Kameralardan ve diğer güvenlik sensörlerinden sorumludur.
- o Yangın algılama ve alarm sistemi: Sensörler aracılığı ile algıladığı yangını söndürme, itfaiye ve bina sakinlerine bilgi sağlamaktadır.
- o Asansör sistemleri: Bütün asansörlerin verimli bir şekilde yönetiminden sorumludur (So & Chan, 1999; Wong & Li, 2008).

Akıllı bina kontrol sistemleri öncelikle binanın temel işlevlerini yürütmek ile görevlidirler. Bu konforu sağlamaya yönelik araçları yöneten bina kontrol sistemleri, farklı cihazların ana sisteme bağlantısı ile oluşmaktadır. İnsan konforunu belli bir standartta tutmayı amaçlayan bu işlevlerden bazıları şu şekilde sıralanabilir: İklimlendirme, havalandırma ve hava kalitesi kontrol cihazları, iç ve dış ortam aydınlatmaları, perde panjur ya da gölgelik sistemleri ile gün ışığını kontrol eden cihazlar, yangın-gaz alarmları, acil durum uyarı sistemleri, kapalı devre TV, hırsız alarmları, giriş kontrol sistemleri, su kaçak tespiti, su ve atık yönetimi, asansör, intranet, internet ve kablosuz ağ. Bütün sistemlerin tek bir merkeze bağlı olması sayesinde, farklı sistemlerin birbiriyle konuşabilmesi de sağlanmaktadır. Bu sayede kontrol edilen alanlarda konfor şartları sağlanabilmektedir. Rutin işlerin kontrolleri otomatik olarak sağlanan raporlamalar ile operasyonel işleri hafifletmektedir. Acil durum senaryoları açısından otomasyon kontrolü insandan bağımsız bir şekilde uygulanabilmektedir. Bağlı sistemlerin sarf ve yedek parça ihtiyaçları ve ömürlerinin takibi yönetim yazılımı tarafından tutulmaktadır. Enerji sarfiyatının tek bir merkezden kontrolü ve buna entegre yapay zekâ algoritmaları yükseltmeleri ile enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bina yönetim yazılımlarının

en önemli avantajlarından biri ise, minimum insan müdahalesi ile insan kaynaklı hataların ortadan kaldırılması ve işgücünün azaltılması olarak görülmektedir.

### **3.2.2.1. İletişim ve Veri Sistemleri**

İletişim ve veri sistemi, bir binanın ve bina sakinlerinin etkin çalışması için önemlidir. Wong ve Li (2008), telekom ve veri sisteminin amacının bir binanın kendi içinde ve dış dünya ile etkili ve verimli bir şekilde bilgi aktarımını sağlamak olduğunu belirtmektedir. Bu sistem, bina içi tüm sensörler ve araçlar ile otomasyon sistemlerinin iletişiminde önemli bir rol oynamaktadır.

Telekom ve data sistemlerinin temel işlevi, akıllı binalarda bilgi üretmek, işlemek, depolamak ve iletmektir. Günümüzde, GPS, CCTV ve fiber optik teknolojisinin ortaya çıkmasıyla veri akışını gerçek zamanlı olarak gerçekleştirebilmektedir. Bina iletişim sistemlerinde kablosuz ağ ve akıllı kontrol sistemleri başta olmak üzere; Bluetooth, LonWorks, C-Bus, RF, IR, İnternet, Wi-Fi, evrensel tak - çalıştır bağlantıları, sistem tanılama ve izleme için kullanılan teknolojilerden bazılarıdır (Ancevic, 1997).

### **3.2.2.2. İklimlendirme Sistemleri**

Akıllı binaların diğer bir önemli bileşeni olan iklimlendirme; binaların ısıtma, soğutma ve havalandırma çözümlerinin yanı sıra termal konforunu, nemini ve hava kalitesini de kontrol eden sistemlerdir. Bu yüzden So ve Chan (1999) iklimlendirme sistemlerinin bina sakinleri açısından çok önemli bir hizmet olarak tanımlamaktadır. Sadece hizmet olarak önemli olmasının dışında, iklimlendirme genel olarak akıllı binaların enerji tüketiminin önemli bir kısmından sorumludur. Ticari binalarda %50'ye kadar enerji tüketimine sebep olabilir. Residovic'e (2017) göre ise ofis binalarının enerji tüketiminin yaklaşık %39'undan iklimlendirme sistemleri sorumludur.

Genellikle, iklimlendirme sistemlerinde konfor şartları tercih edilen ısıtma seçeneklerine bağlıdır. Bunlar çoğu zaman kombi, klima sistemi, yoğunmalı kazan, yerden ısıtma vb. sistemlerle sağlanmaktadır. Genel mekân veya odalarda sensörler ile her oda ve bölge için ayrı sıcaklık değeri oluşturabilmektedir. Kullanılan kablosuz ve sabit panel yardımıyla bu

işlev oda termostatlarının tespit ettiği sıcaklığa oranla, sıcaklık ayarlarını ve fan hızını değiştirebilir, yerden ısıtma kolektörleri bağlanmış olan servo kontrolleri ayarlayarak istenilen ısı derecesini oluşturulabilir. Aynı zamanda bu sensörler sıcaklık dışında nem, CO<sub>2</sub>, VOC ve basınç gibi hava kalitesini etkileyen diğer değerleri ölçmektedirler. Bina otomasyon sistemlerine entegre olan bu araçlar sayesinde merkezi bir yönetim sağlanmaktadır.

### **3.2.2.3. Aydınlatma Sistemleri**

Aydınlatma kalitesi, sıcaklığı (Kelvin değeri) ve yoğunluğu gibi değerler kullanıcıların ve bina sakinlerinin refahı, motivasyonu ve üretkenliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğundan, akıllı binalar için aydınlatma kritik bir unsur olmuştur (So & Chan, 1999). Genellikle aydınlatma seviyesi ayarlanırken; çok seviyeli aydınlatma entegrasyonu veya kontrol balastlarını gerektiren modülasyonlu aydınlatma olarak iki farklı yöntemle gerçekleştirilir (Bálint, 1995-kenya). Bu sistemlerin bina otomasyon sistemleri ile entegrasyonu sayesinde farklı sensörlerden gelen bilgiler aydınlatma değerlerinin ayarlanmasında kullanılabilir. Örneğin, gün ışığı sensörleri ve günün saatine göre güneşin konumuna göre aydınlatma sıcaklığı ve seviyesi otomatik olarak ayarlanabilir. Bina otomasyon sistemlerinden gelen hareket sensörü verilerine göre, mekânda aktivite olmadığında, aydınlatma elemanları otomatik olarak kapatılabilir. Ayrıca farklı mekânlarda yer alan tüm ışık kaynakları, lambalar istenen ışık seviyesine ayarlanabilir. Floresan, akkor ya da enerji tasarrufu açısından en iyi alternatif olan led gibi çeşitli ışık kaynakları trafo veya balast gibi yardımcı ürünlerle kullanılsa da kontrol edilebilmektedir. Ayrıca anahtarlar ve kontrol panellerindeki düğmelerle belirli senaryolara göre “öğle arası modu” veya “maksimum odaklanma modu” gibi farklı işlevler atanabilmektedir.

### **3.2.2.4. Güvenlik Sistemleri**

Akıllı binalarda güvenliği sağlamak için birçok cihaz senkronize olarak çalışmaktadır. Etkili bir güvenlik sisteminde erişim izleme, hareket sensörleri, kapalı devre TV (CCTV) ve kişi tanıma sistemleri gibi otomatik işlevler bulunmalıdır. Wong ve çalışma arkadaşlarına göre (2008), güvenlik sistemlerinin amacı genel gözetleme ve bina girişlerinin kontrolünü sağlamak olarak belirlenmiştir.

Güvenlik sistemlerinin en önemli bileşenleri kameralar tarafından oluşturulmaktadır. Sadece videonun kaydedilmesi ve videonun izlenmesi dışında, ek donanımlar ve yazılımlar ile birlikte operatör müdahalesine gerek kalmadan alarm devreye alınabilir veya çeşitli obje ve plakalar tespit edilebilir. Video içerik ve analiz sistemleri, plaka tanıma sistemleri, insan sayma ve raporlama sistemleri ve yüz tanıma sistemleri gibi farklı yapay zekâ algoritmaları ile birlikte kullanılabilen kameralar, güvenlik sistemlerinin en önemli araçlarından biridir. Kameralar dışında sensörler gibi birçok güvenlik modülü bulunmaktadır. Hareket sensörleri, kapılardaki manyetik sensörler binaların giriş ve çıkışları hakkında bilgi sağlamaktadır. Stratejik noktalarda bulunan harekete duyarlı detektörler tarafından güvenlik ihlalleri hemen algılanabilir ve alarm devreye sokulur. Hareket sensörleri dışında, kızıl ötesi kameralar da mekânlardaki fiziksel hareketliliği algılamak için bulunan sistemlerdir. Bu sayede, İçeride bulunan istenmeyen yabancıların yeri belirlenip, güvenlik birimi bilgilendirebilmektedir.

### **3.2.2.5. Yangın Algılama ve Alarm Sistemleri**

Yangın algılama ve alarm sistemlerinin acil reaksiyonu ve güvenilirliği binalarda bulunanların güvenliğini sağlamak için çok önemlidir. Belli standartlar ve yönetmelikler, bu sistemlerin tasarımı ve kurulumu konusunda standartları belirlemektedir. Acil durum anonsu, itfaiyeci ile haberleşme, sesli tahliye, söndürme sistemleri kontrolü, duman tahliyesi ve güvenlik alarmları bu sistemin önemli bölümlerini oluşturmaktadır.

Yavaş yanıt oranı ve yanlış alarm genellikle ilgili literatürde belirtilen en yaygın problemlerdir. Fakat güncel yangın algılama sistemlerinde mikro işlemci tabanlı dağıtık işlemci sistemleri kullanılmaktadır. Böylece, yanlış alarm gibi birçok problem azaltılmıştır ve sistemin güvenilirliğini ve esnekliğini arttırmıştır (So & Chan, 1999). Sistemler genellikle bu üç sensörün birleşimi ile oluşmaktadır. Yangın ve tehlike tespiti; 1) sıcaklık sensörleri, 2) duman sensörleri, 3) gaz sensörleri tarafından sağlanmaktadır. Söndürme sistemlerinde; genellikle sıcaklık sensörleri ile aktif olan “sprinkler”ler kullanılırken, sistem odaları, güç kaynağı odaları gibi hem bina yönetiminde önemli alanları oluşturan hem de yangının daha hızlı yayılmasına neden olacak cihaz ve malzemeler bulunan alanlarda gazlı söndürme sistemleri uygulanmaktadır.

### 3.2.2.6. Asansör Sistemleri

Asansörlerin amacı, kullanıcılarının istenilen kata hızlı, güvenli ve konforlu bir şekilde taşınmasını sağlamaktır. Bununla birlikte yeni nesil asansör kontrol sistemleri daha az enerji harcayan ve kullanıcılarına en ufak sarsıntı yaşatmayan, akışkan hareket kabiliyetlerine sahiptir. So ve Chan'e göre bina otomasyon sistemleri ile entegrasyonu ve yapay zekâ desteği ile görüntü işleme teknolojisine sahip asansör sistemleri, kabindeki ve lobide bekleyen yolcu sayılarını tahmin ederek daha etkili bir kullanım sağlamaktadırlar. Yüksek katlı ve yoğun insan trafiğine sahip bir binanın birden fazla asansör grubunun yönetiminde, bina yönetim sistemlerine entegre yaklaşımlar yolcu trafiği modellerindeki değişikliklere uyum sağlayabilmektedir. Çok katlı akıllı binalarda gelişmiş bir asansör hizmeti, yolcuların ihtiyaçlarını karşılama açısından önemli bir role sahiptir. Dolayısıyla, son yıllarda bu memnuniyet için daha yüksek taşıma kapasitesine, rahat bir sürüş konforuna ve kullanışlı ara yüzlere sahip asansörler tasarlanmıştır (So & Chan, 1999).

### 3.3. AKILLI BİNALARDA İLERİ TEKNOLOJİ UYGULAMALARI

Mimari tasarım, binaların çevre ile ilişkileri üzerinden sürdürülebilirlik performansını etkileyen önemli bir faktördür dolayısıyla inşaat endüstrisi verimli bina tasarımları oluşturmak için ileri teknoloji ürünlerini giderek daha fazla kullanmaktadır. Hem bina tasarımı alanında, hem de bina yönetim sistemlerinde sensörler, nesnelerin interneti gibi ürünler ya da yapay zekâ destekli yazılımlar güncel olarak kullanılmaktadır. Bu yazılımlar sayesinde bir binanın coğrafi konumu üzerinden, hava şartları ve güneşten yararlanma gibi değişkenler üzerinden tasarım önerileri ile verimlilik artırılmaktadır. Bir diğer yandan ise, işin bina yönetimi kısmında yapay zekâ kullanan otomasyon sistemleri, akıllı binalardaki enerji yönetimini çeşitli sensörlerden aldığı çevresel faktör verilerinden ve önceki tecrübelerinden ya da internet üzerinden sağladığı hava durumu gibi bilişsel verilerden gelen parametreleri analiz ederek optimize edebilmektedir. Şöyle ki; bu sistemler binanın fiziksel özelliklerini ve tarihsel kullanımlar gibi verileri yorumlayarak herhangi bir insan müdahalesi olmadan akıllı binalardaki konfor şartlarını kontrol edebilmektedir. Bunlar dışında, yapay zekâ özellikli akıllı bina sistemleri binanın bakım, onarımı ve temizliği için de önerilerde bulunabilir ya da ortaya çıkan bakım ihtiyaçları ve problemleri bina yetkililerine bildirirebilmektedir.

### 3.3.1. Yapay Zekâ

Günümüzde piyasada tam anlamıyla bütün bina ihtiyaçlarını yöneten, genel yapay zekâ sistemine sahip nihai bir bina yönetim ve otomasyon ürünü bulunmamakla birlikte, yapay zekâyâ sahip olduğunu iddia eden veya kısmi olarak yapay zekâ algoritmaları içeren ürünler bulunabilmektedir. Aynı zamanda akıllı bina alanındaki yapay zekâ çalışmaları ve akademik araştırmalar hız kesmeden devam etmektedir. Çünkü Bruckner ve çalışma arkadaşlarına göre, birbirinden farklı veri kümelerinden öğrenme yeteneğine sahip yapay zekâ verilerdeki mevcut kalıpları ve eğilimleri belirleyebilir. Bu şekilde önemli performanslar hakkında bilgi sahibi olunabilir. Gelecekteki sistem durumlarını doğru bir şekilde tahmin edebilir, doğru ve yanlış senaryolar belirlenip, izlenilecek yol haritası oluşturulabilir (Bruckner, ve diğerleri, 2012). Bu yaklaşımlar bina otomasyonu, enerji verimliliği, güvenlik, konfor ve bu sistemlerin esnekliğine kadar değişen farklı görevler için etkili bir şekilde kullanılabilir. Akıllı bina özelinde, yapay zekânın kullanıldığı farklı amaçlar Djenouri ve çalışma arkadaşları tarafından (2019), literatür taraması yapılarak gözden geçirilmiş ve taksonomisi yapılmıştır (bkz. Şekil 4.3.1.1.). Mevcut yapay zekâ yaklaşımları bina sakinlerini de içeren kullanıcı merkezli ve cihaz merkezli olarak iki bölüme ayrılmıştır. İnsan merkezli olan bu bölüm; 1) ikili doluluk bilgisinden (işgal edilen boş alana kadar) doluluk tahmini ve bina sakinlerinin cinsiyetlerinin belirlenmesine kadar olan tahminler ve tanımlamalar, 2) bina sakinlerinin aktivitelerinin tanınması, 3) tercihleri ve davranışı tahmin etme şeklinde belirtilmiştir. Enerji ve cihazlarla ilgili olan ikinci bölümde; 1) enerji profili ve talep tahmini, 2) cihaz profili ve arıza tespiti ve 3) sensörler üzerinden çıkarım şeklinde oluşturulmuştur.



Şekil 4.3.1.1. Akıllı binalarda yapay zekâ yaklaşımları (Djenouri, Laidi, Djenouri, & Balasingham, 2019)

Yukarıdaki şemada da görüldüğü üzere, yapay zekâ kullanımında farklı idealler üzerinden sistemler geliştirilmektedir. Firmalar tarafından yapılan veya akademik olarak yürütülen

çalışmalar incelendiğinde görülmektedir ki; bazı çalışmalar ana sistemlere eklenmekte, bazı çalışmalar ise yapay zekâ destekli bütün bir akıllı bina yönetim sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, Hagraş ve çalışma arkadaşlarının (2008) üzerinde çalıştığı ICE adlı akıllı enerji kontrol sistemi, internet üzerinden bir bina otomasyon yazılımı ile arayüz oluşturmaya izin veren bir donanım protokolüne sahiptir. Hibrit akıllı hesaplama teknikleri kullanarak binalardaki enerji tüketimini kontrol etmeyi sağlayan bu sistem iç mekân koşullarını tahmin ederken, hava durumundan ve çeşitli algoritmalarından yararlanmaktadır. Bu akıllı enerji kontrol sistemi, verimli bir ayarlama için, yapay sinir ağlarını ve genetik algoritmaları kullanarak aktüatörlerin başlangıç zamanları ve ayar noktalarını tahmin etmektedir. Bina otomasyon sistemleri için yapılmış başka bir yapay zekâ çalışması ise Dalamagkidis ve çalışma arkadaşları (2006) tarafından, Matlab ve Simulink ortamı kullanılarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada otomasyona bağlı kontrolörler geleneksel bir açma-kapama fonksiyonuna karşın, öğrenen ve bulanık mantık algoritmaları kullanan bir kontrolör ile karşılaştırılmaktadır. Bina yönetimi açısından sağladığı en büyük yarar, kullanıldıkları akıllı binanın karakteristiğine göre davranışlarını optimize etmek için yavaş yavaş adapte olma yetisine sahip olmasıdır. Ayrıca bu sistemde bina hakkında genel bilgi sahibi olan, önceden eğitilmiş kontrolörler oluşturmak da mümkündür.

Enerji tasarrufu odaklı yapılan çalışmalarda akıllı binalarda enerji verimliliğinin analizi giderek daha fazla ilgi görmektedir. Çünkü enerji kullanımı ile ilgili tahminler, binaların enerji yönetiminde kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda iklim verileri ve bina özelliklerine dayalı öngörü modelleme kullanılarak enerji tasarrufu için çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir (King & Perry, 2017). Bina sakinlerinin tüketim alışkanlıklarını öğrenebilme ve onların tüketim tahminlerini ortaya çıkarmada makine öğrenmesinden faydalanılmaktadır. Dolayısıyla akıllı binalarda enerji verimliliği sorununun ele alınmasında yapay zekâ önemli bir yere sahiptir. Fensel ve ekibi (2013), SESAME-S (Semantic smart metering services for energy efficient houses) isimli proje ile bina sakinlerinin enerji tüketimini kontrol etmesini sağlamak için enerji verimliliği hizmetlerinin tasarlanması ve değerlendirilmesi konusuna odaklanmışlardır. Birçok verinin toplanıp, enerji verileri üzerinden analizler yapılan bu sistemde; akıllı sayaçlar, çeşitli sensörler, aktüatörler, sanal olarak eklenebilen cihazlar ve nesnelerin interneti ile bağlanan diğer ekipmanlar birleşerek ana sistemi oluşturmaktadır. Akıllı bina araştırmalarının, enerji verimliliği dışındaki, temel hedeflerinden bir diğeri ise konfor seviyesini artırarak bina sakinlerinin günlük yaşam aktivitelerini kolaylaştırmaktır.

Bina içindeki birçok farklı servis insan konforunu sağlamak için bulunmaktadır. Bunlar arka plan müziğinden, ortam aydınlatma seviyesinden, ses veya jestlere dayalı gelişmiş kullanıcı arayüzlerinden, rutin etkinliklerin otomasyonuna dair kontrol elemanlarına kadar uzanan geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. İç mekân klima kontrolü ve akıllı termostatlar da bina sakinleri açısından iç mekândaki konfor şartlarını sağlayan önemli hizmetlerden biridir. Bu bağlamda Ahn ve çalışma arkadaşları (2017) iç mekân hava kalitesi, hava durumu ve hava kalitesini etkileyen diğer dış faktörleri analiz ederek, bu ölçümlerdeki örüntüleri gözlemlemeyi ve yakın geleceğin hava kalitesi tahminini yapmayı amaçlamışlardır. Ölçümleri periyodik olarak kaydeden sensörlerden oluşan bir mikroçip ile birlikte derin öğrenme kullanarak atmosferik değişiklikleri tahmin eden bir model geliştirmişlerdir.

Akademik araştırmaların sadece araştırma görevlileri tarafından değil, üniversitelerin kendi enstitülerince patentlerini aldıkları ve yürüttükleri bazı diğer yapay zekâlı akıllı bina sistemleri ile ilgili çalışmalar da bulunmaktadır. Örneğin; Washington State Üniversitesi tarafından geliştirilen CASAS isimli proje akıllı binalardaki üç önemli konuya odaklanmıştır. Genel konfor, yeşil yaşam ve sağlık üzerine yoğunlaşan bu sistemde; kullanıcılarının ve bina sakinlerinin fiziksel çevrelerinin durumu sensörler aracılığı ile izlenmektedir. Onların konforu, güvenliği ve üretkenliğini yapay zekâ algoritmalarıyla arttırmaya yönelik olan bu çalışma farklı araştırma grupları tarafından kullanılmaya ve geliştirilmeye açıktır (CASAS, 2018).

Georgia Institute of Technology Üniversitesinin geliştirdiği akıllı bina projesi ise dijital medya, eğlence, konfor, sağlık ve sürdürülebilirlik alanlarına odaklanmaktadır. AHRI (Aware Home Research Initiative) isimli bu proje akıllı zemin sensörleri, yardımcı robotlar gibi farklı sensör ve araçlar kullanmaktadır. Yeni teknolojilerin, kullanıcılarının yaşamlarını nasıl etkileyebileceğini araştırmak için tasarlanmıştır. Günümüzde apartman dairesi, villa ve çalışma laboratuvarı gibi farklı mekânlarda kullanılarak test edilmektedir (AHRI, 1998).

Florida Üniversitesi'nin mobil ve bilgi işlem laboratuvarı tarafından geliştirilen Gator Tech Akıllı Ev projesi, yaşlılar ve engelliler için özel olarak tasarlanmış programlanabilir bir mekândır. Projenin amacı, kullanıcılarına fiziksel dünya ile uzaktan izleme ve müdahale hizmetleri arasında eşleşmeler yapabilen yardımcı ortamlar yaratmaktır (Helal, ve diğerleri, 2005). Sağlık alanında geliştirilen bir diğer akıllı bina çalışması ise Kanada'daki Sherbrooke

Üniversitesinin Domus adlı araştırma projesidir. Üniversite kampüsünde 4-5 odalı bir apartmanda yer alan demo alanı çeşitli sensörler ve efektörler ile donatılmıştır. Alzheimer, şizofreni, demans ve diğer zihinsel eksikliklerden muzdarip insanlara yardımcı olabilmek için bilişsel yardım sistemlerin dışında, tıbbi izleme sistemleri de akıllı ev projesine dâhil edilmiştir (Bouchard, ve diğerleri, 2015)

Akıllı bina otomasyon sistemlerinin kontrolü ve yönetimi üzerine geliştirilmiş birçok farklı yapay zekâ çalışması bulunmaktadır. Bazı araştırmalar daha genel bir yaklaşım belirlerken, bazı çalışmalar yaşlı insanların bakımı, güvenlik ya da eğlence gibi daha özel senaryolar üzerinden araştırmalarını yürütmüşlerdir. Bütün bu çalışmaların birbirleri ile bütün olarak ya da öne çıkan yönlerinin entegre olarak çalışması konusunda Microsoft Research ekibinin yürüttüğü EasyLiving projesi, birçok farklı cihazın kullanıldığı akıllı binaların ve akıllı evlerin tutarlı kullanıcı deneyimine sahip olmasını amaçlamaktadır. Bu projede farklı cihazların birbiriyle uyumlu çalışmasına olanak sağlayan akıllı ortamlar için bir organizasyon şeması geliştirilmektedir (Brumitt, ve diğerleri, 2000).

### 3.3.2. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin interneti (Internet of Things, IoT), iletişim ve hesaplama yeteneklerini günlük olarak kullanılan nesnelere sorunsuz bir şekilde entegre etmeyi ve akıllı hizmetler sunmayı amaçlamaktadır. Bu hizmetlerin çoğu büyük ölçekli verileri işlemek ve hızlı hesaplamalar yapmak üzerine kurulmuştur. Bu sürecin sonucunda bina sakinlerinin ihtiyaçlarının otomatik hizmetler aracılığı ile sağlanması bina sakinlerinin konfor standartlarını yükseltmektedir. Kullanıcılarına daha rahat bir ortam sağlamayı amaçlayan bu akıllı cihazların önemli bir özelliği de bağlı olmasıdır. Bu amaçla kullanılan akıllı ve bağlı sözcükleri, nesnelerin interneti cihazlarını belirlemek için sık sık birbirlerinin yerine kullanılmaktadır. Fakat bir sistemin akıllı olması için bağlı olması gerekmektedir. Szilagy ve Wira'ya (2018) göre; akıllı bir termostatın, dışardaki yerel hava istasyonuna bağlanması, hava durumunu öğrenmesi, sensörlerden ev içi kullanım modelleri aracılığı ile çevresi hakkında bilgi sahibi olması gerekmektedir. Diğer bir yandan, bağlı olması onun akıllı olduğu anlamına gelmemektedir. Bu bağlamda, sıcaklık sensörü, termostata bağlı olmasına rağmen akıllı olmayabilir.

Nesnelerin interneti teknolojilerinin çok geniş bir alanda kullanımı görülmektedir. Akıllı binalardaki kullanımı genellikle, bina yönetim sistemlerinin bir uzantısı şeklinde olmaktadır. Akıllı binalara ekstra özellikler sağlayabilmekle birlikte, bina yönetim sistemleri olmayan binalar için ise kısmi “akıllılık” katabilme özelliklerine sahip bileşenler kullanılabilir. Bu bileşenlerin birçoğunun bulutla entegrasyon özelliği bulunmaktadır. Bulutla entegrasyon ise sisteme daha karmaşık işlemlerin yapılabilmesinin potansiyelini sağlamaktadır. Yeni özellikler ve algoritmalar güncellemeler ile eklenebilir ve uzaktan erişime imkân verilebilir. Amazon, Microsoft ve Google’ın bulut sunucuları kullanılarak altyapı maliyetlerinden kurtulan birçok girişimci firma için ise ürün geliştirmek kolaylaşmıştır. Bütün bu gelişmeler akıllı bina pazarının gelişmesine ve sistem seçeneklerinin artmasına katkı sağlayacaktır (Bajer, 2018). Hızla gelişen nesnelerin interneti ile ilgili teknolojiler Microsoft’a göre, evlere ve ofislere açılan bir kapı haline gelmektedir. Dolayısıyla, insanların yaşam ve çalışma biçimlerini de değiştirmektedir. Her gün kullanılan akıllı cihazların faydasının ötesinde, nesnelerin interneti, şirketlerin iş yapma biçiminde değişiklikler yaratmaktadır. Daha hızlı, akıllı, güvenli ve verimli olmalarını sağlamaktadır. Microsoft’un yaptığı anket çalışmasına göre, bu alanda çalıştıkları büyük firmaların %85’i nesnelerin interneti konusunda en az bir projeye sahip olduklarını belirtmişlerdir. %94’ü ise gelecek iki yıl içerisinde nesnelerin interneti cihazlarını aktif olarak kullanacağını belirtmişlerdir (Microsoft, 2019).

### 3.3.3. Sensörler

Sensörler, kullanıldıkları ortamdaki çevresel değerleri ölçen ve kontrol eden mekanik bileşenlerdir. Ortamdaki ışık, sıcaklık, nem, hareket gibi fiziksel değişiklikleri algılayarak, veri tabanı oluşturmak için gereken bilgileri elektrik sinyallerine dönüştürerek, bağlı oldukları ana sisteme iletirler. Güncel akıllı binalar birbirine bağlı cihazlardan oluşan bir ağı destekleyen, çok çeşitli nesnelerin interneti cihazları ve sensörler ile donatılmaktadır. Akıllı binaların, aktüatörlerin ve nesnelerin interneti cihazlarının birçok farklı veriyi toplamasında sensörlerden yararlanılmaktadır. İlgili teknolojilerin hızlı gelişimi ve daha verimli enerji tüketimi sayesinde akıllı binalarda altyapıya entegre edilmiş veya kullanıcılar tarafından giyilebilen farklı sensör türleri geliştirilmiştir. Bu sayede bina sakinlerinin günlük yaşam aktiviteleri hakkında daha etkin ve hızlı bağlamsal bilgiler toplamak kolaylaşmıştır. Binanın özelliklerine göre ihtiyaç duyulan farklı amaçlarla üretilmiş sensörler bulunmaktadır.

### ***Ortam Sensörleri***

Akıllı binalardaki insan davranışlarını izlemek için çevresel sensörler önemli bilgiler sağlayabilmektedir. Bu bilgiler için ortamda bulunan RFID (Radyo teknolojisi ile nesnelere tanıma) teknolojisi ve kameralar ana bileşenleri oluşturmaktadır. Hareket sensörleri, insanların buldukları bölgeleri tespit edebilmektedir. IR (kızılötesi) sensörler güvenlik kameraları üzerinde gece görüşü için bulunurken, hareket sensörü ile birlikte de varlık tespiti için kullanılabilir. Bina sakinlerinin konumlarını izlemek için, koltuklara ve yataklara basınç sensörleri yerleştirilebilir. Kullanıcıların nesnelere yaptığı eylemleri takip etmek için, kontrol anahtarları kapılara, dolap kapaklarına yerleştirilebilir. Akıllı binalarda kullanılan diğer bir çevresel sensör ise ışık sensörleridir. Ortamdaki ışık yoğunluğunu ve Kelvin değerini ölçmek için kullanılabilir. Bu sayede, aydınlatmanın hava şartlarına ve günün saatlerine göre özel olarak ayarlanması sağlanabilmektedir. Elektrikli cihazları kontrol etmek ve akıllı binaların enerji giderlerini cihaz bazlı ölçmek için güç sensörleri kullanılmaktadır (Qolomany, ve diğerleri, 2019). Akıllı binalardaki güvenlik ve alarm sistemleri alanında ise sensörler kritik öneme sahiptir. Güvenlik alanında genellikle kameralar ve hareket sensörleri kullanılmaktadır. Yapay zekânın entegre edildiği akıllı binalarda, güvenlik sistemlerinde kartlı giriş yerine yüz tanıma sistemleri kullanılabilir. Bina sakinlerinin güvenliği açısından kullanılan sistemlerden bir diğeri ise yangın algılama dedektörleridir. Duman dedektörleri ve ısı dedektörleri sistemin alarma geçmesini ve doğru müdahaleyi sağlamaktadır.

### ***İklim Sensörleri***

Akıllı binalarda konfor standartlarının sağlanmasında, iklimlendirme hizmetleri önem teşkil etmektedir. İstenilen sıcaklığın karşılanmasının dışında bir akıllı binada belirli bir nem, basınç, hava hareketi ve hava kalitesi değerleri de konforu sağlayan diğer değişkenleri oluşturmaktadır. Bu bağlamda ölçülmesi beklenen her değer için bir sensör ihtiyacı gerekmektedir. Örneğin CO2 sensörü, temiz hava ihtiyacının bilgisini verirken, çeşitli VOC sensörleri, havadaki uçucu organik bileşenlerin ölçümünü yaparak, havanın ne kadar filtrelenme ihtiyacı olup olmadığını belirlemesine yardımcı olmaktadır. Bunun dışında akıllı binaların enerji yükünün büyük çoğunluğunu ısıtma ve soğutma sistemleri getirmektedir. Dolayısıyla ile doğru yerleştirilmiş hassas sıcaklık ve nem sensörlerinin kullanılması doğru ısıtma ve soğutma için gerekli bilgiyi, bina otomasyon sistemlerine aktarmada önemli bir yer tutmaktadır.

### ***Giyilebilir Sensörler ve Biyo-sensörler***

Bu sensörler doğrudan veya dolaylı olarak kullanıcının vücuduna bağlanır. Küçük boyutları ile kıyafetlere, kol saatlerine, gözlüklere, kemerlere ve ayakkabılara entegre edilebilmektedirler. İvmeölçerler, jiroskoplar, EKG (elektrokardiyogram), kan basıncı, kan şekeri, kandaki oksijen oranı ve manyetik sensörler gibi çeşitli sensörler sayesinde; insanın duruşunu, hareketini, yaşam faaliyetlerini izlemeyi amaçlayan bu sensörler (Yılmaz, ve diğerleri, 2010), akıllı bina yönetim sistemleri ile birlikte çalışarak, sağlık sektöründe önemli bir fayda sağlayabilirler.

## 4. BAZI AKILLI BİNA ÖRNEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, yurt içi ve yurt dışından seçilen akıllı bina örneklerinin performansları değerlendirilecektir. Performanslarının karşılaştırılması ve incelenmesi için seçilen bu örnekler, birbirleriyle kıyaslanabilmeleri için her biri yüksek katlı ofis binası olacak şekilde belirlenmiştir. Aynı zamanda akıllı bina örneklerine geniş bir açıdan bakabilmek için, farklı özellikleri ön plana çıkan örnekler üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Sabancı Center'ın Türkiye'deki ilk akıllı bina olmasından öte günümüz teknolojileriyle olan adaptasyonu önemsenmiştir. Birbirlerine çok yakın mesafede bulunan Tekfen Tower ise, Sabancı Center'a göre yaklaşık 10 sene daha yeni olmasına rağmen, sistemlerin güncel tutulması konusunda onun kadar proaktif tavır alamamıştır. Kanada'da bulunan Manitoba Hydro Place ise sürdürülebilirlik özellikleri ile ön plana çıkarken, Amsterdam'da bulunan en güncel akıllı bina örneklerinden biri olan The Edge, yapay zekâ destekli otomasyon sistemleri bulunması sebebiyle seçilmiştir. Seçilen bu akıllı binaların değerlendirilmesi yapılmadan önce, genel özellikleriyle anlatımı sağlanacaktır. Daha sonra örneklerin "akıllılık" seviyelerini incelemek için literatürden sağlanan bilgiler ışığında analiz kriterleri belirlenecektir. Oluşturulan akıllı bina değerlendirme kriterleri üzerinden örnekler incelenecektir. Bu bağlamda akıllı bina terminolojisinin bugünün pratiğinde kullanımı ve yapay zekâ ile ilişkileri üzerinde durulacaktır. İncelenen yüksek katlı akıllı ofis binaları hakkında edinilen bilgiler; akademik kaynaklara, idari personel yorumlarına, gözlemlere ve akıllı bina değerlendirme kuruluşlarının sunduğu bilgilere dayanılarak oluşturulmuştur. Örnek analizleri yapılırken bu bilgilerden yararlanılacaktır.

### 4.1. AKILLI BİNA ÖRNEKLERİ

#### 4.1.1. The Edge - Deloitte, Amsterdam (Hollanda) — 2015, PLP Architecture

The Edge, Amsterdam'ın Zuidas finansal bölgesinde yer alan 40.000 m<sup>2</sup> alana sahip bir ofis binasıdır. Bina, dünya çapında bir finans firması olan Deloitte firması için tasarlanmıştır. Proje, Deloitte'in çalışanlarını şehirdeki birçok farklı binadan, tek bir merkeze toplaması amacıyla geliştirilmiş ve Deloitte'in dijital çağa geçişine ayak uydurulabilecek bir "akıllı bina" olarak tasarlanmıştır. The Edge, BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)

sertifikasyon standartlarına göre %98,4'lük derecesiyle en yüksek skoru elde etmiştir. Binanın genel konsepti ve kullandığı güncel teknolojiler ile akıllı bina standartlarını yükseltmeye çalışmıştır (Breeam, 2018).



Fotoğraf 5.1.1.1. The Edge, Amsterdam, Dış Görünüm. Tilleman, R. (2015). *The Edge*. [Fotoğraf].

PLP Architecture tarafından mimarisi tasarlanan The Edge için modern çalışma alanları yaratmak için binanın avlusuna odaklanılmıştır. Bu avlu, binanın en önemli mekânsal bileşenini oluştururken, kullanıcıların konforuna ve üretkenliğine öncelik verilerek tasarlanmıştır. Binanın kuzey cephesinde bulunan bu camlarla çevrili avlu, gün ışığından gün boyu yararlanmayı sağlamaktadır.

Bu bina kullandığı teknolojiler ile hem insanların çalışma şekillerini hem de çalışma alanlarını farklılaştırmaktadır. Enerji verimliliğin üst düzeye çıkarmak için nesnelerin internetini yoğun olarak kullanan Edge'de, kullanıcılar binaya geldiklerinde arabaları tanınır ve uygun bir park yerine yönlendirilirler. Kişisel masaları olmayan çalışanlar, binanın herhangi bir yerinde çalışma esnekliğine sahiptir. The Edge'e özel bir mobil uygulama yardımıyla birbirlerini bulabilir, tamamen işlerine yoğunlaşabilecekleri odaklanma odalarında ya da avluda olmak üzere, çeşitli sosyalleşme düzeylerinde çalışabilirler. Çalışma ortamlarının sıcaklık ve ışık seviyesi tercihlerini ayarlayabilirler. Aynı zamanda bu

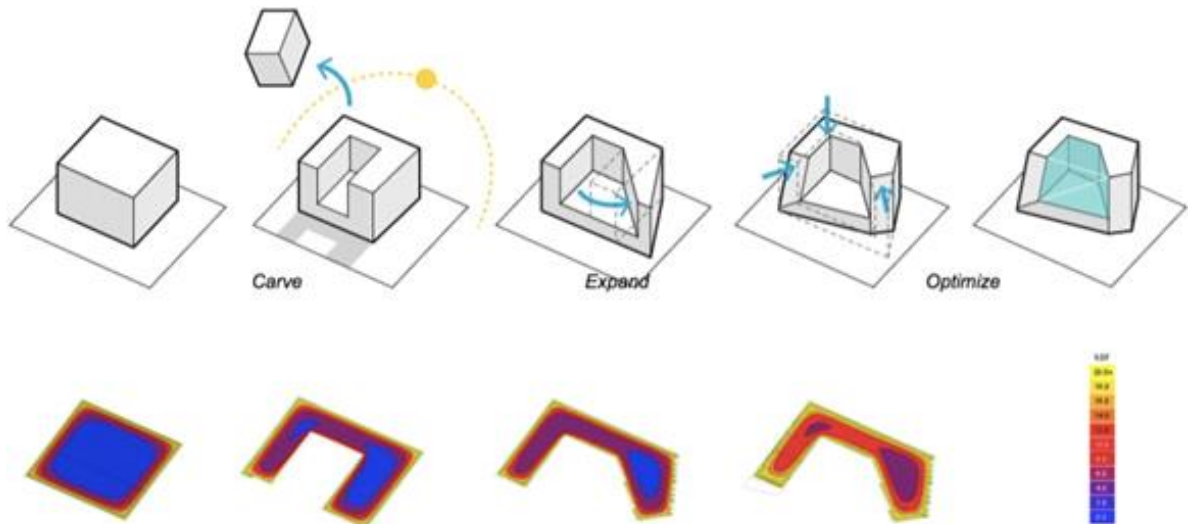
uygulama ile çalışanlar bina içinde ne kadar enerji harcadıklarını da takip edebilmektedirler (Randall, 2015).



Fotoğraf 5.1.1.2. The Edge, Amsterdam, İç Görünüm (Avlu). Tilleman, R. (2015). *The Edge*. [Fotoğraf].

### ***Cepheler ve Yönelim***

Doğru bir iklimlendirme ve enerji performansı için güneşten maksimum şekilde yararlanmak gerekmektedir ve binanın coğrafik konumuna göre cephelerin yönlendirilmesi bilgisayar ortamında simüle edilerek oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5.1.1.1.). Bu sayede iç ortam sıcaklığını etkileyen güneş ışınları olmadan, aydınlıktan gün boyunca fayda sağlanmıştır. Kuzeye cephesi olan 15 katlı bir avlu, doğal gün ışığının ofis alanlarının çoğuna ulaşmasını izin verirken, enerji kullanımını hem yazın hem de kışın azaltan bir bariyer olarak görev yapmaktadır. Güneye bakan cephelerin küçük cam açıklıkları sayesinde, kışın daha çok güneş alınmasına, yazın ise daha çok gölge oluşması sağlanmıştır (Randall, 2015).



Şekil 5.1.1.1. Güneşe Göre Bina Oryantasyonu. PLP Architecture. (2015). *The Edge*. [Şekil].

### ***Akıllı Aydınlatma ve Sensörler***

Philips ile birlikte çalışılarak ortaya çıkan bu güncel standartlardaki aydınlatma sisteminde 6000 den fazla led aydınlatma kullanılmıştır ve metrekareye düşen 3.9Watt'lık enerji harcaması, ofis binalarındaki ortalama 8 W/m<sup>2</sup> değere kıyasla önemli bir avantaj yaratmaktadır. Ethernet üzerinden çalışan bu led aydınlatma sistemine bağlı yaklaşık 30bin adet sensör eşlik etmektedir. Bu sensörler ile ışık yoğunluğu (Lumen), nem, sıcaklık, hareket, hava kalitesi gibi değerler ölçülebilmektedir. Bu sayede enerji tüketimi otomatik olarak ayarlanabilmektedir. Bireysel çalışma alanlarındaki iklimlendirme koşulları, sisteme entegre mobil uygulama ile kontrol edildiği gibi, hareket sensörü sayesinde ise gerekli

olmadığı durumlarda enerji tüketimini düşürmektedir. Binanın her yerine dağıtılmış bu sensörler ağı ile enerji ihtiyacını düşürmek için nerdeyse her veri kullanılmaktadır (Randall, 2015). Örneğin, yemek artıklarının önüne geçmek için, bina içindeki hareket sensörlerinden alınan bilgiye ve gerçek zamanlı tarihsel veri, trafik, hava durumu verileri kullanılarak öğle yemeği çıkmaktadır. Çalışanlar tarafından kullanılmayan odaların tekrar temizliği yapılmaması ya da kâğıt ihtiyacı olan yazıcıların bilgi vermesi nesnelere interneti kullanımının sağladığı yararlarından olmuştur (Breeam, 2018).

### ***Yağmur Suyu Kullanımı***

The Edge'in çatısında toplanan yağmur suları avlu içerisindeki yeşil alanlarda, bina çevresindeki yeşil alanlarda ve bina içerisindeki tuvaletlerde sifon için kullanılır.

### ***Güneş Panelleri***

The Edge, çatısında bulunan 1086m<sup>2</sup> alana yayılmış güneş panelleri, güney cephesinde bulunan 720 m<sup>2</sup>'lik güneş paneli ve Amsterdam Üniversitesi'nde bulunan 4100 m<sup>2</sup> 'lik güneş panel alanları ile toplamda 5900 m<sup>2</sup>'lik güneş paneli ağından beslenmektedir (Randall, 2015).

### ***Enerjinin Yeniden Kullanımı***

Kuzey cephedeki geniş avlu, çalışma alanları ile dışarıyı arasında bir tampon görevi görmektedir. Ofislerden gelen hava, avluda tekrar kullanılır ve yükselerek dışarıya atılır. Dışarıya atılırken, tekrar bir ısı eşanjöründen geçerek, ısı tekrar kullanılır (Breeam, 2018).

Güneş panellerinde üretilen fazla elektrik, yer altında bulunan ısı pompasıyla kombine edilmiş, sıcak ve soğuk kuyu aküferlerine bağlanmaktadır. Bu sayede hem üretilen elektrik fazlalığı depolanmış olur hem de binanın ısıtılması ve soğutulması için gereken bütün enerji sağlanmış olur (Randall, 2015).

Edge, elektrik kullanımını açısından kendi kendine yetebilen bir binadır. Amsterdam üniversitesinde ek elektrik kaynaklarıyla birlikte kendi enerji kullanımının %102'sine kadar enerji üretebilmektedir. Bu sayede, iklimlendirme ve aydınlatmanın dışında, binadaki tüm mobil cihazlar ve elektrikli araçlar için yeterli elektrik üretilmektedir (Randall, 2015).

#### 4.1.2. Manitoba Hydro Place, Winnipeg (Kanada) — 2009, KPMB Architects

Manitoba Hydro Place olarak adlandırılan yeni genel merkez binası, Manitoba Eyaleti, Winnipeg şehir merkezinde bulunan yeni nesil sürdürülebilir yüksek katlı bir ofis kulesidir. 22 katlı 115 metre yüksekliğindeki bu binanın, 18 katlı kısmında 2.000 iş istasyonu bulunmaktadır. Alt giriş kısmı ise 3 kattan oluşmakta ve mağazalar ile birlikte halka açık bir galeri boşluğu içermektedir. Elektro-mekanik ve otopark alanları ile birlikte binanın toplam alanı 64.500 m<sup>2</sup>'dir (Kuwabara, ve diğerleri, 2011).



Fotoğraf 5.1.2.1. Manitoba Hydro Place, Kanada. KPMB Architects. (2009). *Manitoba Hydro Place*. [Fotoğraf].

Manitoba Hydro, Kanada'nın en büyük enerji şirketlerinden biridir. Yerel belediyeye bağlı bulunan ve alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışan bu şirket termal enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biomass ve gaz tribünü (combustion turbine) sistemlerinden ürettiği elektriğin yanı sıra, enerji kazancını çoğunlukla hidroelektrik santrallerinden sağlayan, elektrik sağlayıcılarından birisidir.

Manitoba Hydro Place, Kuwabara Payne McKenna Blumberg (KPMB) Mimarları, Smith Carter Mimarları ve Mühendisleri ve Transsolar isimli iklimlendirme firmasını da içeren bir konsorsiyum tarafından tasarlanmıştır. Projenin toplam maliyeti 278 milyon dolar olarak gerçekleştirilmiştir. Manitoba Hydro Place, Amerikan Çevre Enstitüsü Komitesi tarafından 2010 yılında seçilen ilk on yeşil projede yer almıştır (ArchDaily, 2009).

### ***Tasarımı***

Manitoba Hydro Place, bölgeye özgü sürdürülebilir tasarıma sahip bir yapıdadır. Kulenin yerleşimi, doğal kaynaklardan ve çevredeki pasif enerji özelliklerinden en iyi şekilde yararlanmak için analiz edilmiştir. İki bloktan oluşan kuleler, kuzeye bakan yüzeyi en aza indirmek için binanın kuzey ucunda “A” harfi şeklinde birbiri ile kesişmiştir. Bu kesişim noktasında bulunan 115 metre yüksekliğindeki ikonik kule, güneş bacası olarak pasif havalandırma stratejisini sürdürmek amacıyla inşa edilmiştir. Ayrıca, bu güneş bacası binaya kentsel bir simge kazandırması açısından da önemli bir yere sahiptir. Binanın güney cephesi, güneşin ve rüzgârın kullanımını arttırmak için çok daha geniş bir yüzey oluşturmaktadır. Ayrıca bu cephede bulunan kış bahçesi ve içerisindeki 24 metre uzunluğundaki yapay şelale ise mevsimlere göre binanın nem dengesini sağlamak için hem bir tasarım ve hem de enerji verimliliği unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır.

### ***Yapım aşaması ve malzeme***

Manitoba Hydro Place inşa edilmeden önce, bu bölgede bulunan yapılardaki malzemeler, tekrar kullanılmak üzere binalardan sökülüştür. Ahşapların da dâhil olduğu geri dönüştürülebilir malzemelerin çoğu geri dönüşüm ve israfı önlemek amaçlı ayrıştırılmıştır (Prairie Architects Inc, 2009). Binanın malzeme paleti geliştirilirken; ürün dayanıklılığı, bakım maliyetleri, bölgesel uygunluk, insan sağlığı gibi faktörler dikkate alınmıştır. Binanın yapımında kullanılacak malzeme seçimlerinde, o malzemenin üretimden uygulanmasına kadar harcanacak enerji hesaplanmıştır ve buna göre seçimler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bütün malzemeler düşük “uçucu organik bileşkerler” (Volatile Organic Compounds, VOC) standartlarına uygun olarak seçilmiştir. Bu sayede güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamı sağlanmaya çalışılmıştır (Prairie Architects Inc, 2009).

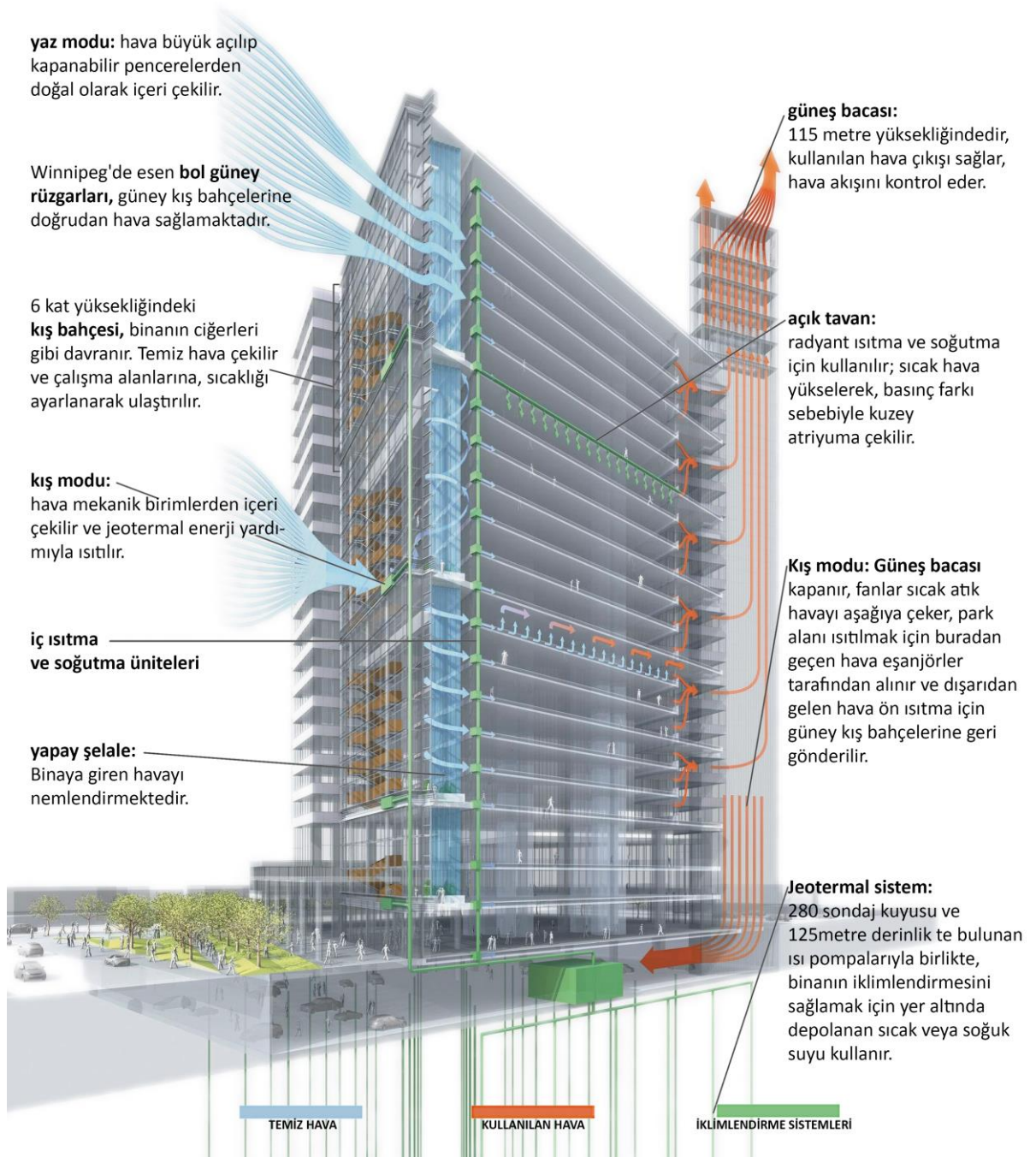
Manitoba Hydro Place, eski ismi C-2000 olan ve binaların teknik gerekliliklerinden enerji performanslarına, çevresel etkilerden iç mekân işlevselliklerine kadar belli standartları

uygulayan “Entegre Tasarım Süreci” (Integrated Design Process, IDP) kullanılarak inşa edilmiştir. Kanada merkezli bu girişimde, müşteri normalden daha aktif bir rol oynamaktadır. Bu süreçte mimar, form belirleyiciden çok, takım lideri olarak davranmaktadır. İnşaat, mekanik ve elektrik mühendisleri, erken tasarım sürecine dâhil olurlar. Ayrıca, ekip her zaman bir enerji uzmanı içermektedir (Larsson, 2004). IDP’nin sağladığı bu 360 derecelik yaklaşım ile maliyet hedefleri aşılmadan şehre imza niteliğinde bir bina kazandırılmıştır. Yeri belirlenirken ise kenti canlandıracak olması göz önünde bulundurulmuştur. Otobüs güzergâhlarının %95’inin 360 Portage Bulvarı’ndan geçmesi de ulaşım açısından önemli bir ölçüt olmuştur (ArchDaily, 2009).

### ***Cephe***

Binada, giydirme cephe uygulaması yapılmıştır. En dışta ultra temiz (low-iron glass) çift camdan oluşan bir cephe, ardından 1 metrelik boşluk ve iç yüzeyde ise tek camdan oluşan başka bir cephe oluşturulmuştur. Isıtma ihtiyacındaki azalma, büyük ölçüde bu yüksek performanslı çift cephe cam perde duvar tasarım sayesinde başarılmıştır. Winnipeg’in zorlu hava koşullarına rağmen kullanılan bu cam dış cephe ironik bir şekilde mantıklı bir tercih olmaktadır. Çünkü genellikle Kanada’nın bu bölgesinde hava çok soğuk olduğunda, hava aynı zamanda açık ve güneşli olmaktadır. Bu da, güneş enerjisi kazanımları için ideal bir ortam oluşturmaktadır. Dış cephe soğuğu tamamen önlemeyi amaçlarken, iç cam cephe ofislerdeki doğal havalandırma için kullanılmaktadır. Ofislerdeki döşemelerin altında bulunan zeminden ısıtma sistemi, jeotermal enerji ile sağlanmaktadır. İklimlendirmede, istenilen sıcaklığa ulaşıldığında iç perde cam duvarlarında bulunan panjurlar otomatik olarak açılarak doğal havalandırma ve sıcaklık kontrolü sağlanabilmektedir (ArchDaily, 2009).

Manitoba Hydro Place’da kaliteli bir iç mekân elde etmek için gereken yeterli günışığı miktarı, ölçülü bir şekilde kullanılan cam cephe ile sağlanmıştır. Doğu ve Batı cephelerindeki çift katmanlı cephede, mevsimlere uygun çalışma senaryoları sağlanmıştır. Kışın, cepheler sıkıca kapılarak güneş kolektörü görevi görmektedir. Aktif ısıtmanın yardımı olmadan, dış cephe ve iç cephe arasındaki kalan boşluklar 20°C ‘ye ulaşmaktadır. Bu sayede ısı kayıpları önemli ölçüde önlenmektedir. Yaz aylarında ise dış cephedeki çift camlı yüzlerce açılabilir pencereler açılarak, iç cephe ve dış cephe arasında rüzgâr dolaşımını ve ısı iletimini sağlamaktadırlar (Kuwabara, ve diğerleri, 2011).

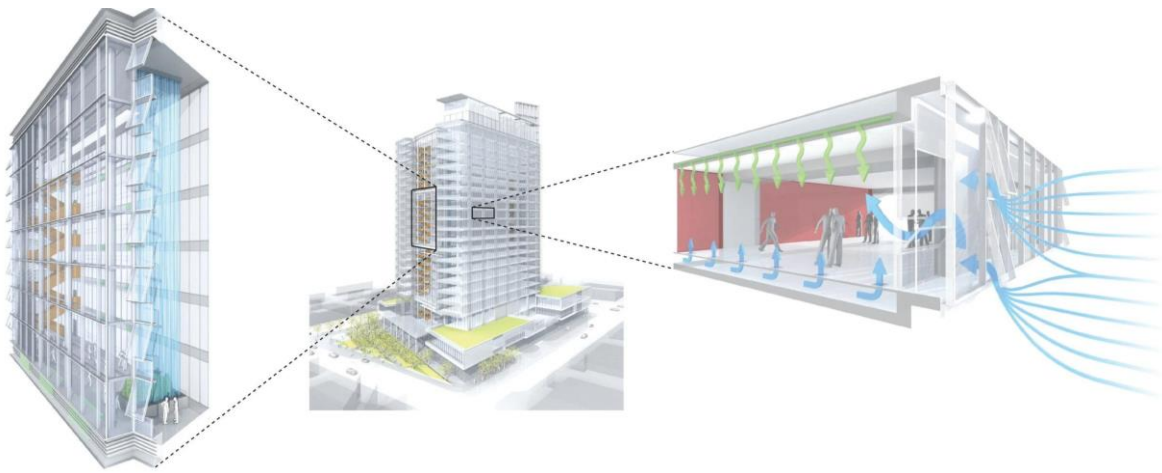


Şekil 5.1.2.1. Manitoba Hydro Place, Kanada. KPMB Architects. (2009). Manitoba Hydro Place. [Şekil]

### **Sürdürülebilirlik**

Manitoba Hydro'nun ortalama bir ofis binasına göre yaklaşık %70 daha az enerji kullandığı belirtilmektedir. Mayıs 2012'de Canada Green Building Council tarafından LEED Platin (Leadership in Energy and Environmental Design, Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik) sertifikasına uygun görülmüştür (Prairie Architects Inc, 2009). Winnipeg'in şehir merkezinde yıl boyunca -35°C ile 34°C arasında değişen sıcaklıklarla zorlu bir iklim

hâkimdir. 65.000 m<sup>2</sup> 'lik bu ofis kulesinin amacı m<sup>2</sup> 'de 100kWh enerji harcamak olarak belirlenmiştir ki; sıcaklık değerleri daha az değişken olan Kuzey Amerika'da yer alan benzer büyüklükte bir ofis kulesi 400kWh/m<sup>2</sup> enerji harcamaktadır (ArchDaily, 2009). Bu hedefe ulaşmak için ise IDP süreci geliştirilerek, binanın konumu ve şekli belirlenirken bile, enerji verimliliği gözetilmektedir. Kanada Devleti'nin desteği ile geliştirilen EE4 adlı yazılım ile bölgesel sıcaklık, rüzgâr ve güneş gibi faktörler detaylı bir şekilde simüle edilmiştir. Daha sonra elde edilen veriler doğrultusunda bina sonra formu kesinleştirilmiştir.



Şekil 5.1.2.2. Manitoba Hydro Place, Kanada. KPMB Architects. (2009). *Manitoba Hydro Place*. [Şekil]

Başlıca diğer sürdürülebilirlik özellikleri ise şöyledir:

- o Bina'nın 3 ve 6 katlı atriyumları; güneş kolektörleri, hava eşanjörleri, hava kanalları gibi bir sürü farklı işleve sahiptirler.
- o Güneye bakan cephedeki kış bahçeleri ılık havanın içeri girmesini sağlamaktadır.
- o Güneş bacasının da yardımıyla sağlanan doğal ve pasif havalandırma sistemi, basınçlı hava dolaşımı sistemini en aza indirger.
- o Çift kat olarak inşa edilmiş cephelerin iç duvarlarındaki açılır pencereler, doğal havalandırmaya katkıda bulunur.
- o Yüksek tavanlar sayesinde, gün ışığı alımı artırılarak, doğal aydınlatma sayesinde, elektrik tasarrufu sağlanmaktadır.
- o Enerji tasarruflu aydınlatma elemanları, pompalar ve aksesuarlar kullanılmaktadır.
- o Kapalı devre olarak çalışan yeraltı jeotermal destekli ısı pompası ile bina kışın ısıtılmakta ve yazın soğutulmaktadır (Kuwabara, ve diğerleri, 2011).

#### 4.1.3. Sabancı Center, İstanbul (Türkiye) — 1993, Haluk Tümay & Ayhan Böke

Sabancı Center Türkiye'nin ilk akıllı binası olup, İstanbul - Levent mevkiinde bulunan ticari bir ofis yapısındadır. Şirketlerinin genel müdürlüklerinin ve idari merkezlerinin toplandığı kulelerin dışında; şube binası, konferans salonları ve 5 katlı bodrumda ise otopark, tesisat, kazan dairesi, kafeler ve bilgisayar merkezleri bulunmaktadır (Aydemir, ve diğerleri, 1992).

Toplam alanın 107.000m<sup>2</sup> olan Sabancı Center, iki ayrı kuleden oluşmaktadır. Haluk Tümay ve Ayhan Böke tarafından 1988 ve 1993 yılları arasında tasarlanmıştır. 39 katlı kule Akbank genel merkezi olarak kullanılırken diğer 34 katlı kule ise Sabancı Holding genel merkezi olarak kullanılmaktadır (Sabancı Topluluğu Sürdürülebilirlik Raporu, 2015).

Ofis düzeni, genelde açık ofisler şeklinde düşünülmüştür. Binanın iç mimari projesinde verilen ana kararlardan biri, ofis mekânlarından maksimum verimi almak, görsel ve sosyal ilişkinin devamını sağlamak amacıyla bağımsız kuleler ayrı ayrı ele alınarak tasarlanıp ve detaylandırılmıştır. Binanın altı yapısı bu çalışma birimleri ve kapalı ofislerin olası değişikliklere göre minimum tadilatlar yapılacak şekilde planlanmıştır. Bununla birlikte, Holding ve Akbank Kulesi'nde, yönetim kurulu üyeleri, genel müdürler ve benzeri kadrolar için bağımsız, birbirinden farklı ancak tek bir mimari ve dekorasyon özelliği taşıyan bir tasarım yapılmıştır (Aydemir, ve diğerleri, 1992).

Sabancı Center inşa edilirken, hem fonksiyonel olarak karma yapıdadır hem de kullanılan malzemeler açısından geniş bir yelpazeye sahiptir. Karma strüktür sistemi ile inşa edilen binada beton ve çelik kullanılmıştır. Cephe kaplamasında ise cam ve alüminyum tercih edilmiştir (Sabancı Topluluğu Sürdürülebilirlik Raporu, 2015). Cephelerde yansıtma özelliği bulunan düşük emisyonlu (Low-E) camlar tercih edilmiştir. Doğal havalandırmaya izin vermeyen dış cephe, doğal aydınlatmayı %100 olarak sağlamaktadır. Lokal ürün ve malzemelerin yoğunluklu olarak kullanıldığı bu binada geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılmamıştır. Bina içi geri dönüşüm ise özel bir firma tarafından yürütülmektedir. Yağmursuyu geri dönüşümü, rüzgârgülü ya da güneş paneli gibi elektrik üreten sistemler de entegre edilmemiştir (Mutdoğan & Wong, 2011).



Fotoğraf 5.1.3.1. Sabancı Center, İstanbul

İnşa edildiği tarihte enerji verimliliği kavramı ya da enerji verimlilik sertifikaları pek önemsenmediğinden dolayı, yakın zamanda inşası tamamlanan diğer akıllı binalara kıyasla eksikleri bulunmaktadır. Kullanılan otomasyon sistemleri, cihazların çalışma saatleri kontrolü için kullanılmıştır. O yıllarda, profesyonel anlamda akıllı bina yönetimi bilinmediğinden dolayı, binayı yönetmek üzere işletme müdürü, Rockefeller Center'dan getirilmiştir (Çizer, 2016).

Binanın 1993 yılında işletmeye alınmasından sonra, 1999 yılında enerji verimliliğine odaklanarak proje hatalarının düzeltilmesine ve operasyonel iyileştirmelere başlanmış ve kesintisiz bir şekilde devam edilmiştir. Belirli periyotlarda enerji tüketimi analizi ve ara

değerlendirme analizi, bina içindeki tüketim dağılımının ve çalışma döneminde meydana gelen değişikliklerin karşılaştırması yapılarak enerji tüketim analizleri incelenmiştir (Sabancı Topluluğu Sürdürülebilirlik Raporu, 2015).

Günümüze kadar devam eden bu süreçte, otomasyon sistemleri yenilenmiştir. Verimliliğin artırılması üzerine odaklanan yeni projeler ile bir dizi köklü değişiklikler yapılmıştır. Bu süreçte; kullanıcı dostu fonksiyonel değişiklikler, teknik personelin müdahalesini azaltacak optimizasyon ve otomasyonlar, sistemin tümüne hâkimiyet ve farklı alanlardaki cihazların aynı anda izlenebilmesi, enerji takibi, yeni otomasyon sistemleri ve yeni sensörlerin eklenmesi gibi değişiklikler yapılmıştır (Çizer E, 2015).

Sabancı Center'da inşa edildiği tarihte, binanın otomasyon sisteminde kontrol edilen nokta sayısı 6400 adet iken tasarrufa yönelik çalışmalar dâhilinde, 2011 yılında 12200 adet noktaya çıkarılmıştır (Sabancı Topluluğu Sürdürülebilirlik Raporu, 2015).

Önceki deneyime dayalı olarak, otomasyon sistemi işletimi, ekran tasarımı ve kullanımı, herhangi bir yerden danışmadan, sistemi dâhili kaynaklardan, ekran yoğun bilgisinden takip edebilme kabiliyeti sağlanmıştır. Müşteri memnuniyetini sağlamak için operasyon, işletme ve teknik servis için kullanılacak iş gücünü azaltmak amacıyla, bir otomasyon sistemi ayrı ayrı tasarlanmış ve binanın kullanım ihtiyacına göre yeniden optimize edilmiştir (Çizer E, 2015).

2015 yılındaki tüketim değerleri ile ilk yıllardaki enerji tüketim değerlerine bakıldığında 20 yılı aşkın süre geçmesine rağmen, önemli yol kat edilmiştir. Sabancı Holding genel merkez kulesinin verilerini incelediğimizde, yıllara göre artan elektrik ihtiyacına rağmen ilk tüketim yılına oranla %31,8'lik bir tasarruf sağlanmıştır. Su tüketiminde ise %40,6'lık oranda bir düşüş elde edilmiştir. Doğalgaz tüketimini, ilk yıllarla kıyasladığımızda %60'lık bir tasarruf görülmektedir. Enerji ihtiyaçlarındaki bu kazanımlar, ürünlerdeki ve otomasyon sistemlerindeki yenilemelerin, verimliliğe katkı sağladığını açıkça göstermektedir (Çizer E, 2015).

#### **4.1.4. Tekfen Tower, İstanbul (Türkiye) — 2002, Swanke Hayden Connell Architects**

Tekfen Tower, İstanbul'un Büyükdere Caddesinde, Levent bölgesinde yer alan toplam 82.000 m<sup>2</sup> alana sahip bir ofis binasıdır. Mimari projesi Swanke Hayden Connell Mimarlık tarafından yapılan bina Tekfen Holding için inşa edilmiştir. Aynı zamanda birçok farklı sektörden firma tarafından ofis ve genel merkez olarak kullanılan binada 33.000 m<sup>2</sup> ofis olarak planlanmıştır. Bunlar dışında binanın dikdörtgen şeklinde baza katı mevcuttur. Burada sergi alanları, konferans salonu, kafe, spor salonu, kapalı otopark ve çok amaçlı salonlar bulunmaktadır. Bu baza katların üzerinde ise açık teras bulunmaktadır. Ekim 2003'te açılan Tekfen Tower, toplamda 26 kattan oluşmaktadır ve 118 metre yüksekliğindedir. 7 bodrum katı, 22 katı ofis, 3 katı servis ve mekanik katı, çatı katı ise teras olarak kullanılmaktadır.

Proje tasarımında, hem Türkiye, hem de uluslararası ofis binası standartları gözden geçirilmiştir. Bu bağlamda, yüksek standartlarda gereksinimlerin karşılanması amaçlanan bir ofis kulesi tasarlanmaya çalışılmıştır. Katların ikiye bölünebilirliği ile ofis alanı farklı ihtiyaçlara cevap verecek esnekliğe kavuşmuştur. Bunun dışında özellikle teknik altyapıya önem verilmiş ve gelecek odaklı tasarım yapılmıştır (Swanke Hayden Connell Mimarlık, 2003).



Fotoğraf 5.1.4.1. Tekfen Tower, İstanbul

Yapı betonarme olarak inşa edilmiştir. Cephelerinin büyük kısmında granit kaplama kullanılmıştır. Yüksek katlara çıkıldıkça, cam kaplamalı cepheler tercih edilmiştir. Kullanılan camlar 60mm çift cam reflekte olarak kullanılmıştır ve camlar arasında 12mm hava boşluğu vardır. Bu sayede gün ışığını alırken, aynı zamanda iç ısısını da koruyabilmektedir. İklimlendirme sistemi olarak, yüksek verimi nedeniyle, VAV ile donatılmıştır. Her hacmin kendi gereken ihtiyacına göre sensörlerden sağlanan bilgiler doğrultusunda oksijen miktarı, hava kalitesi ve ortam sıcaklığı ayarlanmaktadır. Kapalı devre kamera sistemlerinin yanında, güvenliği arttırmak amacıyla giriş algılama sistemi bulunmaktadır (Mangan, 2006). Bütün giriş ve çıkışlar binadaki diğer sistemler gibi bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir. Tek bir merkez tarafından yönetilen Tekfen

Tower'da tüm mekanik sistemler, yangın alarm ve anons sistemleri ve deprem algılama sistemleri tek bir merkez tarafından yönetilmektedir. Bu sayede, günlük rutinde ve acil durumlarda sistemler otomatik olarak kontrol edilebilmektedir.



Fotoğraf 5.1.4.2. Tekfen Tower Girişi

Binada kullanılan bina otomasyon sistemleri yazılımsal ve donanımsal sürekli gelişmeye imkân verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Enerji tasarrufu açısından, binada kullanılan tüm tesisatlarda verimli ürün ve cihazlar tercih edilmiştir. Ayrıca, yağmur suyunu toplamak için baz katının terasında ve çatı katındaki terasta, döşemeler yükseltilmiştir. Yükseltilen döşeme

altındaki zemin, eğimli olarak inşa edilmiş bu sayede bahçe sulamak için kullanılan yağmur suları toplanmaktadır.

## 4.2. ÖRNEKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Akıllı bina kavramı, yenilikçi tasarım girişimlerini uygulama potansiyeli ve sürdürülebilir tasarımla birlikte kullanıcının konforunu arttırmaya yönelik teknolojileri kullanımı ile giderek daha popüler hâle gelmektedir. Dolayısıyla, bu “akıllı” etiketi zaman zaman pazarlama ürünü olarak da kullanılmaktadır. Kullanıcıları ve müşterileri aldatmamak adına akıllı bina özelliklerinin net olarak belirlenmiş olması gerekmektedir fakat bununla ilgili çok çeşitli araştırma bulunmasına rağmen bir uzlaşma sağlanamamıştır. Görüş farklılıklarının dışında, akıllı bina tanımlarının ve değerlendirmelerinin değişmesinin temelinde, gelişen teknolojiye bağlı sebepler de önemli yer tutmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yeni metotlar geliştirilmiş ve sertifika programlarıyla birlikte akıllı binalar derecelendirilmeye başlanmıştır. Performans değerlendirme modelleri oluşturan araştırmacı, kurum veya kuruluş, bina sakinlerinin akıllı binalarla ilgili önceliklerini belirleyerek güncel bir metodoloji geliştirmeyi amaçlar. Bu sebepten ötürü araştırmacılar, akıllı bina performansını değerlendirmek için farklı kriterler belirlemektedirler. Tez kapsamında incelenen akıllı ofis binaların değerlendirilebilmesi için öncelikle literatürdeki çalışmaları incelemekte fayda vardır. Ancak bu sayede uygun analiz kriterleri belirlenebilir.

### 4.2.1. Analiz Kriterlerinin Belirlenmesi

Akıllı Bina terminolojisinin oluşmasıyla birlikte, onun özelliklerini ve performans değerlendirme kriterlerini belirlemek için 1980 ve 1990 yılları arasında birçok farklı ölçüm metodu oluşturulmuştur. Akıllı binaları değerlendirme çalışmaları aynı zamanda akıllı bina konseptini de tanımlamaktadır. İlk derecelendirme metotları örneklerinden olan “Orbit 2.1”, “Post Occupancy Evaluation (POE)”, “Building In Use Assessment Methods”, “BREEAM” ve “Environmental Impact Analysis” akıllı bina performanslarını incelemek için farklı yaklaşımlar kullanmaktadırlar (Wong, 2007). Bu modeller çevresel etkileri ve fiziksel parametrelerin değerlendirilmesini incelemiştirler. Boyd ve Jankovic (1993) bu yaklaşımların binaların performans seviyelerini ölçmede eksik kaldıklarını savunmuşlardır. Buna karşın, önceki araştırmalardan edindikleri performans derecelendirme

metodolojilerinin temel özelliklerini, kullanıcı ihtiyaçları, bina yönetimi ve çevresel faktörleri kombine ettikleri “Building IQ” adında yeni bir akıllı bina değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Fakat Harrison ve çalışma arkadaşları (1998) bu modeli nitel verilerin toplanmasında ve performans kriterlerinin belirlenmesinde sorunlar içerdiği için yetersiz bulmaktadır.

1995 yılında Arkin ve Pacuik, sayısal puanlama tabanlı bir akıllı bina ölçüm aracı önermişlerdir. “Magnitude of Systems Integration” isimli bu değerlendirme yöntemi, akıllı binada çalışan sistemlerin entegrasyonunu ölçmeyi amaçlamaktadır. Binalar entegrasyon tiplerine göre değerlendirilmektedir: a) Entegrasyon yok (1 puan), b) tek yönlü entegrasyon var, geri bildirim yok (2 puan), c) ayrışık arabirimlere sahip sistemler (3-5 puan), d) bina otomasyonu var (6-8 puan), e) gelişmiş ve akıllı bina otomasyon sistemi var (9-10 puan). Binadaki sistem sayısına göre, bir binaya verilen toplam puanın ortalaması alan basit bir endekstir (Smith, 2002). Yang ve Peng tarafından 2001 yılında tekrar düzenlenen bu puan tabanlı modelin en belirgin katkılarından biri, binaların “akıllılık” düzeylerinin kolayca diğer binalar ile karşılaştırılabilmesine olanak vermesi olmuştur. Bu nicel yaklaşıma karşın, 1999 yılında Smith “BIAI” ve “Reframing” adlı iki akıllı bina değerlendirme metodu geliştirmiştir. İlk yaklaşım performans seviyesini saha özellikleri, işletme maliyetleri, teknoloji, akıllı mimari, sistemler ve güvelik açısından incelerken, ikinci yaklaşım akıllı binaların organizasyon yapılarını, insan kaynaklarını, kültürünü inceleyerek hedefleri karşılama yeteneğini ölçmeye çalışmaktadır (Smith, 1999).

İlk derecelendirme metotlarından biri olan “Post Occupancy Evaluation (POE)”, 2002 yılında güncellenmiştir. Binaların tüm yaşam döngüsü boyunca değerlendirilmesini öneren bu metot, “akıllılık” düzeylerini belirlemek için ileri teknoloji sistemlerinin performansını ve bina sakinleri üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Preiser & Schramm, 2002).

2001 yılında Asya Akıllı Binalar Enstitüsü (AIIB) nicel bir değerlendirme yöntemi olan “Intelligent Building Index (IBI)” ini geliştirmiştir. Yöntem, akıllı binaları “Quality Environment Modules (QEM) çerçevesinde değerlendirir. Binanın ölçüleceği endeksler; çevre dostu, esnek mekânlar, insan konforu, çalışma verimliliği, kültür, ileri teknoloji kullanımı, güvenlik, yangın ve doğal felaketlere karşı önlemler, yapım süreci, yapısı,

maliyetleri, sağlık imkânları ve atıklar olarak belirlenmiştir. Her bir endeksin 1-100 arasında bir puanı vardır. Puanlamanın ardından, binalar genel performans değerlendirmesi üzerinden A'dan E'ye kadar derecelendirilmektedir. (So & Wong, 2002). Chen ve çalışma arkadaşları (2005) AIIB'in çalışmalarını hesaplama yönteminde güvenilirlik olmadığı için eleştirmişlerdir. Bu 4 sebep şu şekilde sıralanabilir: Kriterlerin belirlenememesi, ardışık olmayan hesaplama yöntemi, hesaplama sonuçlarının benzersiz olmaması ve değerlendirme prosedürlerinin örgütsel bir yargı tarafından belirlenmemiş olması. Buna karşılık, akıllı binaların kullanım ömrünün enerji verimliliğinin değerlendirilmesi için IBAssessor adlı analitik bir ağ süreci kullanarak, çok kriterli bir karar alma modeli geliştirmişlerdir. AlWaer ve Clements-Croome 2010 yılında sürdürülebilir akıllı binalarla ilgili önemli konuları tanımlamak için analitik hiyerarşik süreç modeli kullanmışlardır. Uygun performans kriterlerinin belirlenmesi için kavramsal bir model geliştirmişlerdir (Kahraman & Kaya, 2012). 2008 yılında, Wong ve Li de akıllı bina sistemlerini değerlendirmek için aynı şekilde çok kriterli bir karar verme modeli önermişlerdir (Kahraman & Kaya, 2012). 2009 yılında ise, akıllı binalardaki entegre bina yönetim sistemleri için performans analiz modeli geliştirmişlerdir. Bu model 4 ana başlıkta toplanmıştır:

- 1) Otonomluk: Operasyon sapmalarının kendi kendine teşhisi, uyarlanabilir sınırlayıcı kontrol algoritması vb.
- 2) Karmaşık dinamiklerin kontrol edilebilmesi: İnternet üzerinden kontrol, bağlı bütün ünitelerin kontrolü, birden çok bina yönetim sistemi entegrasyonu vb.
- 3) İnsan - makine entegrasyonu: Minimum insan gözetimi ile sürekli çalışan sistemler, gerçek zamanlı operasyonun grafik arayüzünde gösterilmesi vb.
- 4) Biyolojiden ilham alan davranışlar: Mevsimsel değişikliklere dayalı uyarlanabilir kontrol algoritmaları vb.

Bu çalışmada 4 anahtar kriter üzerinden, akıllı bina kontrol sistemi adayının diğerine karşı zekâ derecesini ölçmek için bir kıyaslama yöntemi önerilmektedir (Wong & Li, 2009).

2011 yılında Kahraman ve Kaya; 5 ana başlıktan, 27 alt başlıktan oluşan bir akıllı bina ölçüm metodu önermiştir. Bu ana başlıklar; 1) mühendislik, 2) çevre, 3) ekonomik, 4) sosyo-kültürel, 5) teknolojik açıdan değerlendirmeden oluşmaktadır. Teknoloji ana maddesinin altında, ileri yapay zekâ kullanımı ve ileri teknoloji sistemleri kullanımları değerlendirmeye alınmıştır (Kaya & Kahraman, 2014). Huang'ın (2014) oluşturduğu 58 performans

göstergesi, 3 ana maddede incelenmiştir: 1) Teknoloji, 2) işlevsellik, 3) ekonomi. Göstergelerin akıllı bina literatüründen alındığı bu çalışmada, sektör uzmanları ve uygulayıcı tavsiyeleri ile şekillendirilmiştir. Akıllı bina değerlendirme sistemlerinde her zaman ön planda olan teknolojinin, günümüzde yapay zekâ ile ilişkilendirilmesi artış göstermektedir. Ghaffarianhoseini ve çalışma arkadaşlarının 2016 yılında yayınladıkları makalede, akıllı bina sistemlerinin performans ve hizmetlerinin üç temel bileşenden oluşması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bunlar; 1) “akıllılık” ve teknolojik farkındalık, 2) ekonomi ve maliyet verimliliği, 3) kişisel ve sosyal duyarlılık şeklinde belirlenmiştir (Ghaffarianhoseini , ve diğerleri, 2016). “Akıllılık” ve teknolojik farkındalık başlığının altında bulunan “gelişmiş sensörler ve yapay zekâ entegrasyonu” maddesi yine göstermektedir ki; yapay zekâ, akıllı binaları değerlendirmede kullanılan güncel kriterlerden biri durumundadır.

Günümüzde, akıllı bina değerlendirme araçları üzerine yapılan akademik araştırmalar dışında binalardaki “akıllılık” ve sürdürülebilirlik düzeylerini test etmek için birçok farklı uluslararası değerlendirme sistemi oluşturulmuştur. Bu derecelendirme kuruluşları, ortak bir organizasyondan öte özel şirketlere benzeyen yapıları ve yeteri kadar şeffaf kararlar vermemeleri sebebiyle bazı ağır eleştirilere maruz kalmışlardır. Fakat kâğıt üzerinde belirledikleri standartlar açısından çevre dostu yapılarda olması gereken kriterler, güncel yaklaşımlar üzerinden üretilmiştir. Uluslararası arenada dört önemli yeşil bina derecelendirme sistemi vardır. Bunlar; İngiltere’de BREEAM (BRE Environmental Assessment Method), ABD’de LEED (the Leaders in Energy and Environmental Design), Japonya’da CASBEE (the Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) ve Avustralya’da GBCA & WGBC (the Green Star of the Green Building Council of Australia) olarak öne çıkmaktadır. Birçok farklı ülke tarafından bu yeşil bina derecelendirme sistemleri referans olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin değerlendirme kriterleri zaman zaman değiştirilmekte ve güncellenmektedir. Örneğin 2005 yılında, en eski değerlendirme metotlarından birini sunan BRE, “matrix tool” ya da “matool” şeklinde isimlendirilen yeni bir akıllı bina performans değerlendirme matris sistemi geliştirmiştir. Bina tasarımından, operasyonuna kadar bütün süreçleri değerlendiren bu matris, özellikle bina performans ölçümü için; bina ortamı, duyarlılık, işlevsellik, ekonomi ve sürdürülebilirlik üzerinden değerlendirme yapmaktadır (Bassi, 2005). LEED, Haziran 2019’da performans değerlendirme metodunda yeni bir güncelleme yapmıştır: Enerji performansı (1-33 puan), su performansı (1-15 puan), atık performansı (1-8 puan), ulaşım

(1-14 puan), iç mekân kalitesi (1-20 puan) ve eski LEED sertifikasyonu 10 puan olarak değerlendirilecektir. Sertifika alabilmek için 40-49 puan, gümüş sertifika alabilmek için 50-59 puan, altın sertifika alabilmek için 60-79 puan ve platin sertifika alabilmek için 80 üzeri toplam puana ihtiyaç vardır (USGBC, 2019). Uluslararası arenadaki bu dört önemli yeşil bina derecelendirme sistemi incelendiğinde mimarların ve mühendislerin sürdürülebilir mimari normlarına uymalarını gerektiren bazı ortak noktalar belirlemek mümkündür;

- o İnşaat alanı ve çevre: Binanın çevredeki mevcut topoğrafya ve yeşil alan uygulamaları ile olan ilişkisinin değerlendirilmesi.
- o Enerji ve su tüketimi: Tasarruf kabiliyetinin değerlendirilmesi, binalardaki enerji ve su tüketimini azaltmak için en etkili yöntemlerin yanı sıra, atıkların arıtılmasında ve depolanmasında etkin önlemlerin kullanılması.
- o İç mekân kalitesi: İç ortamların, hava kalitesini ve ısı verimliliği, nem oranı, doğal havalandırma olanakları gibi diğer konfor koşullarını değerlendirmek.
- o Malzemeler ve kaynak kullanımı: Bina ve hizmet malzemelerinin sürdürülebilirlik değerini ve binalarda hem fiziksel hem de psikolojik olarak insanları nasıl etkileyeceğini değerlendirmek ( Mutdoğan & Tai-Chee, 2011).

Clements-Croome ve AlWaer'in 2010 yılındaki yaptıkları bir çalışmada BREEAM, LEED, CASBEE ve AIIB değerlendirmelerinden büyük oranda yararlanılarak 115 önemli kriter belirlenmiştir. Bu kriterler, mimarların, mühendislerin ve sürdürülebilirlik uzmanlarının yürüttüğü anket çalışması sonucunda dört temel performans göstergesi altında toplanmıştır: 1) çevresel faktörler, 2) sosyo-kültürel faktörler, 3) ekonomik faktörler ve 4) teknolojik faktörler olarak belirlenmiştir (ALwaer & Clements-Croome, 2010).

Bu çalışmada akıllı binaların yapay zekâ çağındaki durumunun araştırılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda akıllı bina performans değerlendirme modelleri gözden geçirilmiştir. Çünkü Wong ve çalışma arkadaşları, bir derecelendirme sistemi olmadan binaların "akıllılık" düzeyini belirlemenin çok zor olduğunu savunmaktadır. Bu nedenle birçok çalışma, akıllı binalar için derecelendirme sistemleri geliştirmeye odaklanmıştır (Wong, ve diğerleri, 2005). Günümüzdeki teknolojik gelişmeler ile birlikte bu çalışmalarda performans değerlendirme kriterlerinin değiştiği gözlenmektedir. Bu doğrultuda, yukarıda araştırılan literatürden yararlanılarak tez kapsamında incelenen yüksek katlı akıllı ofis binaları dört ana maddede değerlendirilebilir:

- 1) Bina Yönetimi: Bina otomasyon sistemi, iletişim-internet ve veri ağı sistemi, iklimlendirme, dijital adreslenebilir aydınlatma kontrol sistemi, adreslenebilir yangın algılama ve alarm sistemi, güvenlik ve kamera sistemi, dikey taşıma-asansör sistemi.
- 2) Yapay Zekâ / Teknoloji: Geleceğe yönelik teknolojik altyapı tasarımı, nesnelerin interneti ve buna bağlı sistemlerin aktif kullanımı, konfor şartlarının sensörler aracılığı ile sağlanması, yüz tanıma sistemlerinin kullanımı, yapay zekâ destekli otomasyon sistemlerinin kullanımı.
- 3) Sürdürülebilirlik: Alternatif enerji kaynakları kullanımı, çevre ile olan uyumu, işletim maliyetlerinin düşürülmesine ilişkin önlemlerin alınması, güneş ışığından doğru yararlanma, sürdürülebilir malzeme kullanımı, yağmur suyu ve atık su yönetimi.
- 4) Konfor: Esnek mekân tasarımı, doğal aydınlatma olanakları, doğal iklimlendirme olanakları, kullanıcı dostu tasarım, ulaşım olanakları.

#### 4.2.2. Örnek Yapıların Analizleri

Geleceğin binaları, hızla gelişen teknolojiye ayak uydurmak zorundadır. Gelişen teknoloji önce yapı sistemine, ardından binanın diğer bileşenlerine ve kullanımına yönelik birçok çözüm sunmaktadır. Bilgisayarlardaki ve iletişim sistemlerindeki gelişmeler çok hızlı bir şekilde değişmektedir. Böyle bir durumda, bina tasarımlarındaki mevcut gereksinimlere ek olarak gelecekte ortaya çıkabilecek ihtiyaçlar da dikkate alınmalıdır. Bu bakımdan, sadece alanı en iyi şekilde kullanmak değil, kullanıcıların herhangi bir ihtiyaca istedikleri zaman kolayca erişebilmelerini de sağlamak zorunluluk haline gelmiştir. Bunu göz önüne alarak, büyük yapı sistemlerinde bu yolun hızlı bir şekilde alındığı görülmektedir. Gelişen teknoloji ve artan gereksinimler, geleneksel bina inşasının sorgulanmasına neden olmuştur. Bina işletme maliyetlerinin, bina inşaat maliyetlerini geçtiği ya da bu durumun öneminin farkına varıldığı bir ortamda, çevresel ya da sürdürülebilir kaygılardan bağımsız olarak akıllı bina örnekleri artmaya devam edecektir.

Yaklaşık 2.600 kişinin çalıştığı Sabancı Center kuleleri örneğinde görüldüğü üzere, otomasyon sistemlerinin yenilenmesi ve geliştirilmesiyle elde edilen verim miktarı, 20 yıllık bir süre zarfında önemli tasarruf sağlamıştır. Bina otomasyon sistemleri ve buna bağlı olarak, akıllı bina kavramı reel dünyada işletme maliyetlerini önemli ölçüde azalttığı için, kullanılmaya ve desteklenmeye sürekli devam edilecektir. The Edge örneğinde görüldüğü üzere, sadece bina otomasyonu ile değil, sürdürülebilirlik bağlamında doğru bir bina mimarisi ile projelendirilen akıllı binalar, enerji ve iklimlendirme konularında kendi kendilerine yetecek kapasitede tasarruf sağlamaktadırlar. Bu tür binaların sayısı arttıkça, enerji verimliliği konusunda önemli yol kat edilebilecektir.

Akıllı bina ve sürdürülebilirlik kavramları, başka bir taraftan ele alındığına, yaygın bir şekilde pazarlama stratejisi olarak kullanılmaktadır. Çeşitli reklam kampanyalarının sloganlarında kolayca yer bulan akıllı binaların, çoğunlukla yanlış veya eksik uygulandığı görülmektedir. Örneğin, bina kapılarında bulunan kartlı sistemleri, kamerayla izlenen apartman girişi ve dokunmatik diafon sistemleri bulunan her daire günümüzde kolayca akıllı olarak adlandırılmaktadır.

Yoğun teknolojik altyapıya ve gelişmiş otomasyon sistemlerine sahip olsa da, birçok akıllı bina kullanıcılarında çoğunlukla yanlış uygulamaya bağlı olarak, “hasta eden bina sendromu” görülmektedir. Birçok farklı yanlış uygulama, hassas bireylerde bu vakaların görülmesine sebep olmakla birlikte; yoğun manyetik alana maruz kalma, kullanılan ürünlerin havaya yaydığı uçucu organik bileşenlere hassasiyet, çok çalışanlı ofislerde yetersiz havalandırma ve yüksek karbondioksit miktarı gibi sorunlar da bu problemi tetiklemektedir ya da yaratmaktadır. Bu bağlamda, bina ve kullanıcıları arasındaki etkileşimi inceleyen yapı biyolojisi alanına önem verilmeli ve iç mekânlardaki fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik koşullar göz önünde bulundurulmalıdır.

Hasta eden bina sendromu, potansiyel olarak risk altındaki birçok insan nedeniyle büyük bir endişe kaynağıdır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından, deri ve mukoza zarlarındaki tahrişler ve baş ağrısı, yorgunluk gibi semptomlar, modern ofis binalarında çalışanlar tarafından bildirilmiştir. (Ooi, ve diğerleri, 1998). O halde binanın teknolojik alt yapısının olması onu gerçek anlamda sorunsuz kılmamaktadır. Akıllı binaların her şeyden önce

kullanıcısına problem çıkarmaması, aksine onun problem çözmesi, kullanıcılarının değişken arz eden ihtiyaçlarını giderebilmesi ve rahat ettirmesi gerekmektedir.

Günümüzde akıllı binaları tek bir ortak payda altında toplamak oldukça zor olmaktadır. Bununla beraber akıllı binalara ilişkin yapılan tanımlamaların da çok yeterli olmadığı ya da araştırmacıların “akıllılık” anlayışlarının farklılaştığı gözlemlenmiştir. Binalardaki “akıllılık” kavramı aynı zamanda sürdürülebilir bina kavramı ile de iç içe geçmiştir. Çünkü çevreye duyarlı yapıların arkasında, kullandıkları teknolojik yenilikler yatmaktadır. Herhangi bir binanın yapımında kullanılan malzemeler açısından “yeşil” olması, onun sürdürülebilir bir yapı olduğu anlamına gelmemektedir. Sürdürülebilir akıllı binaların, çeşitli akıllı sistemlere sahip olması gereklidir. Dolayısıyla yeşil binalar aynı zamanda akıllı bina olabilirler.

Akıllı bina derecelendirme yöntemlerinin birçoğu; sadece bina otomasyon sistemlerini değerlendirildiği veya yeşil bina özelliklerini sağlayıp sağlamadığına baktığı için yetersiz kalmaktadır. Akıllı bir binanın gerçek anlamda akıllı olabilmesi birçok farklı etken bulunmaktadır. Fakat öncelikle binanın inşasında söz sahibi olan mühendis ve mimarların günümüz teknolojisini çağın gereksinimlerine göre radikal bir şekilde yorumlayabilmeleri gerekmektedir. Bu sayede, çağımızda akıllı binalarda yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı, önemli bir değerlendirme kriteri hâline gelebilir.

Bina Yönetimi	Yapay Zekâ / Teknoloji	Sürdürülebilirlik	Konfor
BINA OTOMASYON SİSTEMİ	GELECEĞE YÖNELİK TEKNOLOJİK ALTYAPI TASARIMI	ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMI	ESNEK MEKÂN TASARIMI
İLETİŞİM, İNTERNET VE VERİ AĞI SİSTEMİ	NESNELERİN İNTERNETİ VE BUNA BAĞLI SİSTEMLERİN AKTİF KULLANIMI	ÇEVRE İLE OLAN UYUMU	DOĞAL AYDINLATMA OLANAKLARI
ISITMA, HAVALANDIRMA VE İKLİMLENDİRME	KONFOR ŞARTLARININ SENSÖRLER ARACILIĞI İLE SAĞLANMASI	İŞLETİM MALİYETLERİNİN DÜŞÜRÜLMESİNE İLİŞKİN ÖNLEMLERİN ALINMASI	DOĞAL İKLİMLENDİRME OLANAKLARI
DİJİTAL ADRESLENEBİLİR AYDINLATMA KONTROL SİSTEMİ	YÜZ TANIMA SİSTEMLERİ KULLANIMI	GÜNEŞ IŞIĞINDAN DOĞRU YARARLANMA	KULLANICI DOSTU TASARIM
ADRESLENEBİLİR YANGIN ALGILAMA VE ALARM SİSTEMİ	YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ OTOMASYON SİSTEMLERİ KULLANIMI	SÜRDÜRÜLEBİLİR MALZEME KULLANIMI	ULAŞIM OLANAKLARI
GÜVENLİK VE KAMERA SİSTEMİ		YAĞMUR SUYU VE ATIK SU YÖNETİMİ	
DİKEY TAŞIMA, ASANSÖR SİSTEMİ			

Şekil 5.2.2.1. Değerlendirme Kriterleri

Binalardaki sürdürülebilirlik özelliklerinin derecelendirmesi için geliştirilen sertifikasyon sistemlerinin değerlendirme kriterleri ve literatür taraması ile incelenen kurumların ya da akademik araştırmaların oluşturduğu akıllı bina ölçme biçimleri, örnek olarak incelenen binaların performans değerlemesini yaparken; bina yönetimi ve otomasyonu, kullanılan yapay zekâ teknolojileri, sürdürülebilirlik ve insan konforu gibi dört temel ölçüt oluşturulması konusunda taban hazırlamıştır (bkz. Şekil 5.2.2.1.).

“Bina yönetimi”, “sürdürülebilirlik” ve “konfor şartları” literatürdeki standart performans değerlendirme kriterlerinin bir karşılığı olarak oluşturulurken, “yapay zekâ ve ileri teknoloji” maddesi hem çağın gerekliliği hem de literatürdeki akıllı bina teknolojileri alanındaki gelişimin ve güncel performans değerlendirme kriterlerindeki teknolojik yaklaşımların bir sonucu olarak ana sınıflandırmada yerini almıştır. Binaların “akıllılık” seviyesinin ölçülmesine ilişkin oluşturulan bu dört ölçüt ve alt maddeleri, yeni bir değerlendirme yöntemi önermekten öte, akademik yaklaşımların ve trendlerin etkileri bağlamında incelenip yeni bir bakış geliştirilmeye çalışılmıştır. Kullanılan sistemlerin performansları önemsenmeksizin, sadece sistemlerin ya da özelliklerin bulunup bulunmadığı üzerinden bir analiz sağlanmıştır (bkz. Şekil 5.2.2.2.). Dolayısıyla, dört grup halinde oluşturulan değerlendirme kriterlerinin ve alt maddelerinin herhangi puan veya yüzde olarak bir etkisi bulunmamaktadır.

DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ		ÖRNEKLER:			
		THE EDGE DELOITTE (HOLLANDA)	MANITOBA HYDRO PLACE (KANADA)	SABANCI CENTER (TÜRKİYE)	TEKFEN TOWER (TÜRKİYE)
ANA KRİTERLER	KRİTERLER				
BİNA YÖNETİMİ	BİNA OTOMASYON SİSTEMİ	●	●	●	●
	İLETİŞİM, İNTERNET VE VERİ AĞI SİSTEMİ	●	●	●	●
	ISITMA, HAVALANDIRMA VE İKLİMLENDİRME	●	●	●	●
	DİJİTAL ADRESLENEBİLİR AYDINLATMA KONTROL SİSTEMİ	●	●	●	●
	ADRESLENEBİLİR YANGIN ALGILAMA VE ALARM SİSTEMİ	●	●	●	●
	GÜVENLİK VE KAMERA SİSTEMİ	●	●	●	●
	DİKEY TAŞIMA, ASANSÖR SİSTEMİ	●	●	●	●
YAPAY ZEKÂ & İLERİ TEKNOLOJİ	GELECEĞE YÖNELİK TEKNOLOJİK ALTYAPI TASARIMI	●	●	●	◐
	NESNELERİN İNTERNETİ VE BUNA BAĞLI SİSTEMLERİN AKTİF KULLANIMI	◐	◐	○	○
	KONFOR ŞARTLARININ SENSÖRLER ARACILIĞI İLE SAĞLANMASI	●	●	◐	◐
	YÜZ TANIMA SİSTEMLERİ KULLANIMI	◐	○	○	○
	YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ OTOMASYON SİSTEMLERİ KULLANIMI	◐	○	○	○
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMI	●	●	○	○
	ÇEVRE İLE OLAN UYUMU	●	●	○	○
	İŞLETİM MALİYETLERİNİN DÜŞÜRÜLMESİNE İLİŞKİN ÖNLEMLERİN ALINMASI	●	●	●	○
	GÜNEŞ IŞIĞINDAN DOĞRU YARARLANMA	●	●	○	○
	SÜRDÜRÜLEBİLİR MALZEME KULLANIMI	●	●	◐	◐
	YAĞMUR SUYU VE ATIK SU YÖNETİMİ	●	●	○	●
KONFOR	ESNEK MEKÂN TASARIMI	●	●	◐	◐
	DOĞAL AYDINLATMA OLANAKLARI	●	●	●	●
	DOĞAL İKLİMLENDİRME OLANAKLARI	●	●	○	○
	KULLANICI DOSTU TASARIM	●	●	◐	◐
	ULAŞIM OLANAKLARI	●	●	●	●

Şekil 5.2.2.2. Örnek değerlendirme çizelgesi

The Edge binası oluşturulan kriterleri başarımlı konusunda yapılan analiz sonucunda “akıllılık” düzeyi en yüksek örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Ona eşlik eden Manitoba Hydro Place, akıllı bina standartlarının büyük çoğunluğunu sağlarken, yüz tanımlama gibi yapay zekâ destekli bir güvenlik sisteminin ve bina otomasyon sisteminin yapay zekâ modülünün olmaması sebebiyle oluşturulan “akıllılık” seviyesinde örnekler arasında ikinci sırada yer aldığı görülmektedir. Sabancı Center ve Tekfen Tower, bina yönetim ve otomasyonu değerlendirmeleri yapıldığında diğer örnekler gibi standart akıllı bina özelliklerinin hepsine sahipken en büyük farklılık yapay zekâ destekli teknolojik sistemlerin yetersizliği nedeniyle oluşmaktadır. İleri teknoloji kriterlerinin değerlendirmesinde; nesnelerin interneti, yüz tanıma sistemleri ve yapay zekâ destekli otomasyon sistemlerine bu iki binada rastlanmamıştır. Sürdürülebilirlik açısından incelendiğinde; mimari formları çevre ile olan uyum gözetilerek tasarlanmadığından ve coğrafik konuma uygun bir kabuğa sahip olmadığından ötürü yetersiz kalmaktadır. Buna ek olarak bu iki binanın, alternatif enerji kaynaklarını kullanmamaları da, yurtdışından seçilen örneklere kıyasla geride kalmalarına sebebiyet vermektedir.

Akıllı bina değerlendirme kriterleri hakkında genel bir değerlendirme yapmak gerekirse eğer, bina otomasyon sistemlerinin bütün akıllı bina formundaki yapılarda standart haline geldiği, dolayısıyla artık akıllı binaları değerlendirmek için nitelikli bir kriter olmadığı anlaşılmaktadır. Buna karşın, akıllı binalar arasındaki en büyük farklılıklar ileri teknoloji ve yapay zekâ şartları oluşturmaktadır. Yapay zekânın bu bağlamda daha belirleyici bir kriter hâline geldiği söylenebilmektedir. Sonuçlara daha geniş bir perspektiften bakıldığında ise incelenen binaların birbirinden daha iyi olmadığı anlaşılmaktadır. Şöyle ki, küçük farklılıklar olmasına karşın, her akıllı bina kendi tarihsel sürecindeki standartları sağlamaktadır. Zaman ile akıllı bina özelliklerinin nasıl değiştiğini ortaya çıkaran gösterge niteliğinde bir sonuç elde edilmiştir.

Yapay zekânın mimarlık alanında kullanımını mimarlık üretimine kuşkusuz önemli faydalar sağlayacaktır. Bu faydaların sağlanma noktasında tasarım ve kullanım sürecinde olmak üzere, yapay zekâ kullanımını mimarlık bağlamında iki şekilde değerlendirilebilir:

1. Tasarım sürecindeki etkileşimi; sistemin sabitlerine karar verirken farklı seçenekler üretip zayıf seçenekleri iptal edip en güçlü olan sonuçlara varmak şeklinde olabilir.

2. Kullanım sürecindeki etkileşimi ise; binaların değişen fiziksel çevre şartlarına, değişen kullanıcı profillerine ve değişen taleplere göre uyarlanmasına olanak tanıyacak bir sistem şeklinde olabilir. (Gürbüz, 2009).

Bu bağlamda, yapay zekânın tasarım sürecine dâhil olması ile üretilecek akıllı binalar, hem fonksiyonelliği en yüksek olan konfor şartlarını sağlayacak şekilde, hem de geniş kapsamlı bir analiz ile doğal koşullardan maksimum yararlanarak çevreye daha uyumlu bir şekilde planlanacaktır. Gelecekte tasarım sürecindeki, yapay zekâ etkileşimleri daha kontrollü bir şekilde ve bütün mimari ofisler tarafından gerçekleştirilebilir. Binanın projelendirmesinde fonksiyon açısından en optimize sonuçları ortaya çıkaracaktır. Optimizasyonu gerçekleştirmesi için, yapay zekânın kendi oluşturduğu projeleri, olası senaryolara göre simüle ederek geliştirecektir. Bu sürece bağlı olarak enerji verimliliği açısından, binanın yükseleceği en doğru konum ve form da yapay zekâ tarafından oluşturulacaktır. Hem Edge binası, hem de Manitoba Place, konumlandırılırken simülasyon yazılımlarından yararlanılmıştır. Uzman sistemlerden yararlanılarak oluşturulan optimize konum sayesinde güneşten elde edilen verim artırılmış bu sayede hem önemli derecede enerji tasarrufu sağlanmıştır hem de genel konfor olanakları artırılmıştır.

Yapay zekânın bu süreçteki etkileri, kullanılacak bütün sistemlerin verimliliğini arttırmaya yönelik bir iyileştirme olacaktır. Dolayısıyla değerlendirmedeki en önemli kriterlerden biri, yapay zekâ destekli otomasyon sistemleridir. İncelenen örnek yapılarda bina otomasyonuna yapay zekâ entegrasyonu, otomasyon sistemlerinin birbirleriyle uyumlu çalışıp çalışmadığı ile çok ilgilidir. Merkezi bir sistemin olduğu binalara gelecekte çok kolay bir şekilde entegre edilecek yapay zekâ sistemleri geliştirilebilir. Bu sayede, otomasyon sistemleri yapay zekâ tarafından kontrol edilerek, faydayı maksimize edebilir. The Edge binasında böyle bir fayda yapay zekâ tarafından sağlanmaktadır. Bu binada bulunan 20 metre aralıklarla yerleştirilen hareket algılama sensörleri ve çalışanların kullandığı mobil uygulama sayesinde alınan veriler gerçek zamanlı bir şekilde yapay zekâ tarafından işlenmektedir. Geçmiş günlerin verileri, trafik ve hava durumu bilgileriyle karşılaştırılarak, öğle yemeğindeki yoğunluk önceden belirlenebilir, bu sayede doğru miktarda üretim yapılarak yemek artığı minimize edilebilir.

## 5. SONUÇ

Bu araştırma, teknolojik gelişmelerin mimarlık pratiği ve akıllı binalar üzerindeki güncel ve geleceğe yönelik etkilerinin incelenmesini amaçlamıştır. Teknolojik ilerlemeler ile sürekli gelişen yapay zekâ uygulamalarının, mimarlık alanında nasıl yer bulduğu üzerinde bir anlatım oluşturulmaya çalışılmış ve bu sayede yapay zekânın mimarlığın vücut bulduğu (düşünülen) güncel ve yenilikçi bazı yapılar üzerinden nitel bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlanmıştır. Bu analiz kapsamında incelenen binaların yapay zekâ ile ortak paydasının, akıllı bina terminolojisi üzerinden yürütülmesi sebebi ile yapay zekâ ve akıllı bina arasındaki ilişkiyi örnekler üzerinden incelerken ana merak kaynağı, binaların “akıllılık” seviyelerini araştırarak, buradan potansiyel sonuçlar çıkarmak üzerine kurulmuştur.

Yapay zekâ, akıllı binalar ve mimarlık disiplinleri arasındaki ilişkilerin incelendiği bu çalışmada yapay zekâ çağında akıllı binaların uğradıkları değişim sonucunda, performans değerlendirme modellerinden ve oluşturulan analiz kriterlerinden çeşitli çıktılar elde edilmiştir:

1. Akıllı bina performanslarını ölçmek için çeşitli değerlendirme yöntemleri bulunmaktadır. Literatürdeki çoğu çalışmada ölçüm kriterleri farklılık gösterdiği için, her değerlendirme yönteminin kendine özgü bir akıllı bina tanımı olduğunu söylemek mümkündür. Bu değerlendirme yöntemleri incelendiğinde görülmektedir ki; bina otomasyon sistemleri başta olmak üzere, sürdürülebilirlik ve konfor diğer ortak temel kriterleri oluşturmaktadır. Yapay zekâ standartlarının akıllı bina değerlendirilmesindeki konumu ise incelenen çalışmalarda ana kriterlerde yer almamasına rağmen, binalara sağladığı özellikler ve hatta akıllı bina kavramını yeniden şekillendirmesi sebebiyle tez kapsamında ana değerlendirme kriteri olarak önerilmiştir. Bir diğer yandan, klasik anlamdaki bina yönetim sistemlerinin bütün akıllı binalarda standart hâline gelmesinden dolayı artık akıllı binaları değerlendirmek için nitelikli bir kriter olmadığı sonucu, yapılan örnek analizi ile ortaya konulmuştur.

2. Yapay zekâ açısından değerlendirilen bir yapıda, akıllı olduğu iddia edilen binanın, bina görevlilerine minimum ihtiyaç ile günlük işlevlerini yerine getirmesi gerekmektedir. Akıllı bir binanın sahip olduğu güvenlik, iletişim, iklimlendirme ve enerji sistemleri gibi bütün otomasyon sistemlerinin, bağlı oldukları tek bir merkezden gelişmiş bir bilgisayar programı tarafından yönetilmesi gerekmektedir. Otomasyon sistemlerinin uygulanmasında, “akıllılık” düzeyini belirleyen en önemli nokta, kullanılan bina yönetim sistemlerinin kullanıcıların davranış örüntülerinden belirli sonuçlar çıkarıp, binanın gelecekteki durumlarını tahmin edip edemediğiyle ilişkilidir. Bu bağlamda, doğru uygulanan otomasyon sistemleri, yapıları akıllı hâle getirebilir. Sabancı Center örneğinde görüldüğü üzere, geleceğe yönelik teknolojik altyapısı bulunan mevcut binaların daha “akıllı” hale getirilmeleri mümkündür. Fakat binanın ve kullanıcıların ihtiyaçlarının iyi analiz edilip binaya entegre edilecek sistemlerin doğru ve günümüz koşullarına uygun bir şekilde seçimi gerekmektedir. Sonradan akıllı sıfatı kazandırılan eski binalar genelde mimari çözümler sayesinde değil de sistem entegrasyonları sayesinde bu sıfatı kazanmaktadırlar.
3. Binaların performans değerlendirmeleri, zaman içerisinde değişiklik gösterecektir. Akıllı Binalar üzerine yapılan deneysel veya gözlemsel analizlerin incelenmesiyle ulaşılmış bütün “akıllılık” derecelendirmeleri, kullanılan teknolojilerin zaman içinde değişmesiyle, genel geçer bir yargı üretimini engeller.
4. Sürdürülebilir bir mimari tasarımın bina akıllılığına etkisi oldukça kritiktir. Bu bağlamda akıllı binalar, sadece teknolojik sistemlerin binaya entegre edilmesi değil, erken tasarım aşamalarından itibaren kullanılan optimizasyon araçlarına kadar uzanan sürecin ürünüdür. The Edge ve Manitoba Hydro Place örneklerinde görüldüğü üzere; proje aşamasında yapıların formlarının, cephe geçirgenliklerinin ve oryantasyonlarının uzman sistemler kullanılarak belirlenmesi sayesinde, hem enerji verimliliği anlamında, hem de akıllı bina değerlendirme çizelgesindeki diğer başarımları gözle görülmektedir. Yapay zekâ araçları kullanılarak oluşturulan yapıların proje tasarım ve üretim süreçlerinde; mimarların etkin bir rol alabilmeleri için bu araçlar hakkında bilgi sahibi olmaları, “öğrenen sistemler” tasarlamada ve kullanmada formasyona sahip olmaları gerekmektedir.

5. Yapay zekâ sistemleri, çeşitli simülasyonlar ve tecrübeler sayesinde doğru kararlar verebilen sorunsuz araçlara dönüşmektedirler. Fakat ilk defa karşılaşılan durumlar başta olmak üzere bazı durumlarda uzmanlara ihtiyaç olacaktır. Örneğin, sistemlerin ilk kurulumu, yeni görevlerin belirlenmesi, ön görülemeyen sorunların ortaya çıkması, çeşitli yazılım veya donanım sorunları, sistem yükseltmeleri, çevre birimlerinin bakımları gibi bazı kaçınılmaz durumlar, insan ve makine uzlaşmasının gerekliliğini göstermektedir. Dolayısıyla, binaların yaşam döngüsü boyunca çeşitli problemlerin üstesinden kolayca gelebilmesi için uzmanların ve yapay zekâ sistemlerinin işbirliği önemlidir. Bu konuyla alakalı olarak, akıllı binalarda karşılaşılabilecek bazı problemler şu şekilde sıralanabilir:

- o Yazılım kaynaklı teknik sorunlar sistemin hata vermesine, ya da yanlış çalışmasına sebebiyet verebilir.
- o Donanım kaynaklı sorunlar, sistemin yanlış yönlendirilmesine sebebiyet verebilecek dezenformasyonlar yaratabilir.
- o Bina ihtiyaçlarının tam olarak belirlenememesi nedeniyle, gereksiz maliyetlere sebebiyet verebilecek ek sistem girdileri ve ekonomik problemler oluşabilir.
- o Yapı biyolojisi önemsenmemiş binalarda görülebilecek; alerjenler, toksin ve zararlı gazlar ya da elektromanyetik alanların bina kullanıcılarında sağlık problemleri yaratabilir.
- o Kentsel ölçekte, yanlış yere konumlandırılmış bir akıllı binalar, şehirle olan eksik bağlantıları sebebiyle kullanıcılarına yaşam döngüsü boyunca sorunlar yaşatabilir.
- o Operasyonel yönetimden kaynaklı sorunlar yaşanabilir.

Akıllı binaların gelecekte yapay zekâ teknolojisinden daha fazla faydalanacağını öngörmek mümkündür. Kullanacakları makine öğrenmesi ve bulanık mantık yöntemleri ile akıllı binalarda kullanılan tüm güvenlik ve otomasyon sistemlerine entegre olarak, aydınlatmayı ya da ısıtmayı ‘aç ve kapat’ tan öte bir şekilde, bütün sensörlerden gelen verileri birbirinden bağımsız olarak değil, bir bütün olarak inceleyerek belki de insanların öngöremediği farklı korelasyonlardan aldığı bilgilerle birlikte kullanıp; enerji verimliliği ve yönetim konusunda hiçbir müdahaleye gerek duymayan bir sistem oluşturabilir. Tek bir binanın değil, bütün binaların aynı yapay zekâ tarafından kontrol edilmesi ise şüphesiz akıllı bina kavramının

varacağı ileri noktalardan bir tanesidir. Akıllı şebekelerin (smart grid) ve akıllı şehirlerin ancak akıllı bina teknolojilerindeki ilerlemeler ile gerçekleşebileceği görülmektedir. Bu bağlamda, yapay zekâyı, gelişmiş bir bilgisayar programı olarak tahayyül etmek eksik olacaktır. Bulut üzerinden çalıştırılan ve bütün binaları yöneten tek bir “yapay zekâ olan bina yönetim sistemi” olması daha olası bir seçenektir. Bu, yapay zekâ destekli merkez sistem, bağlı olduğu bütün alt işletmelerden aldığı verileri işleyerek, her bina yönetimi için kusursuz algoritmalar ve parametreler oluşturabilir.

Yapay zekânın mimari tasarımda kullanımı, güncel araştırma ve geliştirme konularındandır. Üniversitelerde yapılan çalışmalar dışında, özel sektör tarafında öncü mimarlık firmaları ile birlikte çeşitli yazılım firmaları işbirliği içerisinde çalışmalar yapmaktadır. Yapay zekâ, mimari tasarım sürecine, BIM yazılımlarına entegre bir şekilde hayatımıza gireceği öngörülmektedir. Sadece binalar için değil, kent ölçeğinde de başvurulması gereken bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsanların yaşadıkları çevreyi tasarlayan mimarlık üretimi için yapay zekâ desteği oldukça önemlidir. Bulanık mantık modelleme, gerektiğinde yeni parametrelerin ve kuralların eklenmesine açık olduğundan, kararların planlanması için uygun bir analitik bir çerçeve yaratmaktadır. Model, binaların oryantasyonu, yol güzergâhları, bahçe büyüklüğü ve otopark alanlarına uzaklık gibi belirli durumlarla ilgili farklı kriterler ile yürütülmektedir. Alexander’ın (1977) ürettiği biçim dili nasıl sonsuz sayıda farklı mekân ve yapı üretimine olanak sağlıyorsa; yapay zekânın da yarattığı kendine özgü parametrik arketipsel biçimleri hiyerarşik olmayan bir biçimde bir araya getirmesi ile fonksiyon ve verimlilik açısından performansa dayalı tasarımlar yaratacağı öngörülebilmektedir.

## KAYNAKÇA

- Adeli, H. (2002). Neural Networks in Civil Engineering: 1989–2000. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 16, 126-142.
- Ahn, J., Shin, D., Kim, K., & Jihoon, Y. (2017). Indoor Air Quality Analysis Using Deep Learning with Sensor Data. *Sensors*, 17, 2476.
- AHRI. (1998). (Georgia Institute of Technology) Mart 1, 2020 tarihinde 'Aware Home Research Initiative': <http://www.awarehome.gatech.edu/drupal/?q=content/about-ahri> adresinden alındı
- Akipek, F. Ö., & İnceoğlu, N. (2007). Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim Teknolojilerinin Mimarlıktaki Kullanımları. *Megaron*, 2(4), 237-253.
- Alberti, L. B. (1404-1472/1988). *De Re Aedificatoria [On the Art of Building in Ten Books]*. MIT Press.
- Alcala, R., Benitez, J., Cassillas, J., Cordon, O., & Perez, R. (2003). Fuzzy control of HVAC systems optimized by genetic. *Applied Intelligence*, 18, 155-177.
- Alcala, R., Casillas, R., Castro, J. L., Gonzales, A., & Herrera, F. (2001). A multicriteria genetic tuning for fuzzy logic controllers. *Mathware and Soft Computing*, 8(2), 179-201.
- Alderton, M. (2018). '5 Technology Innovations Can Help Your Architecture Practice Work Smarter'. Aralık 1, 2019 tarihinde Redshift by Autodesk: <https://www.autodesk.com/redshift/technology-architecture/> adresinden alındı
- Alexander, C., Ishikawa, S., & Silverstein, M. (1977). *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*. New York: Oxford University Press.

- ALwaer, H., & Clements-Croome, D. (2010). Key performance indicators (KPIs) and priority setting in using the multi-attribute approach for assessing sustainable intelligent buildings. *Building and Environment*, 45(4), 799-807.
- Ancevic, M. (1997). Intelligent building system for airport. *ASHRAE Journal*, 39(11), 31-35.
- Anderson, J. A. (1995). *An Introduction to Neural Networks*. MIT Press.
- Arat, S. (2017). *Kullanıcı ve Otomasyon Sistemlerinin Akıllı Binalar Üzerinden Değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Güzel Sanatlar Enstitüsü, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı. Hacettepe Üniversitesi.
- ArchDaily. (2009, Aralık 24). 'Manitoba Hydro / KPMB Architects'. Aralık 1, 2019 tarihinde <https://www.archdaily.com/44596/manitoba-hydro-kpmb-architects> adresinden alındı
- Arkin, H., & Pacuik, M. (1995). Service systems in intelligent buildings. A. Lustig (Dü.), *Proceedings 1st International Congress of Intelligent Buildings* içinde, (s. 19-29). Israel.
- Aydemir, C., Tümay, H., Dökücü, Ş., Resuloğlu, C., & Fındıkoğlu, S. (1992). Sabancı Center ve Akıllı Yüksek Yapılar. *Tasarım*, 20, 40-57.
- Aytıs, S. (1999). Çağdaş Binalarda Güvenlik Kontrol Sistemleri ve Otomasyon. *Tasarım+Kuram*, 1(1), 52-59.
- Badrinath, S., Anvekar, D. K., & Sonde, B. S. (1995). Fuzzy Logic Based Handover Prioritization In Mobile Cellular Communication System. *National Symposium on Communications 2001*. Chandigarh: IETE.

- Bajer, M. (2018). IoT for Smart Buildings - Long Awaited Revolution or Lean Evolution. *FiCloud 2018 The IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud*. Barcelona.
- Bassi, R. (2005). 'MATOOL: A Matrix Tool For Assessing The Performance Of Intelligent Buildings'. *Proceedings of the BRE Seminar On Intelligent Buildings*. UK: BRE (Building Research Establishment Ltd.). Mart 1, 2020 tarihinde [https://projects.bre.co.uk/ibseminar/4\\_Matool\\_BRE.pdf](https://projects.bre.co.uk/ibseminar/4_Matool_BRE.pdf) adresinden alındı
- Batov, E. I. (2015). The Distinctive Features of “Smart” Buildings. *Procedia Engineering*, 111, 103-107.
- Bona, B., Inaudi, D., & Mauro, V. (1980). A Fuzzy Approach to Residential Location Theory. *Progress in Cybernetics and Systems Research*, 3, 314-320.
- Bouchard, K., Giroux, S., Radziszewski, R., Gagnon, M., Szymanski, Q., Pinard, S., . . . Bier, N. (2015). *Maintaining good relationships in clinical setting: the bonus DOMUS project*. DOMUS Laboratory, Universite de Sherbrooke, Université de Montréal.
- Boyd, D., & Jankowic, L. (1993). Building IQ - Rating the intelligent building. *Proceedings of Intelligent Buildings and Management*.
- Breeam. (2018). *The Edge, Amsterdam*. Aralık 1, 2019 tarihinde <https://www.breeam.com/case-studies/offices/the-edge-amsterdam/> adresinden alındı
- Brooks Jr, F. P. (1987). Walkthrough - A Dynamic Graphics System for Simulating Virtual Buildings. *Proceedings of the 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics*, 9-21.
- Brophy, V., & Lewis, J. O. (2011). *A Green Vitruvius: Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*. Earthscan.

- Brown, D. C. (2005). Artificial Intelligence for Design Process Improvement. J. Clarkson, & C. Eckert (Dü) içinde, *Design Process Improvement: A review of current practice* (s. 158-173). London: Springer.
- Bruckner, D., Zeilinger, H., & Dietrich, D. (2012). Cognitive Automation—Survey of Novel Artificial General Intelligence Methods for the Automation of Human Technical Environments. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 8, 206-215.
- Brumitt, B., Meyers, B., Krumm, J., Kern, A., & Shafer, S. (2000). 'EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments'. *Second International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC 2000)*, (s. 12-29). Bristol, UK. Mart 1, 2020 tarihinde <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/easyliving-technologies-intelligent-environments/> adresinden alındı
- Calusdian, R. F. (1995). Fuzzy Reality. *IEEE Potentials*, 14(2), 20-22.
- CASAS. (2018). (Science, School of Electrical Engineering and Computer, Washington State University) Mart 1, 2020 tarihinde 'Center of Advanced Studies In Adaptive System': <http://casas.wsu.edu/about> adresinden alındı
- Charlotte, M. K. (2017, Aralık 6). 'Google's AlphaZero Destroys Stockfish In 100-Game Match'. Aralık 1, 2019 tarihinde Chess.com: <https://www.chess.com/news/view/google-s-alphazero-destroys-stockfish-in-100-game-match> adresinden alındı
- Chen, Z., Clements-Croome, D., Hong, J., Li, H., & Xu, Q. (2006). A multicriteria lifespan energy efficiency approach to intelligent building assessment. *Energy and Buildings*, 38(5), 393-409.
- Cheng, J., & Kunz, T. (2009). *A Survey on Smart Home Networking*. Department of Systems and Computer Engineering. Ottawa, Canada: Carleton University.

- Cheng, M.-Y., Chiu, K.-C., Hsieh, Y.-M., Yang, I.-T., Chou, J.-S., & Wu, Y.-W. (2017). BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief. *Automation in Construction*, 84, 14-30.
- Choo, S. Y. (2004). *Study on Computer-Aided Design Support of Traditional Architectural Theories (Doktora Tezi)*. Department of Architecture. Munich: Munich University of Technology.
- Clements-Croome, D. (2011). Sustainable intelligent buildings for people: A review. *Intelligent Buildings International*, 3, 67-86.
- Clements-Croome, D., & Croome, D. J. (2004). *Intelligent Buildings: Design, Management and Operation*. Thomas Telford.
- Copeland, B. J. (2000). 'What is Artificial Intelligence?'. Aralık 1, 2019 tarihinde [http://www.alanturing.net/turing\\_archive/pages/Reference%20Articles/What%20is%20AI.html](http://www.alanturing.net/turing_archive/pages/Reference%20Articles/What%20is%20AI.html) adresinden alındı
- Copeland, B. J. (2019). *Artificial intelligence: How Does AI Work?* mEm Inc.
- Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü. (2019). *Çevresel Göstergeler 2017*. Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı. Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Mart 1, 2020 tarihinde <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/gostergeler-2017-20190628084655.pdf> adresinden alındı
- Çizer, E. (2016). Sürdürülebilir Binalar / Türkiye'nin İlk Akıllı Binasının 21 Yıllık Geçmişi; Sabancı Center. *Tesisat Mühendisliği*(154), 52-62.
- Daas, M. (2014). Toward a Taxonomy of Architectural Robotics. *Blucher Design Proceedings*. 1, s. 623-626. SIGraDi.

- Dalamagkidis, K., Kolokotsa, D., Kalaitzakis, K., & Stavarakakis, G. (2006). Reinforcement learning for energy conservation and comfort in buildings. *Building and Environment*, 42, 2686-2698.
- Das, S., Day, C., Hauck, A., Haymaker, J., & Davis, D. (2016). Space Plan Generator. *Proceedings of the 36th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture* (s. 106-115). ACADIA.
- Derek, T., & Clements-Croome, D. (1997). What do we mean by intelligent buildings? *Automation in Construction*, 6, 395-400.
- Djenouri, D., Laidi, R., Djenouri, Y., & Balasingham, I. (2019). Machine Learning for Smart Building Applications: Review and Taxonomy. *ACM Computing Surveys*, 52.
- Doukas, H., Patlitzianas, K. D., Iatropoulos, K., & Psarras, J. (2007). Intelligent building energy management system using rule sets. *Building and Environment*, 42, 3562-3569.
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2018). '*Denge Tabloları*'. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Mart 1, 2020 tarihinde <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları> adresinden alındı
- Ergezer, H., Dikmen, M., & Özdemir, E. (2003). Yapay Sinir Ağları ve Tanıma Sistemleri. *PIVOLKA*, 2(6), 14-17.
- EuroACE. (2015). '*Smart Buildings: Energy Efficiency First!*'. Brussels, Belgium: EuroACE ASBL. Mart 1, 2020 tarihinde [http://euroace.org/wp-content/uploads/2016/07/2015\\_10-EuroACE-Position-Paper-Smart-Buildings.pdf](http://euroace.org/wp-content/uploads/2016/07/2015_10-EuroACE-Position-Paper-Smart-Buildings.pdf) adresinden alındı

- Eurostat. (2020). '*Renewable energy statistics*'. Mart 7, 2020 tarihinde Eurostat Statics Explained: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable\\_energy\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics) adresinden alındı
- Feigenbaum, E., Engelmores, R. S., Freidland, P. E., Johnson, B. B., Nii, H. P., Schorr, H., & Shrobe, H. (1994). *Knowledge-based Systems in Japan*. NASA, United States.
- Feigenbaum, E., McCorduck, P., & Nii, H. P. (1988). *The Rise of the Expert Company; How Visionary Companies Are Using Artificial Intelligence to Achieve Higher Productivity and Profits*. New York, NY: Times Books.
- Fensel, A., Tomic, S., Kumar, V., Stefanovic, M., Aleshin, S. V., & Novikov, D. O. (2013). SESAME-S: Semantic Smart Home System for Energy Efficiency. *Informatik-Spektrum*, 36(1), 46-57.
- Gartner. (2018). '*5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018*'. (P. Kasey, Düzenleyen) Mart 1, 2020 tarihinde Gartner: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/> adresinden alındı
- Ghaffarianhoseini, A., Berardi, B., AlWaer, H., Chang, S., Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A., & Clements-Croome, D. (2016). What is an intelligent building? Analysis of recent interpretations from an international perspective. *Architectural Science Review*, 59(5), 338-357.
- Google. (2015). '*Google Cardboard*'. [Fotoğraf]. Aralık 1, 2019 tarihinde [https://arvr.google.com/intl/tr\\_tr/cardboard/get-cardboard/](https://arvr.google.com/intl/tr_tr/cardboard/get-cardboard/) adresinden alındı
- Gross, M. D. (1985). *Design as Exploring Constraints (Doktora Tezi)*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Gross, M. D. (1990). Relational Modeling: A Basis for Computer-Assisted Design. M. McCullough, W. J. Mitchell, & P. Purcell (Dü) içinde, *The Electronic Design*

*Studio: Architectural Knowledge and Media in the Computer Era.* Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Gullotti, B. (2019). '*Passive Daylighting Systems Could Transform the Architecture of Natural Light*'. Mart 1, 2020 tarihinde HMC Architects: <https://hmcarchitects.com/news/passive-daylighting-systems-could-transform-the-architecture-of-natural-light-2019-05-24/> adresinden alındı

Gürbüz, F. Z. (2009). *Tepkimeli Mimarlık için Öngörüler (Yüksek Lisans Tezi)*. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Hagras, H., Packham, I., Vanderstockt, Y., McNulty, N., Vadher, A., & Doctor, F. (2008). An Intelligent Agent Based Approach for Energy Management in Commercial Buildings. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 152-162.

Harrison, A., Loe, E., & Read, J. (1998). *Intelligent Buildings in South East Asia*. Taylor & Francis.

Hassabis, D. (2016, Ocak 27). '*AlphaGo: Using Machine Learning to Master the Ancient Game of Go*'. (DeepMind) Aralık 1, 2019 tarihinde Google: <https://blog.google/topics/machine-learning/alphago-machine-learning-game-go/> adresinden alındı

Helal, S., Mann, W., El-Zabadani, H., King, J., Kaddoura, Y., & Jensen, E. (2005). The Gator Tech Smart House: A Programmable Pervasive Space. *Computer*, 38, 50-60.

Huang, Z.-Y. (2014). Evaluating intelligent residential communities using multi-strategic weighting method in China. *Energy and Buildings*, 69, 144-153.

James, C. (2016). '*Absolute World*'. [Fotoğraf]. Aralık 1, 2019 tarihinde <https://www.flickr.com/photos/42814714@N03/28860538093/> adresinden alındı

- Jang, J.-S. R., Sun, C. T., & Mizutani, E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall International Inc.
- Jun, J., & Gero, J. (1998). Space layout planning using an evolutionary approach. *Artificial Intelligence in Engineering*, 12, 149-162.
- Kahraman, C., & Kaya, İ. (2012). A fuzzy multiple attribute utility model for intelligent building assessment. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(6), 811-820.
- Kalay, Y. E. (2004). *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design*. The MIT Press.
- Kaldorf, S., Gruber, P., & Wichenko, G. (2002). Practical experiences from developing and implementing an expert system. *ASHRAE Transactions*, 108 (Part 1), s. 826-840.
- Kaya, İ., & 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.
- King, J., & Perry, C. (2017). 'Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings'. American Council for an Energy-Efficient Economy. Mart 1, 2020 tarihinde <https://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/a1701.pdf> adresinden alındı
- Klepeis, N., Nelson, W., Ott, W., & Robinson, J. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A Resource for Assessing Exposure to Environmental Pollutants.

- Kohler, M., & Gramazio, F. (2014). *Made by Robots: Challenging Architecture at a Larger Scale*. *Architectural Design*.
- Kolarevic, B. (Dü.). (2005). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. Taylor & Francis.
- KPMB Architects. (2009). *Manitoba Hydro Place*. [Fotoğraf]. Aralık 1, 2019 tarihinde <https://divisare.com/projects/386636-kpmb-architects-manitoba-hydro-place> adresinden alındı
- KPMB Architects. (2009). '*Manitoba Hydro Place*'. [Şekil]. Aralık 1, 2019 tarihinde <https://divisare.com/projects/386636-kpmb-architects-manitoba-hydro-place> adresinden alındı
- Kuwabara, B., Auer, T., Akerstream, T., Klym, G., Pauls, M., Opie, K., & Peterson, J. (2011). 'Harnessing Climate : Manitoba Hydro Place'. (A. Sebris, Dü.) *High Performing Buildings*, 6-177. Aralık 1, 2019 tarihinde <http://www.hpbmagazine.org/attachments/article/11949/11F-Manitoba-Hydro-Place-Winnipeg-Canada.pdf> adresinden alındı
- Larsson, N. (2004). '*The Integrated Design Process*'. Ottawa: International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE). Aralık 1, 2019 tarihinde [http://iisbe.org/down/gbc2005/Other\\_presentations/IDP\\_overview.pdf](http://iisbe.org/down/gbc2005/Other_presentations/IDP_overview.pdf) adresinden alındı
- Leach, N. (2009). Swarm Urbanism. *Architectural Design*, 79(4).
- Lee, C. C. (1990). Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller. II. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 20(2), 419-435.
- Leung, Y. (1983). Fuzzy Sets Approach to Spatial Analysis and Planning - A Nontechnical Evaluation. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 65(2), 65-75.

- 'Lkit: A Toolkit for Natuaral Language Interface Construction'. (tarih yok). Aralık 1, 2019 tarihinde Teesside University: <https://www.scedt.tees.ac.uk/isg/aia/nlp/NLP-overview.pdf> adresinden alındı
- Lu, T., & Viljanen, M. (2008). Prediction of indoor temperature and relative humidity using neural network models: model comparison. *Neural Computing and Applications*, 345.
- Luo, R. C., Lin, S. Y., & Su, K. L. (2003). A multiagent multisensor based security system for intelligent building. *Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, MFI2003* (s. 311-316). IEEE.
- Luo, R. C., Lin, T., & Su, K. (2009). Multisensor Based Security Robot System for Intelligent Building. *Robotics and Autonomous Systems*, 57, 330-338.
- Mangan, S. D. (2006). *Akıllı Binalarda Alt Sistem Değerlendirmesi: İstanbul Örneği (Yüksek Lisans Tezi)*. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (1995). *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*.
- Mcneel, S. (2018). 'Cove.tool - Optimizing energy costs'. Mart 1, 2020 tarihinde Rhino News, etc.: <http://blog.rhino3d.com/2018/07/covetool-optimizing-energy-costs.html> adresinden alındı
- Michalek, J., Choudhary, R., & Papalambros, P. (2002). Architectural Layout Design Optimization. *Engineering Optimization*, 34(5), 461-484.
- Microsoft. (2019). 'IoT Signals: Summary of Research Learnings'. Microsoft. Mart 1, 2020 tarihinde <https://azure.microsoft.com/mediahandler/files/resourcefiles/iot-signals/IoT-Signals-Microsoft-072019.pdf> adresinden alındı

- Mijwel, M. M. (2015). *History of Artificial Intelligence*. College of Science, Computer Science. Baghdad: University of Baghdad.
- Mozer, M. C. (2005). Lessons from an Adaptive Home. D. J. Cook, & S. K. Das (Dü) içinde, *Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications* (s. 271-294). John Wiley & Sons, Inc.
- Mutdoğan, S., & Wong, T.-C. (2011). Towards Sustainable Architecture: The Transformation of the Built Environment in İstanbul, Turkey. T.-C. Wong, & B. Yuen (Dü) içinde, *Eco-city Planning: Policies, Practice and Design* (s. 239-260). Springer Netherlands.
- Nassar, K. (2010). New Advances in the Automated Architectural Space Plan Layout Problem. W. Tizani (Dü.), *Proceedings of the International Conference In Computing in Civil and Building Engineering*. içinde ICCBE.
- Natale, L. (2004). Linking Action to Perception in a Humanoid Robot: A Developmental Approach to Grasping.
- Ooi, P. L., Goh, K. T., Phoon, M. H., Foo, S. C., & Yap, H. M. (1998). Epidemiology of Sick Building Syndrome and its Associated Risk Factors in Singapore. *Occupational and Environmental Medicine*, 55(3), 188-193.
- Patki, A. B., & Raghunathan, G. V. (1996). Trends in Fuzzy Logic Hardware. *Proceedings of the First Online Workshop On Soft Computing* (s. 180-185). Nagoya: WSC1.
- PLP Architecture. (2015). *'The Edge'*. [Şekil]. Aralık 1, 2019 tarihinde <http://www.plparchitecture.com/the-edge.html> adresinden alındı
- Prairie Architects Inc. (2009). *'Manitoba Hydro Place'*. Aralık 1, 2019 tarihinde <https://www.prairiearchitects.ca/manitoba-hydro-place/> adresinden alındı

- Preiser, W., & Schramm, U. (2002). Intelligent office building performance evaluation. *Facilities*, 20(7-8), 279-287.
- Qolomany, B., Al-Fuqaha, A., Gupta, A., Benhaddou, D., Al-Wajidi, S., Qadir, J., & Fong, A. (2019). *Leveraging Machine Learning and Big Data for Smart Buildings: A Comprehensive Survey*.
- Radziszewski, K. (2017). Artificial Neural Networks as an Architectural Design Tool- Generating New Detail Forms Based On the Roman Corinthian Order Capital. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 245.
- Randall, T. (2015, Eylül 23). *'The Smartest Building in the World'*. Aralık 1, 2019 tarihinde Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/features/2015-the-edge-the-worlds-greenest-building/> adresinden alındı
- Residovic, C. (2017). The New NABERS Indoor Environment tool – the Next Frontier for Australian Buildings. *Procedia Engineering*, 180, 303-310.
- Russakovsky, O., & Fei-Fei, L. (2010). Attribute Learning in Large-scale Datasets. *European Conference of Computer Vision (ECCV), International Workshop on Parts and Attributes*. Crete, Greece.
- Russel, S., & Norvig, P. (2002). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (ikinci b.). Prentice Hall.
- Sabancı. (2015). *'Sabancı Topluluğu Sürdürülebilirlik Raporu'*. İstanbul: Hacı Ömer Sabancı Holding A.Ş. Aralık 1, 2019 tarihinde <https://www.sabanci.com/documents/raporlar/surdurulebilirlik/surdurulebilirlik-raporu-2015-tr.pdf> adresinden alındı
- Sandberg, A., & Bostrom, N. (2008). *Whole Brain Emulation: A Roadmap*. Future of Humanity Institute, Oxford University.

- Santos, R. S., & Qin, L. (2019). Risk Capital and Emerging Technologies: Innovation and Investment Patterns Based on Artificial Intelligence Patent Data Analysis. *Risk and Financial Management*, 12(4), 189-213.
- Schnoedt, H. (1991). Cultural Parametrics. *Reality and Virtual Reality: Mission - Method - Madness: ACADIA Conference Proceedings* (s. 223-234). Los Angeles, CA: University of California.
- Schumacher, P. (2009). Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. *Architectural Design*, 79(4).
- Senagala, M. (2003). Post-spatial Architectures: The Emergence of Time-like Parametric Worlds. *Proceedings of the 7th Iberoamerican Congress of Digital Graphics*. Rosario: SIGraDi.
- Sheppard, S. (2019). 'Autodesk Gallery at Autodesk University in Las Vegas: BIM, VR, and AR for Smart Buildings'. Mart 1, 2020 tarihinde Labs: [https://labs.blogs.com/its\\_alive\\_in\\_the\\_lab/2019/01/autodesk-gallery-at-autodesk-university-in-las-vegas-bim-vr-and-ar-for-smart-buildings.html](https://labs.blogs.com/its_alive_in_the_lab/2019/01/autodesk-gallery-at-autodesk-university-in-las-vegas-bim-vr-and-ar-for-smart-buildings.html) adresinden alındı
- Smith, B. (2020). 'Microsoft will be carbon negative by 2030'. Mart 1, 2020 tarihinde Official Microsoft Blog: <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/01/16/microsoft-will-be-carbon-negative-by-2030/> adresinden alındı
- Smith, S. (1999). The use of quality functional deployment in the design of the office of the future. *Proceedings 2nd International Conference on Construction Management*, (s. 146-155). Sydney.
- Smith, S. (2002). Intelligent buildings. R. Best, & G. de Valence içinde, *Design and Construction: Building in Value* (s. 36-57). Butterworth Heinemann.
- So, A. T.-p., & Chan, W. L. (1999). *Intelligent building systems*. London: Kluwer Academic.

- So, A., & Wong, K. C. (2002). On the quantitative assessment of intelligent building. *Facilities*, 20, 288-295.
- Soleimani-Mohseni, M., Thomas, B., & Fahlén, P. (2006). Estimation of operative temperature in buildings using artificial neural networks. *Energy and Buildings*, 38(6), 635-640.
- Sterrett, S. G. (2003). Turing's Two Tests for Intelligence. J. H. Moor (Dü.) içinde, *The Turing Test: The Elusive Standard of Artificial Intelligence* (s. 79-97). Springer, Dordrecht.
- Sutherland, I. E. (1965). The Ultimate Display. W. A. Kalenich (Dü.), *Information processing 1965 : proceedings of IFIP Congress 65*. içinde 2, s. 506-508. London: Macmillan and Co.
- Swanke Hayden Connel Mimarlık. (2003). *Tekfen Tower*. Aralık 1, 2019 tarihinde [http://turkey.aukettswanke.com/projects/Tefken\\_tower\\_tr](http://turkey.aukettswanke.com/projects/Tefken_tower_tr) adresinden alındı
- Szilagyi, I., & Wira, P. (2018). An intelligent system for smart buildings using machine learning and semantic technologies: A hybrid data-knowledge approach. *2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems* (s. 20-25). ICPS.
- TARGO. (2019). *'The man behind Notre-Dame [VR/360]'*. [Video]. Mart 1, 2020 tarihinde <https://youtu.be/zLuVsFGXukc> adresinden alındı
- Tilleman, R. (2015). *'The Edge'*. [Fotoğraf]. Aralık 1, 2019 tarihinde <http://www.plparchitecture.com/the-edge.html> adresinden alındı
- Togai, M., & Chiu, S. (1987). A fuzzy Logic Chip and a Fuzzy Inference Accelerator for Real-Time Approximate Reasoning. *17th. International Symposium of Multiple Valued Logic* (s. 25-29). Boston, MA: IEEE.

- Turban, E. (1993). *Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems*. Upper Saddle River, NJ, United States: Prentice Hall PTR.
- U.S. Energy Information Administration. (2019). *'How much energy is consumed in U.S. residential and commercial buildings?'*. Mart 1, 2020 tarihinde eia: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=86&t=1> adresinden alındı
- United Nations. (2018). *'Population Division: World Urbanization Prospects'*. Department of Economic and Social Affairs. Mart 1, 2020 tarihinde <https://population.un.org/wup/DataQuery/> adresinden alındı
- USGBC. (2019). *'Recertification Guidance for LEED Buildings'*. U.S. Green Building Council. Mart 1, 2020 tarihinde [https://build.usgbc.org/recert\\_guide\\_LEED\\_buildings](https://build.usgbc.org/recert_guide_LEED_buildings) adresinden alındı
- Vitruvius. (MÖ 1.YY/1826). *'De architectura [The Ten Books on Architecture]'*. (J. Gwilt, Çev.) Lexundria. Aralık 1, 2019 tarihinde <https://lexundria.com/vitr/4.1/gw> adresinden alındı
- Wang, L., Wang, Z., & Yang, R. (2012). Intelligent Multiagent Control System for Energy and Comfort Management in Smart and Sustainable Buildings. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3, 605-617.
- Watanabe, H., Dettloff, W. D., & Yount, K. E. (1990). A VLSI Fuzzy Logic Controller with Reconfigurable, Cascadable Architecture. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 25(2), 376-382.
- WBCSD. (2009). *'Transforming the Market: Energy Efficiency in Buildings'*. Mart 1, 2020 tarihinde <https://www.wbcd.org/Programs/Cities-and-Mobility/Energy-Efficiency-in-Buildings/Resources/Transforming-the-Market-Energy-Efficiency-in-Buildings> adresinden alındı

- Weizenbaum, J. (1966). Eliza - A Computer Program for the Study of Natural Language Communication between Man and Machine. *Communications of the ACM*, 9(1), 36-45.
- Wong, J. (2007). *Development of selection evaluation and system intelligence analytic models for the intelligent building control systems (Doktora Tezi)*. The Hong Kong Polytechnic University.
- Wong, J., & 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, 108-125.
- Wong, J., & Li, H. (2009). Development of intelligence analytic models for integrated building management systems (IBMS) in intelligent buildings. *Intelligent Buildings International*, 1, 5-22.
- Wong, J., Li, H., & Wang, S. (2005). Intelligent building research : a review. *Automation in Construction*, 14(1), 143-159.
- Woodbury, R. (2010). *Elements of Parametric Design*. New York, NY: Routledge.
- Yang, J., & Peng, H. (2001). Decision support to the application of intelligent building technologies. *Renewable Energy*, 22(1), 67-77.
- Yilmaz, T., Foster, R., & Hao, Y. (2010). Detecting Vital Signs with Wearable Wireless Sensors. *Sensors*, 10, 10837-10862.
- Zabada, S., & Shahrour, I. (2017). Analysis of Heating Expenses in a Large Social Housing Stock Using Artificial Neural Networks. *Energies*, 10(12).
- Zadeh, L. A. (1997). Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 90(2), 111-127.