

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ENDÜSTRİ 4.0'IN MİMARLIĞIN GELECEĞİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Semina AKYAPI

Mimarlık Ana Bilim Dalı
Mimarlık Programı

HAZİRAN, 2023

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ENDÜSTRİ 4.0'IN MİMARLIĞIN GELECEĞİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Semina AKYAPI
(Y2013.050015)

Mimarlık Ana Bilim Dalı
Mimarlık Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zülküf GÜNELİ

HAZİRAN, 2023

ONAY FORMU

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Endüstri 4.0’ın Mimarlığın Geleceğine Etkisinin İncelenmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya ’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (21/06/2023)

Semina AKYAPI

ÖNSÖZ

Tez çalışması sürecinde engin bilgisi, birikimi ve tecrübesiyle yoluma ışık tutan, takıldığım noktalarda yardımcı olan, verdiği kritiklerle tezimin gelişmesine katkı sağlayan sayın tez danışmanım Prof. Dr. Zülküf Güneli 'ye teşekkür ediyorum. Ayrıca tez yazım sürecimde verdikleri destek ve gösterdikleri sabır için sevgili aileme teşekkür ediyorum.

Haziran, 2023

Semina AKYAPI

ENDÜSTRİ 4.0'IN MİMARLIĞIN GELECEĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüze kadar üç tane endüstri devrimi yaşanmış olup, içinde bulunduğumuz dönemde ise Endüstri 4.0 olarak da adlandırılan endüstrinin 4. evresine geçiş başlamıştır. Önceki endüstri devrimleri, endüstrileşme süreçlerine getirdikleri yeniliklerle sadece üretim sistemlerini değiştirmekle kalmamış, endüstriden doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenebilecek olan pek çok alanda da köklü bir değişime sahne olmuştur. İlerleyişini devam ettiren Endüstri 4.0'ın belli bir olgunluğa erişmesi durumunda, tüm sektörlerin şu anki hallerinden çok farklı bir boyuta geçmesi beklenmektedir. İçinde bulunulan dönemin göstermekte olduğu ekonomik, teknolojik, siyasi, toplumsal vb. yönlerinden etkilenen mimarlığın, yaşam düzenine bütünüyle tesir etmesi beklenen bu yeni endüstri devriminden de etkilenecek oluşu kaçınılmaz bir gerçektir.

Bu çalışmada, kendisiyle yeni tanışılan ve literatüre Endüstri 4.0 olarak girmiş olan kavramın mimarlık üzerinde yaratabileceği etkilerin, kent ölçeğinden yapı birimine kadar geniş perspektif üzerinden incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma üç kısma ayrılmıştır. Birinci kısımda önceki endüstri devrimleri ve meydana getirdiği toplumsal sonuçlar detaylı olarak açıklanmıştır. Daha sonrasında endüstrileşmenin mimarlık üzerinde ne gibi etkiler sergileyebileceğinin anlaşılması üzerine, Birinci Endüstri Devrimi itibariyle başlayan endüstrileşmeyle birlikte mimarlıkta yaşanan dönüşüm incelenmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında Endüstri 4.0 kavramı üzerinde durulmuştur. Nasıl ortaya çıktığı anlatılmış, kapsamında bulundurduğu ve dünyada pek çok atılıma yol açması beklenen teknolojiler açıklanmıştır. Üçüncü kısım ise çalışmanın esas odaklandığı bölümü oluşturmuştur. Hem sosyal hem de teknolojik olarak yapılan incelemelerle, Endüstri 4.0 ekseninde gelişen ve mimarlıkla bağlantısı olan tüm faktörler, gelecekte mimarlıkta ne gibi farklılaşmalara sahne olabileceği ihtimalleri üzerinde durularak ele alınmıştır. Çalışmanın en sonunda ise elde edilen

bilgiler ışığında değerlendirme yapılmıştır. Edinilen bilgilere ulaşma noktasında yerli ve yabancı pek çok kaynak toplanmış ve incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Endüstri Devrimi, Mimarlık, Yapı Üretimi, Yeni Teknolojiler

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF INDUSTRY 4.0 ON THE FUTURE OF ARCHITECTURE

ABSTRACT

There have been three industrial revolutions to date, and in the current period, the transition to the 4th phase of the industry, also called Industry 4.0, has begun. The previous industrial revolutions not only changed production systems with the innovations they brought to the industrialization processes, but also witnessed a radical change in many areas that could be directly or indirectly affected by the industry. In case Industry 4.0, which continues its progress, reaches a certain maturity, it is expected that all sectors will go to a very different dimension from their current state. It is an inevitable fact that architecture, which is affected by economic, technological, political, social, etc. that period shows aspects, will also be affected by this new industrial revolution, which is expected to affect the living order completely.

In this study, it is aimed to examine the effects of the concept, which has just introduced with itself and entered the literature as Industry 4.0, on architecture from a broad perspective from the city scale to the building unit. The study is divided into three parts. In the first part, the previous industrial revolutions, and the social consequences that they brought were explained in detail. Afterwards, to understand what kind of effects industrialization might have on architecture, the transformation of architecture with industrialization that started from the First Industrial Revolution was examined. In the second part of the study, the concept of Industry 4.0 is emphasized. It has been explained how it emerged and the technologies it covers which are expected to lead to many breakthroughs in the world are explained. In the third chapter, has focused on the main part of study. With both social and technological examinations, all the factors that have developed in the axis of Industry 4.0 and have a connection with architecture have been discussed by emphasizing the possibilities of what kind of differentiations may be seen in architecture in the future. In the last part of study, an

evaluation was made in the light of the information obtained. Reaching the information obtained, many domestic and foreign sources were collected and examined.

Keywords: Industry 4.0, Industrial Revolution, Architecture, Building Production, New Technologies

İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ	i
ÖNSÖZ.....	iii
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xv
I.GİRİŞ.....	1
A. Çalışmanın Amacı ve Önemi	2
B. Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi	2
II. ÖNCEKİ ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ VE MİMARLIK	3
A. Önceki Endüstri Devrimleri	3
1. Birinci Endüstri Devrimi.....	3
2. İkinci Endüstri Devrimi	7
3. Üçüncü Endüstri Devrimi	12
B. Endüstrileşmenin Mimarlığa Etkileri	16
1. Yeni Yapı Malzemeleri.....	16
2. Modern Mimarlığın Ortaya Çıkışı	17
3. Sanayi Kentleri, Modern Şehircilik ve Toplu Konutlar	21
III. ENDÜSTRİ 4.0	27
A. Endüstri 4.0'ın Ortaya Çıkışı.....	29
B. Endüstri 4.0'ın Kavramları	30
1. Siber Fiziksel Sistemler	31
2. Nesnelerin İnterneti.....	32
3. Bulut Bilişim	33
4. Büyük Veri (Big Data).....	34
5. Arttırılmış Gerçeklik	36

6. Simülasyon.....	37
7. Yatay ve Dikey Entegrasyon.....	38
8. Otonom Robotlar.....	39
9. 3B Yazıcılar.....	41
10. Siber Güvenlik.....	43
IV. ENDÜSTRİ 4.0 VE MİMARLIK.....	47
A. Endüstri 4.0 ve Kent.....	47
1. Geleceğin Yaşam Alanları.....	47
a. Endüstri 4.0 ve sosyo-ekonomik faktörler.....	49
b. Endüstri 4.0 ve teknolojik faktörler.....	52
2. Endüstri 4.0 ve Akıllı Şehirler Oluşturma Misyonu.....	57
B. Endüstri 4.0 ve Yapı Üretimi.....	63
1. Yapı Üretimiyle İlgili Endüstri 4.0 ile Örtüşen Yeni Teknolojiler.....	64
a. Yapı Bilgi Modellemesi [Building Information Modeling (BIM)].....	65
b. Akıllı binalar.....	68
c. Prefabrikasyon sistemler.....	71
d. 3B yazıcılar.....	73
e. Robotlar ve dronlar.....	77
2. Endüstri 4.0’da Yapı Üretimiyle İlgili Beklenebilecek Olumlu Sonuçlar ve Zorluklar.....	81
a. Olumlu sonuçlar.....	81
b. Yapı üretiminde 4. evreye geçmeye yönelik zorluklar ve engeller.....	83
C. Geleceğin Mimari Tasarımcıları.....	83
V. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	85
VI. KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	109

KISALTMALAR LİSTESİ

3B	: 3 Boyutlu
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AEC	: Architecture, Engineering & Construction (Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat)
AR	: Augmented Reality (Arttırılmış Gerçeklik)
ARPANET	: Advanced Research Project Agency Network
BIM	: Building Information Modeling (Yapı Bilgi Modellemesi)
BREEM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımlarda İlerleme)
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
EIBG	: European Intelligent Building Group (Avrupa Akıllı Binalar Grubu)
GMBH	: Gesellschaft Mit Beschränkter Haftung (Limited Şirket)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
IBI	: United States Intelligent Building Institute (Amerika Birleşik Devletleri Akıllı Binalar Enstitüsü)
INTEL	: Integrated Electronics
IOT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
LEED	: Leadership Energy Environmental Design (Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik)
M.Ö.	: Milattan Önce
M.S.	: Milattan Sonra
RFID	: Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)
SFS	: Siber Fiziksel Sistemler
TDK	: Türk Dil Kurumu
VR	: Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)
YY	: Yüzyıl

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Buhar Makinesi.....	4
Şekil 2 Bant Tipi Üretim Sistemi.....	9
Şekil 3 Amerika’da 1890-1960 Arası Elektrik Kullanımı	10
Şekil 4 Kristal Saray (1851).....	19
Şekil 5 Steiner Evi (1910).....	20
Şekil 6 Villa Savoye (1931).....	21
Şekil 7 Haussmann Planı Yol Ağları	23
Şekil 8 Ville Radieuse Kent Planı.....	24
Şekil 9 Endüstriyel Devrimler.....	27
Şekil 10 Endüstri 4.0’ın Bileşenleri	31
Şekil 11 Sol: Sanal Gerçeklik Sağ: Arttırılmış Gerçeklik.....	36
Şekil 12 Eğitimde Arttırılmış Gerçeklik	37
Şekil 13 Uçuş Eğitiminde Simülasyon.....	38
Şekil 14 3B Baskı Adımları	42
Şekil 15 Geleceğin Ulaşım Sistemine Yönelik Geliştirilen Bir Modelleme.....	54
Şekil 16 Minority Report Sahnesi	55
Şekil 17 Wall-e Sahnesi	55
Şekil 18 Zihinlerde Oluşan Fütüristik Kent Tasvirine Bir Örnek	56
Şekil 19 Yıllara göre Kentsel Nüfusun Türkiye, Avrupa Birliği ve Dünya’daki Oranları	58
Şekil 20 Boyd Cohen’in Akıllı Şehir Çemberi	60
Şekil 21 BIM ile Binanın Yaşam Döngüsü.....	66
Şekil 22 Sunrise Tower in Kuala Lumpur - Zaha Hadid Architects	68
Şekil 23 AAMI Park Stadium, Melbourne City, Victoria, Australia, 2010 by Cox Architects & Planners	68
Şekil 24 Sol: Victoria Hall Öğrenci Yurdu, Sağ: Yapının İnşası.....	72
Şekil 25 Habitat 67.....	73
Şekil 26 3B Yazıcı ile Yapı Üretimi	74

Şekil 27 3B Yazıcı ile Yapılan 5 Katlı Bina	75
Şekil 28 3B Yazıcı ile Yapılan Köprü.....	76
Şekil 29 Vulcan Pavillion.....	77
Şekil 30 Hadrian X ile Duvar Örme İşlemi.....	78
Şekil 31 Rugged Robotics Otonom Aracı	79
Şekil 32 Mimar Stefana Parascho'nun ve Mühendis Sigrid Adriaenssens'in Robotlarla Yaptığı Enstalasyon	80
Şekil 33 Landesgartenschau Sergi Salonu	80
Şekil 34 Şantiye Haritası Çıkarmak Amacıyla Kullanılan Bir Dron	81

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1 Malzeme Kronolojisi	17
Çizelge 2 Endüstriyel Devrimler ve Ulaşım Araçları	53

I.GİRİŞ

Tarih boyunca toplumsal dinamikleri derinden etkileyebilen pek çok olay yaşanmış olup, üretim alanındaki atılımlarla ortaya çıkmış olan endüstri devrimleri, bunların içerisinde en önemlilerinden olmuştur. 18. yy.'da buhar makinesinin keşfiyle beraber insanlık tarihi için dönüm noktalarından biri olarak kabul edilen Endüstri Devrimi başlamış, zaman içerisinde bilimdeki ve teknolojiadaki ilerlemelerle günümüzde Dördüncü Endüstri Devrimine kadar gelinmiştir. Birinci Endüstri Devriminde buhar gücünün kullanılmasıyla makineleşme çağı başlamıştır. İkinci Endüstri Devriminde elektrik keşfedilmiş ve seri üretime geçilmiştir. Üçüncü Endüstri Devriminde ise elektronik cihazlar ve otomasyon devreye girmiştir. Son olarak, 2011 yılında Hannover Fuarında ilan edilerek yeni bir endüstriyel devrim olarak literatüre geçen ve içinde bulunduğumuz dönemde geçişi yaşanan Endüstri 4.0 ile siber fiziksel sistemlere dayalı üretim süreçleri tanımlanmıştır.

Ekonomiler üzerinde çok büyük bir gücü bulunan endüstri sektöründe hızın, verimliliğin ve kalitenin artırılmasına yönelik olarak sürekli arayış içerisinde olunmuştur. Bu sebeple endüstri sektörü teknolojiye büyük atılımlar yaşanmasına veya ortaya çıkan yeni teknolojilerin yayılmasına büyük katkı sağlamıştır. Gelişen ve yaygınlaşan teknolojiler ise toplumsal yaşantı içerisine entegre olarak sosyal koşulları kökünden değiştirmiştir. Endüstriyel devrimlerin her alanda yeni paradigmaları ortaya çıkartabilmesi, Endüstri 4.0 ile mimarlık alanında da yeni bir evreye geçilebilme ihtimalini ortaya koymaktadır.

TDK 'de "*belirli ölçü ve kurallara göre yapılar yapma sanatı*" (Sozluk.gov.tr, t.y.) anlamına gelen mimarlık yapılı çevre oluşturmada gerçekleşecek olan tüm değişimlere uzaktan veya yakından ilişkilendirilebilecek bir genişliğe sahiptir. Bu açıdan toplumdaki sosyal ve teknolojik değişimlerde mimarlığın etkilenebileceği yönlerin büyük bir kapsam alanı vardır. Endüstriyel devrimler mimariyi bütünüyle etkileyebilecek potansiyele sahiptir. Bunun en net örneği İkinci Endüstri Devriminin ortaya çıktığı tarih aralığı olan 1800'lerin ortalarında yeni teknolojilerden de destek alınarak Modern Mimarlık ve Modern Şehircilik akımlarına geçişin başlamasıyla

olmuştur. Bu örnek olay büyük bir üstel hıza sahip olan Endüstri 4.0'ın da benzer dozajda bir kırılma yapabilme ihtimalinin olup olmadığına yönelik akıllarda soru işareti oluşturmaktadır.

A. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın konusu olan Endüstri 4.0 yeni bir devrim olarak karşımıza çıkmaktadır. İleriki yıllarda dünyanın tam anlamıyla uyum sağlamış olacağı yeni endüstri devriminin mimarlık açısından yaratabileceği etkileri önceden kestirmek ve Endüstri 4.0 doğrultusunda hazırlık yapmak önemlidir. Bu çalışmanın amacı da Endüstri 4.0'ın mimarlık üzerinde yaratacağı değişimlerin detaylı incelemesini gerçekleştirip, olabilecek tüm sonuçlar hakkında ışık tutmaktır.

B. Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi

Tezde öncelikle, önceki endüstriyel devrimlerin neler olduğu ve dünyada yarattığı etkiler açıklanmıştır. Daha sonrasında endüstriyel gelişimin etkisi mimarlık özeline indirgenerek açıklanmıştır. Böylelikle endüstrileşmedeki gelişmelerin mimarlık üzerinde yaratabileceği etkilerin ne kadar radikal olabileceği incelenmiştir. İkinci kısımda Endüstri 4.0'ın ne olduğu, nasıl ortaya çıktığı ve bileşenleri açıklanmıştır. Üçüncü kısımda çalışmanın esas odağı olan Endüstri 4.0 ve mimarlık kısmına girilmiştir. İncelenen dokümanlarla, iki kavram arasında bağlantı kurularak Endüstri 4.0'ın mimarlığın geleceğine etki edebileceği öngörülebilecek tüm yönlere ait başlıklar ve alt başlıklar oluşturulmuştur. Son kısımda bu başlıklarda verilen bilgiler doğrultusunda değerlendirme yapılmış ve sonuçlar açıklanmıştır. Çalışmada yöntem olarak kitap, makale, internet yayını, tez vb. yazılı ve görsel kaynakların taraması yapılmıştır. Elde edinilen tüm bilgiler, nitel ve nicel veriler ve konuyu destekleyebilecek örnekler çalışma bölümlerine ait başlıkların detaylı incelemesinde kullanılmıştır.

II. ÖNCEKİ ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ VE MİMARLIK

A. Önceki Endüstri Devrimleri

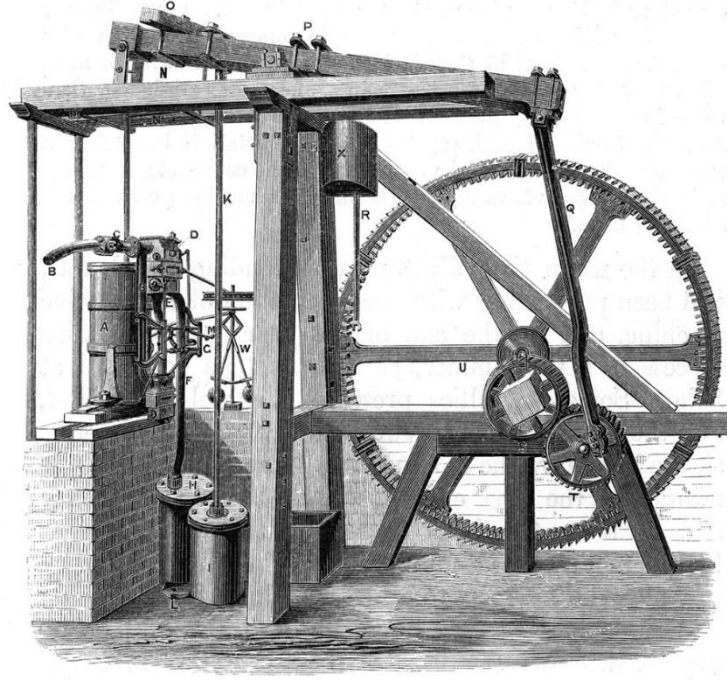
1. Birinci Endüstri Devrimi

Endüstri Devrimi “*teknolojinin, endüstriyel üretimin ve ulaşım olanaklarının gelişmesi ile birçok alanda yaşanan köklü değişim*” olarak tanımlanmaktadır (Biol, 2006). Kavramsal olarak Endüstri Devrimi ifadesi ilk defa 1799 yılında Louis-Guillaume Otto’nun yazmış olduğu bir mektupta geçmiştir. Endüstriyel atılımlar üretim, pazarlama, kaynak planlama, organizasyon yapısı ve yaşam biçimine kadar uzanan küresel bir değişime sebep olmaktadır (Önder, 2021: 26). Bu bağlamda insanlık tarihinin en önemli gelişmelerinden biri olarak nitelendirilebilecek Endüstri Devrimi, toplumların sosyal, ekonomik, kültürel, ticari pek çok unsuru için dönüm noktası olmuştur.

Avrupa’da Aydınlanma Çağı, Rönesans ve Reform hareketlerinin etkisiyle rasyonalizmin gelişmesi ve bilim-sanat alanlarında düşünsel özgürlüğün meydana gelmesi Endüstri Devrimine ortam hazırlamıştır. Bunun yanı sıra coğrafi keşiflerin ve sömürgecilik eylemlerinin Avrupa’ya kattığı zenginlik de bilim alanında yatırım yapılabilmesinin önünü açmıştır.

Endüstri Devriminin ortaya çıktığı ülke İngiltere’dir. İngiltere diğer Avrupa devletleri gibi İspanyol yağmacılık faaliyetleriyle zenginleşen bir ülke olarak, 1753 yılında Fransız askerlerini yenerek Hindistan’daki Babür İmparatorluğu’nun hazinesini ele geçirmesiyle servetini iyice arttırmıştır. Dokuma makineleri için teknik buluşlar 1758 ve 1791 yılları arasında yapılmış olup, bu durum o dönemdeki İngiltere hazinesinin yüksek geliriyle ilişkilendirilmektedir. Ayrıca İngiltere endüstri için gerekli olan kömür ve demir doğal kaynaklarına sahip olması açısından da avantajlıdır. Bunun yanı sıra dönemin etkin sömürge devletlerinden biri olarak sahip olduğu donanma sayesinde hem endüstri için gereken hammaddeyi hem de üretimlerini satacağı pazarları bulmada zorluk yaşamamıştır (Tarihiolaylar.com, t.y.).

İngiltere’de o dönem tekstil endüstrisi gelişmiştir. Yünün yerine pamuk geçmiş ve pamuklu ürünler dünya tekstil pazarında yoğun talep görmüştür. Ancak yoğun talep karşısında insan gücü yetersiz kalmış ve buhar gücüne geçiş zorunlu hale gelmiştir (Görçün, 2016: 13). Halihazırda makinayla ilgili gelişen yeni tekniklerin yanı sıra 1763 yılında James Watt tarafından buhar makinasının icat edilmesi endüstri için kırılma noktası olmuştur. Üretimde yerini alan buhar makinası ile Avrupa’da sermaye girdisi artmış ve Endüstri 1.0 dönemine geçilmiştir. Endüstri Devrimiyle birlikte kitlesel ve standartlaşmaya dayalı üretim başlamıştır. Bu dönem kömürün, buhar gücünün, demirin, demiryolunun ve tekstil sektörünün başı çektiği bir dönem olmuştur.



Şekil 1 Buhar Makinesi (Bilimgenc.tubitak.gov.tr, 2019)

Büyük tarım araçlarının kullanıma başlanması bir sonucu olarak tarımdaki işgücü ihtiyacı azalmıştır. Öte yandan endüstrinin gelişmesiyle endüstri ürünlerine artan talep karşısında işgücü gereksinimi oluşmuştur. Kırsal alanlarında yaşayan ve çiftçilikle uğraşan halk, yaşam alanlarını terk ederek kentlere göç etmeye başlamıştır (Önder, 2021: 28). Tarımdan endüstriye geçişe örnek olarak Amerika Birleşik Devletleri’nin verileri incelenebilmektedir. 1900 yılında birincil sektördeki aktif nüfus oranı %42’iken, 1970 yılında %5’e düşmüştür (King, 2016: 29). Pre-endüstriyel

toplum adını alan tarım, hayvancılık ağırlıklı toplum yapısı Endüstri Devrimi sonrası modern toplum yapısı olarak nitelendirilen endüstriyel toplumlara dönüşmüştür.

Endüstri Devrimi öncesi üretim alanları atölyeler, üretim sınıfı ise vasıflı zanaatkardı. Ancak devrimle birlikte makinelerin toplanabileceği fabrika alanları kurulmaya başlanmış, kol gücüyle gerçekleştirilen üretimin yerine makineleşme gelmiştir. El emeği odaklı ve hünere gerektiren iş kolları zayıflamış ve vasıfsız işgücü sayısı artmıştır. Vasıf ihtiyacının kayboluşu işçilere düşük ücretlerle çalışmayı kabullendirmiştir (King, 2016: 24). Bu durumla meydana gelen geçim sıkıntısı, kadınların ve hatta çocukların dahi üretime girmesine sebep olmuştur. 17-18 saatleri bulan zorlu çalışma koşulları pek çok çocuğun bünyesini zorlayarak can kaybetmesine sebep olmuştur (Önder, 2021: 29).

Buhar gücü yalnızca üretimi değil ulaşım sistemlerini de etkilemiştir. Önceleri kömür madenlerinde ve tekstil atölyelerinde kullanılan buharlı makinelerin geliştirilmesiyle, trenler ve gemiler yapılmıştır (Menga, 2019: 4). Özellikle demiryolu Endüstri Devriminin ön plana çıkan gelişmeleri arasına girmiştir. Demiryolu ve denizyolunun gelişimi uzak mesafelere ulaşımın önünü açmış olup, ulaşımı kolaylaşan coğrafyalardan getirilen ve yeni tanışılan ürünlerle Avrupa'da ticaret güçlenmiş, daha kaliteli ve ucuz üretim materyallerinin yabancı topraklardan getirilebilmesi tedarik masraflarını azaltmış ve talebi arttırmıştır. Gidilen yabancı topraklardaki hammadde tedariki ise o bölgelerin yerlilerinin günlük yiyecek karşılığı çalıştırılmasıyla elde edilmiş, bu durum köleleştirilenin yaygınlaşmasını hızlandırmıştır (Görçün, 2016: 26-29).

Demiryolu ulaşımının gelişmesi, iletişim unsuru olan posta taşımacılığını da geliştirmiştir. Endüstride ve ticaretle ilerlemek adına, bilgi aktarımı ve bilgiye ulaşımın da zamanlamasının hızlı olması önemli olmuştur. Bu bağlamda Avrupa'nın pek çok yerine posta teşkilatları kurulmuş ve zaman geçtikçe pek çok noktaya daha eklenerek artış göstermiştir (Görçün, 2016: 21).

Seri ve standartlaşmış üretim, üretim alanında köklü değişiklikleri meydana getirmiştir. Bu durumun sonucunda da Avrupa Devletlerinin ekonomisi baştan yapılanmış, özerkleşen bir ekonomik sistem doğmuştur. Ticari kısıtlamaların kalktığı, arz-talep ilişkisinin kurulduğu, üreticinin çıkarının refah artışının sağlayıcısı olarak

görüldüğü yeni bir sisteme (en genel tabiriyle kapitalizme) geçiş yaşanmıştır (Roth, 2017: 553).

Endüstri devrimi, toplumsal yapıda yarattığı değişimler sonrasındaki gelişmeler silsilesinin de hazırlayıcısı olmuştur. Duman (2008: 105) bu durumu şu şekilde açıklamıştır: *“Sanayi devrimi sonrasında yaşanan, sosyal, ekonomik ve demografik hareketlilik, bir açıdan devrimleri kaçınılmaz hâle getirmiştir. Çünkü sanayi devrimi hem üretim sürecinde kol gücünün yerine bilim, teknoloji ve makineleşmeyi ikame etmiş hem de artan işgücü ihtiyacı nedeniyle kentlerde nüfus yığılmalarının ve kitlesel göçlerin yaşanmasına, yeni sınıfların (burjuva, proleter vb.) ve ideolojilerin (komünizm, sosyalizm, nasyonalizm, vb.) doğmasına, emek ve sermaye arasındaki çelişkinin büyümesine ve bu çelişkiyi çözmeye çalışan sendikal örgütlenmenin meydana gelmesine yol açmıştır. Hatta sanayi devriminin doğurduğu hammadde ihtiyacı ve pazar bulma arayışı sanayileşmiş ülkelerin emperyalist politikalar geliştirmelerine de neden olmuştur.”*

Endüstri Devrimi farklı toplumsal sınıflar arası farklı etkiler meydana getirmiştir. Ortaya çıkan kapitalizm olgusu soylu olmayan, ticaretle uğraşan burjuva sınıfını ortaya çıkarmıştır. Kırdan kente gelen yoğun nüfus, işçi sınıfı adını alan bir tabakayı oluşturmuştur. İşçiler uzun saatler boyunca düşük ücretlerle çalışmıştır. Ayrıca yaşadıkları ve çalıştıkları alanlar, yetersiz havalandırılan ve sıkışık mekânlar olmuştur. Kentlerdeki yoğunlaşma evlere olan talebi de arttırmış, bu durumu fırsata çeviren ev sahipleri de kira fiyatlarını yüksek tutmuştur (Menga, 2019: 7). Tüm bu koşullar işçilerin emeğinin karşılıksız kaldığı bir yaşam şeklini oluşturmuştur. Ancak zamanla oy kullanma, sendikalaşma ve grev haklarından mahrum kalan işçiler toplumun gitgide bilinçlenmesiyle bazı haklar talep etmeye ve kazanmaya başlamıştır. İşçiler sosyalizmin etkisinde kalmıştır. Karl Marx ve Friedrich Engels’in felsefi ideolojisi Bilimsel Sosyalizm, Protestanlar ve Proletarya arasındaki çatışma ortamını arttırmıştır. Sosyalizm, komünizme geçişe sebep olmuştur (Tarihiolaylar.com, t.y).

Endüstri Devrimiyle gelen hammadde ve pazar ihtiyacı silah gücünü de elinde bulundurarak diğer ülkelerde hakimiyet kurabilen devletlerin sömürge yarışını başlatmıştır. Bu rekabetin Birinci Dünya Savaşı’nı başlatan etmenlerden biri olduğu da kabul edilmektedir (Menga, 2019: 6).

Devrim sonucunda bilimin ve bilimsel çalışmanın ekonomik kalkınma ve zenginleşme üzerindeki rolü anlaşılmıştır. Devletler devrimden sonra bilimsel çalışmalara daha fazla yatırım yapmaya başlamış ve teknik gelişmeler hızlanmıştır. 19. Yüzyılda teknolojik icatlar patlama yapmıştır (Menga, 2019: 6).

Endüstri Devrimi toplumun yaşantı şekline dahi tezahür eden pek çok sonuca sebep olmuştur. Günay (2002) bu durumu şöyle açıklamıştır: *“Konut ve iş yeri birbirinden ayrıldı. Fabrikalardaki kitlesel üretim kentleşmeyi ve kent hayatını değiştirdi. Sanayi bölgeleri etrafında kurulan kentler, insan trafiğinin doğmasına yol açtı. Yaşama biçimi toplumun sosyolojik yapısında değişim ve dönüşümlere yol açtı. Aile, geniş aile tipinden çekirdek aileye dönüştü. İnsan hayatının bütün alanlarına fabrikada yürürlükte olan düzenleme tarzı sızdı. Eğitim kurumlarının düzeni de fabrika düzeninden etkilendi. Modern sanayi hayat tarzının musiki de bile yansımaları oldu. Solo musiki yanında, koro halinde icra olunan musiki tarzı gelişti. Batıda toprak sahipleri olan Aristokratlar yerine, sermaye sahibi olan burjuvazi toplumun üst ve saygın kesimi ortaya çıktı. Toplumun kurum ve yapıları değişirken, bunlara paralel olarak, değer, norm ve davranış kalıpları değişti.”*

2. İkinci Endüstri Devrimi

İlk Endüstri Devriminden takriben 100 yıl geçtikten sonra, İkinci Endüstri Devrimi 1850’li yıllarda başlamıştır. Birinci Endüstri Devriminde İngiltere’nin başı çektiği rolü bu devrimde Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri üstlenmiştir (Günay, 2002). İkinci Endüstri devrimini oluşturan ve dinamize eden unsurlar petrol, içten yanmalı motor, elektrik-elektrikle çalışan motor, çelik, telgraf ve telefon olmuştur.

İkinci Endüstri Devrimi de tıpkı ilki gibi yeni enerji kaynaklarının keşfiyle verimliliği yükseltmek üzerine oluşmuştur. Kömür, o dönemde çıkarılması ve taşınması zor ve maliyetli bir kaynaktı. Kömürle çalışan buhar makinesi ise %93 enerji kaybetmekteydi. Ayrıca hızlı tüketimi hammadde tedarikini arttırmakta, bu sebeple endüstriye ait pek çok alan depolamaya ayrılmaktaydı. Tüm bu sebepler, endüstri sektörünü yeni bir enerji kaynağı arayışına itmiş (Görçün, 2016: 52), bu dönemin endüstriyel üretimde ve ulaşımda başat aktör olan enerji kaynakları petrol ve elektrik olmuştur.

Daha öncesine kadar doğal yollarla elde edilebilen petrol, teknolojik ilerlemelerle sayesinde geliştirilen yeni delme teknikleriyle çıkartılabilmeye

başlanmıştır. 1859 yılında Edwin Drake ABD’de ilk petrol kuyusunu açmıştır. İlk başlarda buhar makinelerinde kullanılan petrol yine de istenilen düzeyde verime ve etkinliğe çıkamamıştır (Görçün, 2016: 52-54). Bu durumun imdadına da içten yanmalı motorlar yetişmiştir.

1876 yılında Alman Mühendis Nikolaus Otto doğal gaz ile çalışan içten yanmalı motoru icat etmiştir. Aradan birkaç sene geçtikten sonra Gottlieb Daimler petrole çalışan motor üretmiş, Karl Benz ise yakıtı ateşleyen bir cihaz geliştirmiştir. Bu gelişmeler ışığında hem petrolün verimli bir enerji kaynağı olarak kullanılmasının adımları atılmış hem de 20. yy.’dan itibaren büyük bir önem kazanacak olan otomotiv sektörünün temelleri atılmıştır. Bunun yanında elektrikte de gelişmeler görülmüştür. 1831 yılında Micheal Faraday mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren dinamoyu icat etmiştir. Ancak elektriğin aktif kullanımı bu tarihten çok sonra, 1873 yılından itibaren başlamıştır (Kennedy, 1991: 64).

Kömürün enerji kaynağı olarak kullanımının geride bırakılmasının ardından üretim operasyonları yeniden yapılanmış ve tedarikte, üretimde ve tüketimde yeni bir evreye geçilmiştir. Bu noktada yeni enerji kaynaklarının getirdiği avantajların üretime yansması söz konusu olmuştur. Eskiden uzun sürmesi ve güvenilirliği düşük olması sebebiyle gecikme riskleri taşıyan ulaşım araçlarına maksimum hammadde yerleştirilirken, ulaşımdaki hızın ve kalitenin artış göstermesiyle optimum seviyelerde taşımacılık yapılabilmeye başlanmıştır. Fabrikalarda buhar gücüyle çalışan devasa ebatlara sahip makinelerin kaldırılmasıyla alan açılmış, ayrıca yüksek depolama zorunluluğunun ortadan kalkmasıyla boş mekânlar meydana çıkmıştır. Kazanılan bu alanlar fabrikalara çok daha fazla makinenin yerleştirilebilmesi anlamına gelmiştir. Daha fazla makine daha fazla üretim ve daha fazla kazanç denklemi İkinci Endüstri Devrimiyle birlikte arzı talebe yaklaştırmaya başlamıştır (Görçün, 2016: 55-57).

Üretimin artışıyla paralel giden bir talep artışı oluşmuş, endüstri yatırımcıları için artık odak konusu büyüyen talebe yanıt vermek olmuştur. Makine sayısının ve istihdamın artırılması bir yere kadar işe yaramış olsa da performansı arttırmak adına başka yöntemlerin de geliştirilebileceği düşünülmüştür. Bu noktada fabrikaların iç düzeninde, ergonomide ve iş planlamasında değişikliklerin yapılması fikirleri doğmaya başlamıştır. Bu fikirlerin arasında, Frederick Winslow Taylor tarafından ortaya atılan görüşler ışığında Taylorizm adını alan üretim yöntemi en önemlisi olmuştur. Taylorizm’de işin parçalara bölünmesi ve her bir iş bölümü için uzmanlaşma söz

konusudur. Ayrıca üretimde hiyerarşik bir yapılanmayla herkes kendi işi üzerinde sorumluluk sahibi olmaktadır. Dönemin otomotiv endüstricisi Henry Ford Taylorizm'in etkisinde kalmış ancak bazı eksikliklerin olduğunu düşünmüş ve değişiklikler yapmıştır. İş parçalamasını çok daha küçük birimlere kadar ayırabileceğini fark etmiş ve uygulamıştır. Ancak bu durum kalifikasyon ihtiyacını da azaltmış ve basitleşen işler emeğin de daha ucuza satılmasıyla sonuçlanmıştır. Yaptığı esas önemli değişiklik ise Bant Tipi Üretim Sistemi'ni getirmesidir. Henry Ford fabrikada çalışan elemanların tezgahlar arası taşımaları zaman kaybı olarak değerlendirmiş, işin hareket eden bantlar üzerinde gerçekleştirilebileceği bir yöntem keşfetmiştir (Görçün, 2016: 57-64). Henry Ford'un bu fikirleriyle endüstri tarihine Fordizm olarak adlandırılan yeni bir üretim tekniği girmiştir. Bu kavram Endüstri 2.0 ile öyle çok özdeşleşmiştir ki, pek çok literatür kaynağında İkinci Endüstri Devrimi Fordizm olarak nitelendirilmektedir (Tuncel, 2023: 19). Fordizm seri üretim dönemini başlatmış ve ileriki yıllara kadar uzanmıştır. Üretimin artması ürünlerin fiyatlarını da düşürmüştür. Ucuzlama özellikle Henry Ford'un endüstrisi olan otomotive yansımış ve otomobiller toplumda çok daha yaygınlaşmıştır.

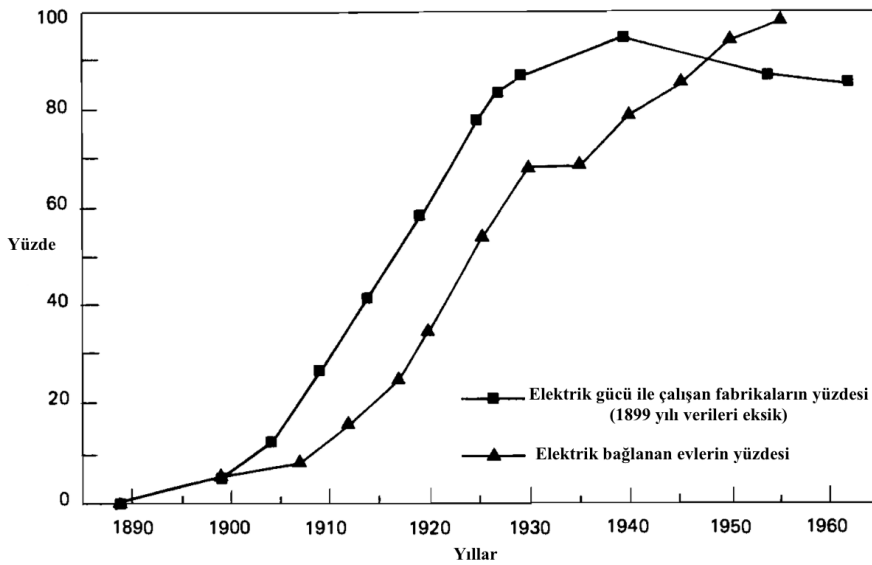


Şekil 2 Bant Tipi Üretim Sistemi (Makiindustrial.com, 2020)

İkinci Endüstri Devriminde çelik, üzerinde yapılan çalışmalarla pek çok alanda kullanılan bir materyal haline gelmiştir. 1856 yılında İngiliz madenci Henry Bessemer çeliğin maliyetini yedide bir düşüren bir yöntem bulmuştur. 1863 yılında Fransa'da Siemens-Martin ya da açık fırın olarak adlandırılan yeni bir çelik üretim yöntemi geliştirilmiştir. 1878 yılında S.G. Thomas ve Percy Gilchrist adlı iki İngiliz Bessemer

yöntemini yüksek oranda fosfor içeren demire uygulamıştır. Bu gelişmelerden sonra çelik, yüksek dirençli ucuz metale ihtiyaç duyulan demiryolu ulaşımı ve inşaat gibi sektörlerde demirin yerine geçmiştir. Bu dönemde kimya endüstri için de büyük gelişmelerin yaşanması söz konusu olmuştur. Kömür yan ürünlerinden sentetik boyalar üretilmiştir. Bu, doğal boya sağlayan doğu ülkeleri için olumsuz bir durum yaratmıştır. Boyanın yanı sıra aspirin, suni gübre gibi pek çok farkı sentetik ürünler de ortaya çıkmıştır. Yüzyılın sonlarına yakın bir tarihte tekstilde de sentetik ürünler görülmeye başlanmıştır. Artık tarımın dışındaki tüm sektörler için makineleşmeye geçilmiş, ilk defa elbise ve ayakkabı fabrikaları açılmıştır (Kennedy, 1991: 65).

Makineleşmenin matbaacılıkta göstermiş olduğu etki, gazete ve kitap maliyetlerini yarıya indirmiştir. İnşaat sektöründe vinçlerin ve elektrikli bıçıkların kullanımı başlamıştır. Gramofon, telefon gibi yepyeni teknolojilerle de Endüstri 2.0 döneminde tanışılmıştır. Elektrik ışığı ve telefon devlet tarafından halka sunulmaya başlamıştır. 1820’de elektrik ışığının bulunması, 1879’da Thomas Edison’un ince flamanlı ampülü icat edişi ve 1880’lerde elektrik santrallerinin kurulmasından sonra elektrik ışığı gündelik yaşama tesir etmiş ve konforu arttırmıştır. Teknolojinin gelişmesi ulaşımı da etkilemiştir. 1863’te Londra’da ilk metro açılmış, 1890’da elektrikle çalışmaya başlamıştır. 1900’de Paris’de, 1902’de ise Berlin’de başka metro hatları kurulmuştur (Kennedy, 1991:71). Burada elektriğin yalnızca endüstriyel üretimi etkilemediği, diğer tüm alanlarda pek çok yeniliği beraberinde getirdiği de ifade edilebilmektedir.



Şekil 3 Amerika’da 1890-1960 Arası Elektrik Kullanımı (Ayres, 1990: 31)

Endüstrinin 2. evresi, telekomünikasyonun hayata girişiyle iletişim alanında da bir dönüm noktasıdır. Özdoğan (2019:12) “*elektriğin yaygınlaşması ile üretilen yeni teknolojiler üretimi arttırmış ve bu ürünlerin pazarlanmasına olanak tanıyan yeni iletişim ve taşıma kanalları keşfedilmiştir*” diyerek elektriğin keşfiyle gelen teknolojik ve sosyal dönüşümü ifade etmiştir.

İkinci Endüstri Devrimi’nde iletişim alanındaki ilk icraatlar telgraf ve telefon olmuştur. Telgraf ilk endüstri devriminde bulunmasına karşın, 1895-1901 arasında Guglielmo Marconi tarafından telsiz telgraf olarak geliştirilmiştir. 1876 yılında da Alexander Graham Bell telefonu icat etmiştir. Telekomünikasyonun bu gelişimiyle, iletişim için zaman ve mekân kısıtlılıkları giderilmiş, iletişimin ulaşım olan muhtaciyeti ortadan kalkmıştır. Bilgi artık daha fazla depolanabilir ve analiz edilebilir hale gelmiştir. Böylelikle elde edinilebilen bilgi de artmıştır. Telgraf ve telefonun yanı sıra daktilo, ucuz gazete, fotoğraf, radyo, sinema ve en sonunda 1936’da televizyon yeni iletişim unsurları olarak hayata girmiştir (Önder, 2021: 31-33).

Endüstrinin ikinci evresiyle tarımda, besin güvenliğinde ve sağlık alanında da iyileşmeler oranlara yansıyan bir ilerleme katetmiştir. Bu dönem Fransa’da bebek ölümleri %50 azalmış, Birleşik Krallıkta insan ömrü 30 yıldan 50 yıla çıkmıştır (Önder, 2021: 30).

İkinci Endüstri Devrimi’nin petrolü sahneye çıkartması, ulaşım sistemlerini günümüz koşullarına yaklaştırmıştır. Demiryolu ve denizyolunun hiç olmadığı kadar gelişmesine ek olarak, bir diğer ulaşım sistemi olan karayolları da bu dönemde ciddi bir yapılanma geçirmiş, yol şebekeleri kurulmuştur.

Petrolen yola çıkarak gelişen bir diğer sektör petrokimya endüstrisi olmuştur. 1940’lardan itibaren petrol ürünleri katalizör ile pek çok farklı hammaddeye dönüştürülmüş olup giyim, tarım, gıda sektörü, kişisel ürünler gibi pek çok alana ait ürünlerde kullanılmıştır. İkinci Endüstri Devrimiyle birlikte günlük hayatın pek çok yerinde kullanılan plastikle tanışılmıştır (Görçün, 2016: 84).

İkinci Endüstri Devrimi’nin sosyo-ekonomik pek çok etkisi olmuştur. Dünya tarihinde en büyük ekonomik büyüme 1800’lerin sonunda gerçekleşmiştir. Endüstrileşmenin yaşandığı devletlerde yaşam standartları artmış ve sağlık, ulaşım, hizmet alanlarında gelişmeler görülmüştür (Özkan, 2019: 6). Endüstri Devrimi ve aydınlanma ile güçlenen ulus devletler ve merkezi yapılar; yollar, istasyonlar, elektrik

hatları gibi alanlarda yaptıkları büyük yatırımlarla yaşamın her alanına girip güçlerini arttırmıştır. Kapsamlı kurum yapısına ve yönetime sahip olan ve bu yatırımları yapabilen şirketler de karar alıcıları etkiyebilecek bir güce kavuşmuştur. İkinci Endüstri Devriminde, en fazla gelişmeye imza atan ABD artık bir dünya devi konumuna gelmiştir. Teknolojik ilerlemenin emtia fiyatlarını düşürmesi tüketim toplumu adını alan sosyolojik yapının da doğmasına sebep olmuştur (Sarıkulak, 2008: 25).

Birinci Endüstri Devrimi'nde kapitalizmin babası olarak anılan ekonomist Adam Smith tarafından ortaya atılan ekonomik görüş, İkinci Endüstri Devrimi zamanında Fordist üretim yönteminin ve Birinci Dünya Savaşı'nın meydana getirdiği sonuçlarla doğmuş olan 1929 ekonomik buharıyla sarsılmıştır. Yeni bir ekonomik sistem, John Maynard Keynes tarafından Keynesyen Teori adıyla ortaya atılmış ve kabul edilmiştir. Keynesyen Teori'nin prensiplerinin uygulanmasıyla devletler bazı durumlarda piyasayı denetleyebilmiş ve düzenleyebilmiştir.

Keynesyen Teori 'den sonra emeklilik ve yaşlılık maaşı, iş güvencesi, çalışma koşullarının iyileştirilmesi, sağlık sigortası gibi meselelerin gündeme gelmesiyle sosyal devlet düzeni yerleşmiştir. Avrupa hem ekonomik krizden hem de doğudaki komünist hareketlerin tehdidinden bu şekilde kurtulmuştur. Bu sosyal anlayışlar, Avrupa Ülkeleri'nin refah devlet statüsüne ulaşmasında da bir etken olmuştur (Sarıkulak, 2008: 25).

3. Üçüncü Endüstri Devrimi

İkinci Endüstri Devrimi'nin bilimsel gelişmelerinin son basamağı 1950 sonrası dijitalleşme üzerine yapılan çalışmalar olmuştur. Nihayetinde 1970'lere gelindiğinde dijital devrim olarak tanımlanan 3. Endüstri Devrimi başlamıştır. Bu devrime geçiş, ikinci dünya savaşıyla çalkantılı bir döneme girilmiş olmasından dolayı daha geç gerçekleşmiştir (Önder, 2021: 34). Endüstri 3.0 dönemi sürmekte olup, teknolojinin günümüzde geldiği noktanın ilk perdesidir. İlk iki endüstri devriminin temel değişim faktörü enerji alanında olurken üçüncü endüstri devrimi için dijital cihazların, otomasyonun ve internetin merkezi konumda olduğu ifade edilebilmektedir.

Üçüncü Endüstri Devrimiyle teknolojik gelişmeler büyük bir ivme kazanmıştır. Bu dönem parçacık fiziği, nükleer silahlar, uzay teknolojileri alanlarında çalışmalar başlamıştır ki Üçüncü Endüstri Devrimi söz konusu bu teknolojilerden ötürü uzay çağı,

atom çağı gibi isimler de edinmiştir. Rusya'nın Sputnik isimli uydusunun 1957'de fırlatılmasından sonra ülkeler için soğuk savaş dönemi kapanmış, ay savaşları dönemi başlamıştır (Önder, 2021: 34).

1950 sonrası dijital dönüşüm başlamış, enformasyon dijitalleşmiş, insanlar tarafından üretilen veri enformasyonu artmış, nüfusun artışı ve dijitalleşmenin etkisiyle bireylerin birim zamanda gerçekleştirebildiği eylemlerin sayısı artmış, hızlı ve çözüm odaklı pratik ev aletleriyle insanlar pek çok işi fiziksel güçleriyle yapmayı bırakmıştır. İnternetin de dahil olmasıyla, devrimsel nitelikte veri alışverişi başlamıştır. Bilginin bilgisayar üzerinden kaydının başlamasıyla çağdaş yazılım sistemlerinin temelleri atılmıştır. Aynı zamanda elektronik ve dijital teknolojilerin bir araya gelmesiyle programlanabilir makineler ortaya çıkmış ve otomasyon dönemi başlamıştır. Enformasyonun ve teknolojinin bu dönemdeki büyük atağı, yepyeni iş kollarını açarak istihdamı arttırmış ve eğitim seviyesini yükseltmiştir (Aksoy, 2017: 37; Önder, 2021: 35-37).

Birinci Endüstri Devriminde makinelerin mekanik gücü kullanılmış, ikincisinde daha büyük enerji kaynaklarıyla organizasyon kapasitesine katkısı olan mekanik sistemler kurulmuştur. Üçüncü Endüstri Devriminde ise işlerin kontrolünde ve görece yönetiminde makineler devreye girmeye başlamıştır. Böylelikle akıllı makineler çağı başlamıştır (Banger, 2016: 48). Endüstriyel robotlar üretimde rol almaya başlamıştır.

İkinci Endüstri Devriminin elektrik- elektronikteki atılımları dijital cihazların da temeli olmuştur. Bu dönemde çağın radikal eşyalarından biri olan bilgisayarla ilgili icatların ilk örnekleri görülmeye başlanmıştır. İlk programlanabilen bilgisayar 1936-1938 yılları arasında Kondrad Zuse tarafından icat edilmiştir. 1943'te ise Tommy Howers, Colossus adındaki dünyanın ilk programlanabilir elektronik bilgisayarını geliştirmiştir (Özdoğan, 2019: 14). Ancak bilgisayarın kullanımının kolaylaşması Üçüncü Endüstri Devrimi ile olmuştur. Küçülüp, evlere ve iş yerlerine girebilecek düzeye gelse de hâlâ DOS olarak kısaltılan yazılım sistemiyle çalışan bilgisayar, o döneme kadar programlama dili bilgisine sahip belirli kişilerce kullanılabilmiştir. Bu sorun, Bill Gates ve Paul Allen tarafından 1985 yılında sunulan ve Windows adını alan pencere sisteminin geliştirilmesiyle çözülmüştür. Öte yandan Steve Jobs ise bilgisayarda mouse'un (fare) parça olarak eklenmesine öncülük ederek, kodlarla çalışma zaruriyetini ortadan kaldırmıştır. En sonunda ise Robert Noyce ve Gordon Moore'nin İntegrated Electronics Co. (Intel) şirketinde silikon mikroçiplerin

üretimiyle, büyük ve pahalı transistörlerin kullanım zarurieti ortadan kalkmış ve bilgisayar daha da küçülüp ucuzlamıştır. Tüm bu gelişmeler bilgisayarı endüstrilerin, işletmelerin ve bireylerin vazgeçilmezi haline getirmiştir (Görçün, 2016: 109-110).

Dönemin bir diğeri büyük gelişmesi ise interneti ortaya çıkartan, Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığınca kurulan Advanced Research Project Agency Network yani kısaca ARPANET'tir. ARPANET ile paket dağıtımına, yani dijital bilgilerin kurulu ağdan başka bir bilgisayara nakledilmesi işlemine öncülük edilmiştir (Özdoğan 2019: 17). Sarıkulak (2008: 28) insanlık tarihinde yaşama internet kadar tesir eden ve yaşamı bu denli dönüştüren bir şeyin nadiren ortaya çıktığını ve internetle toplumsal ilişkilerin baştan tanımlandığını, açtığı yeni yollarla dünyayı küçülttüğünü ifade etmiş, insanların dünyayı anlık takip edebilme ve etkileyebilme olanağına internet ile sahip olduğunu belirtmiştir. İnternet insanlar için katılımcılık aracı olmuş, internete bağlanılabilen her yerde süreçlere katılımında bulunma ve süreçleri etkileme söz konusu olmuştur.

İkinci Endüstri Devrimi ile ortaya çıksa da kayda değer bir değişim göstererek Üçüncü Endüstri Devriminin önemli unsuru haline gelen bir diğeri cihaz telefon olmuştur. Telefon hatları, tüm dünyayı kaplayan fiber optik kablolarla sınırlar içerisinde kalmaksızın ve veri kaybı yaşanmaksızın hızlı bilgi transferini olanaklı hale getirmiştir. Analog telefonların yerine dijital telefonlar almış, telefon küçülmüş, taşınabilir hale gelmiştir. 1990'ların ortalarında elektronik özellikleri gelişmiş olan cep telefonları hayatın bir parçası olmaya başlamıştır (Görçün, 2016: 112).

Üçüncü Endüstri Devrimiyle kapitalist endüstriler için yeni bir dönüşüm başlamıştır. Dönemin iki büyük siyasi yaklaşımı olan komünizm ve kapitalizm çatışması, 1989 Berlin Duvarı'nın yıkılması ve 1991 Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nin yıkılmasıyla komünist tarafın çökmesiyle sonuçlanmıştır. Böylelikle kapitalist endüstriler komünist bloktaki pazarlara erişebilmeye imkân bulmuştur. Ancak, büyük bir problemle karşı karşıya kalmışlardır. Ulaşılan yeni bölgelerin tüketicileri çok farklı alışkanlıklara ve beklentilere sahip olmuştur. Bu sebeple, tüketicinin isteklerine uymayı ve tüketicinin isteklerini kendine uydurmayı gaye edinen endüstriler için artık üretimin esas odağı tüketici olmuştur. Dünyanın her yerinde birbirinden farklı özelliklere sahip tüketiciyi kazanabilmek, farklı isteklerine uyum sağlayıp kişiselleştirilmiş ürünleri karşılamak ve en kaliteliyi en ucuza bulma arayışlarına yanıt verebilmek için endüstrilerin kökten bir dönüşüm sergilemesi zaruri

hale gelmiştir. Endüstriler kaliteyi ucuza sağlayabilme amacıyla, yeni bir yöntem olarak dış kaynak kullanımına geçmiştir. Bu kapsamda kazanç getirmeyen tüm operasyonlar, dış şirketlere devredilmiştir. Zamanla tutulan bu yöntem, üretimin kendisine kadar inmiş, üretimsel süreçler mikro parçalara kadar ayrılmıştır. Dış kaynak kullanımı sistemi, uluslararası düzeye kadar çıkmıştır. Artık endüstrinin küresel bir hal aldığı, farklı işlemlerin farklı ülkelerde gerçekleştiği bir dönem başlamıştır. Elbette ki üçüncü endüstri devriminin dijitalleşmeyle ulaşımda ve iletişimde devrim yaratması bunun önünü açmıştır. Bilgisayar ve gelişmiş iletişim teknolojileri veri işleme, depolama ve hız özellikleriyle uzak mesafeler arasında entegrasyon ve koordinasyon sağlamıştır (Görçün, 2016: 96-114).

İletişim ve ulaşımında yeni bir oyuncu olarak giren ve üçüncü endüstri devrimiyle dünyada kendine önemli yer edinen internet ve havayolu ulaşımı, insanlığa daha öncesine nazaran çok daha fazla ve sıkı bir toplumsal ilişki kurma fırsatı tanımıştır. Birinci Endüstri Devrimi için demiryolu ve denizyolu, İkinci Endüstri Devrimi için karayolu ulaşımın yeni öğeleri olarak ifade edilirse, Üçüncü Endüstri Devriminin de havayolu ile öne çıktığı ifade edilebilmektedir (Sarıkulak, 2008: 26).

Buhar, kömür, petrol ve elektrik enerjilerinden sonra üçüncü endüstri evresinde nükleer enerjinin kullanımı başlamıştır. Dönemin bir özelliği de kaynakların hızla tükenmesinin gündem konusu olması bu bağlamda sürdürülebilirlik kavramının önem kazanmaya başlamasıdır. Güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır.

1970'lerden itibaren, tüketici merkezli bir endüstrinin meydana gelmesiyle reklam ve marka olgularının önem kazanması ve bunun sonucunda tüketim toplumunun çeşitlenen istekleri İkinci Endüstri Devriminden beri işlevini sürdürmekte olan Fordist üretimi modelini tıkamıştır ve yeni bir modele geçilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Standart ürünler, müşterinin kişiye göre farklılaşan ve sabit kalmayıp hızla değişim gösteren beklentilerine yetişememiş, bu durum sonucunda kitlesel üretimle gereğinden çok daha fazla ürün üretilmeye başlanmıştır. Nitekim, yeni ulaşım ve haberleşme-iletişim teknolojilerinin varlığı endüstrinin kendini yeniden yapılandırmasına ve esnekleşebilmesine yaramıştır. Üretim modeli değişmiş, kitlesel ve standart üretim gerçekleştirilen Fordist model terk edilmiş ve yerine daha az (optimuma ayarlanmış) üretim yapılan ve çeşitlilik sağlanabilen üretim modeli Postfordizm'e geçilmiştir.

Fordizm-Keynesyen Ekonomi arasındaki uyumlu çalışma, üretimin yeni modeli olan Postfordizm ile sarsılmıştır. Sonuç olarak liberal ekonomi tekrardan gündeme gelmiş, ancak bu sefer farklı bir modeliyle karşı karşıya kalınmıştır. Yeni dünya ekonomi düzenin adı Neoliberalizm olmuştur. Serbest piyasa ekonomisi olarak açıklanabilecek yeni sistem, dışsal müdahalenin engellenmesi, piyasanın kendi doğal seyriyle ilerlemesidir (Dalbay, 47-55).

Dijital çağ, endüstriciler için dışa açılabilmenin yolu olmuştur. Sosyal anlayışları sebebiyle emeğin pahalılığını savunan Batılı Devletlerde, yatırımcılar endüstrilerini işgücü maliyetini düşürebilmek adına uzak mesafelere taşımıştır. Bunun sonucunda, Üçüncü Endüstri Devrimi, ucuz işgücüne sahip Çin, Japonya, Güney Kore gibi devletleri güçlü endüstriye sahip devletler olarak sahneye çıkarmıştır.

B. Endüstrileşmenin Mimarlığa Etkileri

1. Yeni Yapı Malzemeleri

Malzeme konusu, bir yapının görsel ve işlevsel niteliklerini belirlediğinden mimarlık mesleğini doğrudan ilgilendirmektedir. Tarih boyunca doğal haliyle ya da geliştirilen tekniklerle yapay olarak oluşturulan pek çok malzeme yapılar için kullanılmıştır. Ancak, Aydınlanma Çağında fizik-kimya alanlarında toplanılan bilgiler ve Endüstri Devrimi gelişmeleri ışığında malzeme konusunda başka bir boyuta geçildiği ve malzemede endüstrileşmenin yaşandığı ifade edilebilmektedir. 20. yy.'da yaşanan İkinci Endüstri Devrimi de uzay, otomotiv, savunma endüstrisi gibi alanlardaki gelişim çabalarının da desteğiyle bu süreci devam ettirmiştir. Sonuç olarak, maddelerin kimyasal ve atomik özellikleriyle dahi oynanarak çok farklı malzemelerin üretilebildiği bir döneme geçiş yapılmıştır (Yıldız ve Seçkin, 2019: 11). Endüstri Devrimi mimarlık ve şehircilik anlayışlarında pek çok değişimlere sahne olsa da esas vurucu noktası malzeme konusundaki gelişmeler olmuştur. İleriki yıllarda binaların formu, cephe tasarımı, geçilebilen açıklık miktarı, şeffaflık oranı, yüksekliği niteliklerinin hepsinde daha özgür bir tasarım anlayışı doğacaktır.

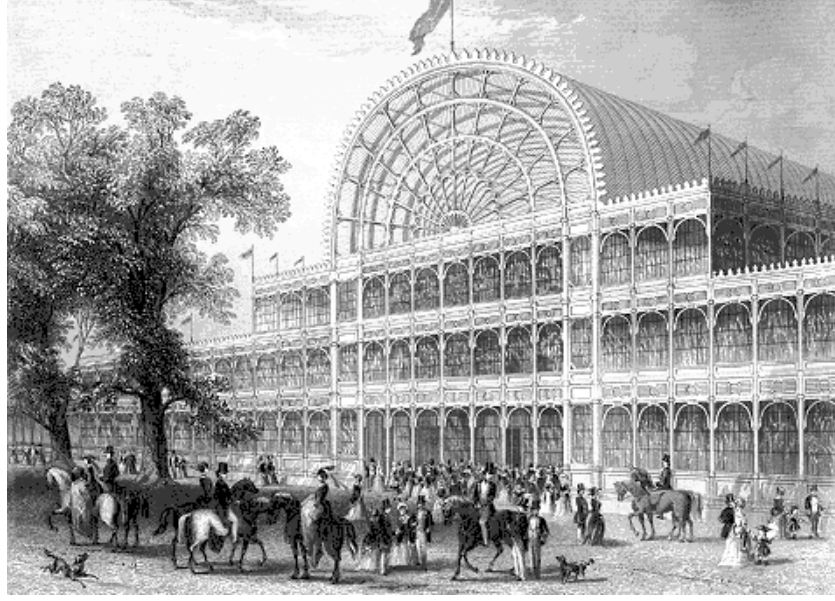
Birinci Endüstri Devrimi demirde, İkinci Endüstri Devrimi ise çelikte nam salmıştır. Çeliğin ve demirin gelişimiyle daha fazla açıklık geçilmiş, artı olarak camın da yapılardaki ebatları büyümüştür. Endüstrileşmeyle kullanılabilmeye başlanılan malzemelerin içerisinde özellikle yapı sektörü için radikal bir değişikliğe sahne olan

Doğan Hasol Endüstri Devrimiyle mimari dönüşümü “*tarımsal düzen içerisinde sınırlı tabii malzemelerle beslenen ve yüzyıllar boyunca edinilen tecrübelerle mükemmelleşen köklü yapı ve detay anlayışı endüstri devrimi ile birlikte birdenbire değişti*” (Doganhasol.net, 1996) şeklinde açıklamıştır.

Endüstri Devrimi cam, dökme demir, çelik ve beton malzemelerini mimarlık dünyasına sokarak, yapı tasarımı ve üretimi anlayışını kökünden değiştirmiştir. Endüstriyel malzemelerin mimarlık için potansiyelinin keşfi mimarlığı değiştirmiş (Yapidergisi.com, t.y.) mimarının de endüstrileşmesinin önünü açmıştır.

Modern Mimarlık adını alan olguyla 19. Yüzyılda geçmiş dönemlere itina eden süslemeli cephelere sahip yapılar terk edilmeye başlanmış, onun yerine işlevin, kurgunun ve taşıyıcı sistemin ön plana geçtiği yapılar geçmiştir. Geçmişin Neoklasik ve Eklektik anlayışlarının üslup kaygıları ortadan kalkarak, yaşam ve mekân arası ilişkinin ön plana geçtiği bir anlayış başlamıştır (Akyürek ve Pekışık, 2001: 19).

19. yüzyılda yeni malzemeler, yeni yapım teknikleri ve ülkelerin arasındaki teknolojik rekabet fuar yapısı adını alan yeni bir bina türünü ortaya çıkartmıştır (Biol, 2006). 1851 yılında Joseph Paxton tarafından tasarlanan, Londra’da inşa edilen ve İngiltere’nin fuar merkezi olarak kullanılan Kristal Saray (Crystal Palace); standart cam levhalardan oluşan cephesi ve modüler dökme demir kolon-kirişlerden oluşan strüktürüyle (Roth, 2017: 575) kalın duvarların kalktığı, iç-dış mekân bağlantısının güçlendiği ve ağırlıktan kurtulunan bir yapı olmuştur. (Özer, 1964). Ayrıca kısa zamanda yetiştirilmesi gereken bu yapı; daha öncesinde makinelerin yapı üretimini hızlandırdığını fark eden, bu bağlamda prefabrikasyonu savunan ve prefabrikasyon alanında çalışmalar yapan Joseph Paxton’un zaferi olmuştur. Prefabrikasyon ile ilgili girişimler daha sonrasında da devam etmiş ve özellikle 1960-70’lerde çok popüler olmuştur (Wilkinson, 2015: 72-74). Kristal Saray’dan sonra Gustave Eiffel tarafından inşa edilen Eiffel Kulesi ve Makineler Galerisi (Galerie des Machines) de yeni teknolojiyle doğan yeni tasarım anlayışının önemli birer örneği olmuştur.



Şekil 4 Kristal Saray (1851) (Arkitektuel.com, t.y.)

Yeni malzemelerin kullanımı 19. Yüzyıl boyunca kamu yapıları ve köprüler özelinde olmasına karşın (Borden et al, 2015: 380) çelik, cam ve betonarme sistemiyle yüksek katlı sivil mimari yapıların da yapılabileceği ilk kez Amerika'nın Şikago kentinde Home Insurance Company binasının inşasıyla anlaşılmıştır. Demiryolunun gelişi ve kereste fabrikalarıyla Amerika'nın o dönemdeki en önemli şehirlerinden biri olan Şikago'da 1871'deki büyük yangın üzerine yeniden inşa süreci başlamıştır. İş alanı olarak yoğun arazi talebi olan bölgede, binaların yükselmesi mecburi hâle gelmiştir. Çok yüksek olmasa da Mimar William Le Baron Jenney tarafından tasarlanan ve 1885'te inşa edilen çelik iskeletli Home Insurance Company binası gökdelenlere kadar uzanacak olan yapı tipinin öncüsü olmuştur (Wilkinson, 2015: 100-101).

Dönemin bilimsel ve teknolojik çalışmaları, sanatta ve mimarlıkta yeni akımları doğurmuştur. Mimarlıkta özellikle 1890 yılında başlayan Art Nouveau, yalın ve doğadan ilham alınarak gerçekleştirilen tasarımlarla, teknolojik gelişmelere uyum sağlamayan Eklektisizm ve Neoklasizm'e karşı bir tutum oluşturması açısından önemlidir. Böylelikle, tarihsel bir mimari anlayışın yerine yeni malzeme ve teknikleri benimseyen, çağa uygun ve yalınlaşmış bir mimari anlayış olan Modern Mimarlığın temelleri atılmıştır (Birol ,2006).

Adolf Loos, Tony Garnier ve August Perret tarafından Art Nouveau'nun söz konusu yalınlaşma amacı, belli konularda çakışmış belli konularda ise farklılaşmış bir

yaklaşım ile ele alınmış böylelikle Erken Modernizm 'in temeli atılmıştır. Adolf Loos “*süsleme suçtur*” diyerek yapının simgesel değerini reddetmiş ve yapının en düşük maliyetle yapılması gerektiği, ancak ekonomik bir yapının topluma hitap edebileceği görüşünü savunmuştur (Biol, 2006). Tasarımı olan Steiner Evi (1910) bu savı için örnek teşkil etmiştir.



Şekil 5 Steiner Evi (1910) (Architectuul.com, t.y)

Modern Mimarlığın dönemin bilimi ve teknolojiyle ilişkisi iki yönden kurulmuştur: Birinci bilimsel düşünce yapısının mimari kuramlarda yer bulması, ikincisi ise yeni teknolojilerin tasarımsal problemlerin çözümü için kullanılmasıdır (Gündüz, 2013).

Modern Mimarlık De Stijl, Fütürizm ve Konstruktivizm gibi akımlarla devam etmiştir. Ancak Modern Mimarlığı klasik dönemine getiren süreci başlatan Bauhaus akımı olmuştur. Walter Gropius tarafından 1919 yılında kurulan Bauhaus okulunda verilen eğitimle, endüstrinin teknik yanıyla sanatı ve zanaatı birleştirmeyi hedefleyen ekol uluslararası üslubun temelini atmıştır.

Gropius standartlaşmanın konut üretiminde ekonomiyi, rasyonelleşmenin ise ekonomiye ek olarak kaliteli bir yaşamı getireceğini belirtmiş ve yüzyıl sürecek olan mimari tutumun düşüncesini ortaya atmıştır (Gropius, 1967).

Uluslararası Üslubu uygulayan pek çok mimar arasında Le Corbusier ve Mies van der Rohe tasarımları ve fikirleriyle öne çıkan temsilcilerden olmuştur. Le Corbusier'in 1931 yılında inşa edilen Villa Savoye adlı tasarımında da uygulamış olduğu ve yeni mimarlık için ilan ettiği ilkeler uluslararası üslubun özellikleri

olmuştur. Söz konusu 5 ilke şunlardır: zemin kullanımını için binayı pilotiler üzerinde yükseltmek, düz çatılardan çatı bahçesi oluşturma, serbest plan, serbest cephe ve bol ışık alımının sağlanması için bant pencerelerin kullanımı.



Şekil 6 Villa Savoye (1931) (Arkitektuel.com, t.y.)

Mies Van der Rohe; basit geometriler, işlevsellik ve ayrıntılarla yapıları tam bir yetkinliğe ulaştırmayı hedeflemiştir. Disiplin, sadelik, mükemmellik ve düzeni içeren evrensel bir mimari dil oluşturmayı amaçlamıştır. Ayrıca binaların gelecekteki işlev değişikliklerine uyarlanabilmesini ve yıkılmamasını savunarak kalıcılık ve esneklik kavramları gündeme getirmiştir. Mies van der Rohe'nin sadeliği savunduğu “*Less is More*” sözü mimarlık tarihinde yer edinmiş bir söz olmuştur (Bırol, 2006).

Modern Mimarlığın doruk noktası Uluslararası Üslup ile yaşanmıştır. Ancak zamanla Modern Mimarlık için de diğer üsluplar gibi karşıt görüşler ortaya çıkmaya başlamıştır. Özellikle 2. Dünya Savaşı sonrası yeniden inşa çalışmaları kapsamında yıkılan yerler için hızla yeni konut üretme politikaları bu durumu körüklemiştir. Zamanla Modern Mimarlık ilkelerinin kısıtlayıcı ve çeşitlilikten yoksun olduğuna yönelik görüşler Brütalizm, Geç Modernizm, Postmodernizm ve Dekonstrüktivizm gibi akımları ortaya çıkartmıştır.

3. Sanayi Kentleri, Modern Şehircilik ve Toplu Konutlar

Endüstri Devriminin toplumsal paradigmlar üzerindeki bütüncül etkisi, toplumların yaşam alanları olan kentlere de tesir etmiştir. Fabrikalaşma, kentler için sanayi alanı olarak nitelendirilen bölgeleri oluşturmuş ve bu alanlara yoğun insan akını olmuştur. Kentleşme Endüstri Devrimiyle kullanılmaya başlanan bir tabir haline gelmiştir.

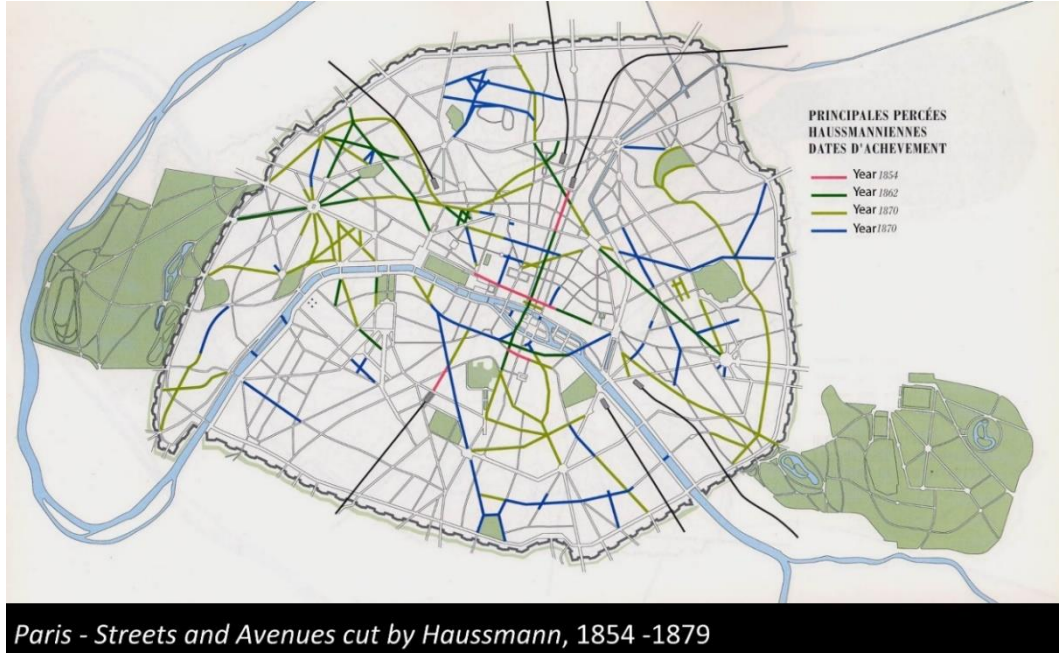
19. yüzyılda ticaretin ve endüstrinin hızla yükselmesi karşısında Orta Çağ kent yapısının çöküşü başlamıştır. Dönemin rasyonelleşme arzusu dinin otoritesinin zayıflamasına yol açmış, bu durumun yapılaşmaya yansması ise Orta Çağ zamanında dini yapıların inşasına verilen değerin azalması ve daha çok kamuya hitap eden yepyeni yapıların kentlerin parçası haline gelmesi olmuştur. Endüstri sektörüne eleman yetiştirecek olan eğitim kurumları, yeni konutlar, hizmet binaları, mağazalar gibi yapılar bu yeni yapılara örnek verilebilmektedir. Özellikle bankacılık sektörü ve banka-borsa yapıları, yeni burjuva sınıfının gözünde paranın sahip olduğu değerden ileri gelen bir popüleriteye kavuşmuştur (Birol, 2006; Ragon, 2010: 17-18).

Endüstriyle meydana gelen göç, kentler için çok yoğun bir nüfus anlamına gelmiş, mülk sahipleri kentlerde olan bu göç krizini fırsata çevirmiş ve konutlara alabildiğince insan yerleştirmiştir. Yüksek kiralarla ve düşük maaşlarıyla sıkışık konutlarda yaşayan işçi sınıfı, yoksul konut mahallelerini oluşturmuştur. Arazi alanı kazanç olarak değerlendirilmiş, bahçe ve yeşil alan gibi kavramlar önemini yitirmiştir. Sonuç olarak fabrikaların, demiryollarının ve maden ocaklarının çevresinde yeni sanayi kentleri kurulmuştur. (Ragon, 2010: 18-19). Kentler bu yoğun insan yığılması karşısında doğru bir planlamaya tabi tutulmamıştır. Yapılar kentlerde sıkışmış, ulaşımda ve altyapıda eksiklikler görünmüş, kentte çöp yığınları oluşmuş, fabrika ve maden ocakları çevre kirliliğine sebep olmuştur. Bu insan sağlığını olumsuz etkileyebilecek etkenler beraberinde salgın hastalıklarının da oluşumuna sebep olmuştur.

Endüstri Devrimi sonrası kentlerde baş gösteren problemlere ilk çözüm arayışları Ütopik Sosyalist kuramcılar tarafından yapılmıştır. Robert Owen (1771-1758), Saint Simon (1760-1825), Charles Fourier (1772-1837), Etienne Cabet (1788-1856), Victor Considerant (1808-1893) bu dönemde kentler için kendi ideal kent fikirlerini atmış ve kent ütopyalarını oluşturmuştur.

Endüstri sonrası kentler için yaratılan pek çok ütopya bulunmasına karşın yeterli teknik donanıma sahip olmayan bu kuramcılarının fikirleri uygulamaya geçmemiştir. Kentlerin kötü gidişatını önlemeye ve kentleri yenilemeye yönelik uygulamaların ilk örneği, 1852'de Baron Haussmann tarafından Paris de başlatılan Paris'i modernize etmeye yönelik çalışmalar olmuştur (Olgun, 2010: 100-101).

Haussmann'ın yaptığı plan sonucunda kanalizasyon sistemleri yenilenmiş, açılan yeni ve geniş cadde ve bulvarlarla kentle banliyöler arasındaki kopukluk giderilmiş, yeni park alanları oluşturulmuş, toplu taşımacılık geliştirilmiş, yapıların cepheleri yeniden tasarlanarak kente düzenli bir silüet verilmiştir (Benevolo, 1995: 202-209; Arkitera.com, 2022).



Şekil 7 Haussmann Planı Yol Ağları (Arkitera.com, 2022)

Haussmann'ın planı Modern Şehircilik için bir öncü olmuştur (Olgun, 2010: 101). İleriki yıllarda La Corbusier de Modern Şehircilik açısından önemli çalışmalara imza atmıştır. Hatta 1993 yılında gerçekleşen Uluslararası Modern Mimarlık Kongresi'nde kararlaştırılan ve Modern Mimarlığın ana hatlarını oluşturan 4 ilke onun liderliğinde belirlenmiştir. Söz konusu 4 ilke şu şekildedir (Le Corbusier, 2009: 88):

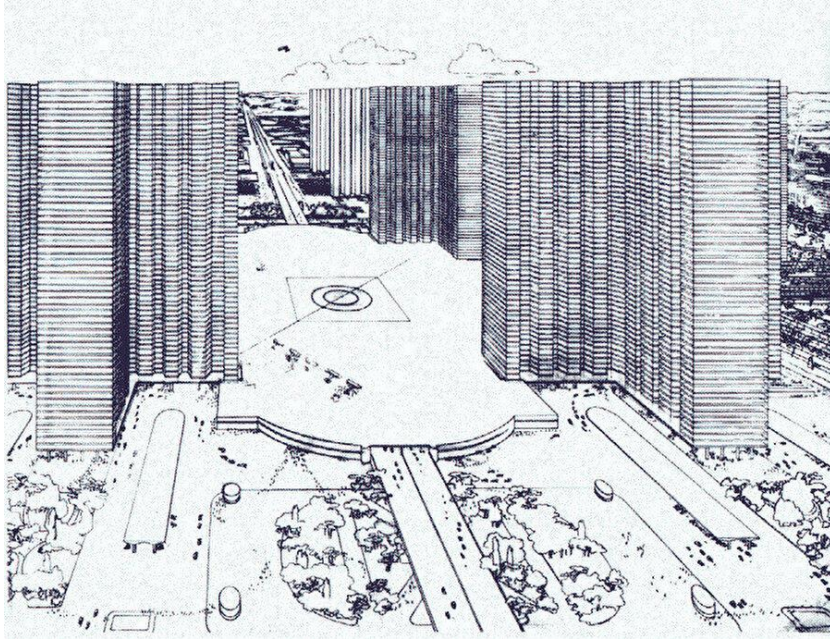
- Sağlıklı konut, temiz hava ve yeterli güneş alımı unsurlarının sağlanması
- İşyerlerinin insanın doğal yaşantısına uygun hale getirilmesi
- Boş zamanlar için tesislerin yapılması
- İlk 3 maddedeki unsurlar arası bağlantıyı sağlamak adına yol şebekelerinin oluşturulması

Ancak Haussmann'ın planlamasındaki en büyük eleştiri konusu bireyselliğinin ve içine kapanıklığının yok edilmesi amaçlanan kent halkının, birbiriyle bütünleşmesi adına farklılıklarının yok edilmesi, adeta makineleşme devriminin getirdiği standardizasyonun insanlara uygulanmasıdır. Bir diğer eleştiri konusu ise tarihi

mirasın korunmaması olmuştur. Modernistlerin gelenekselciliğe karşı tutumu, tarihi değere sahip eski yapıların da tahribine yol açmıştır (Cantek, 2006: 175; Olgun, 2010: 109).

Ütopik Sosyalist kuramcılarının önerdikleri planlardaki konut fikirleri, toplu konutun ortaya çıkışına zemin hazırlamıştır. İlk olarak Sovyetler Birliği, kuramcılarının fikirlerinden ilham alarak toplu konut uygulamaları gerçekleştirmiştir. 1920'li yıllarda komün adı verilen konutlar yapılmaya başlanmıştır (Diler, 1996: 14-15).

Toplu konutu ortaya çıkartan bir diğer faktör ise Modern Mimarlık olmuştur. Yeni teknolojilerle prefabrikasyon, standardizasyon gibi kavramların mimarlığa girişi konuta karşı düşünsel tutumu değiştirmiş ve konuta bir makine gibi yaklaşılmasına sebep olmuştur (Diler, 1996: 8). Modern Mimarlıkta toplu konut gelişimine en yakın duran mimar ise La Corbusier olmuştur. 1924 yılında Ville Radieuse (The Radiant City) planındaki yüksek yapılarla yeşil alana yer bırakan ve bol güneş alan bir tasarım yapmıştır (Gzt.com, 2021).



Şekil 8 Ville Radieuse Kent Planı (Gzt.com, 2021)

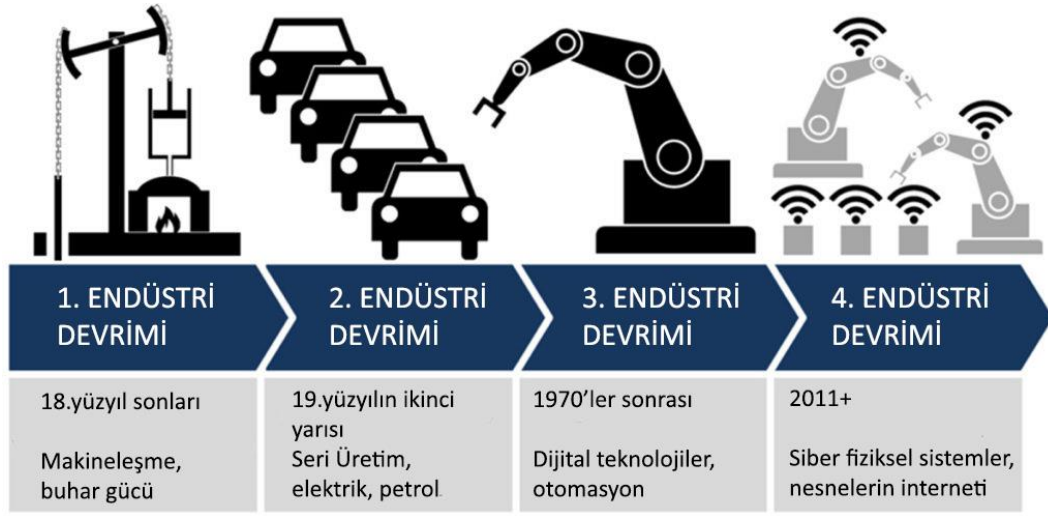
La Corbusier'in bunun dışında da toplu konutla ilgili çalışmaları devam etmiştir. 1930 ve 1932 yıllarında Zürih ve Cenevre'de yaptığı konutlarda mahremiyet kavramı üzerinde yoğunlaşmıştır. Her birim konut, yalnızca bir aileye ait olmuş ve pencereler ailelerin birbirini görmesini engelleyecek şekilde konumlandırılmıştır (Diler, 1996: 23). 1947 ve 1957 yılları arasında inşa edilmiş olan Unite d'Habitation'da da apartman

bloğu içerisine postane, banka, arşı gibi kullanımlar yerleştirerek karma kullanıma örnek bir yapı tasarlamıştır. La Corbusier'in bu rasyonalist fikirlerinin günümüz toplu konutlarının gelişiminde de büyük bir etkisi olmuştur (Relph, 1987: 195).

La Corbusier'in dışında da konut üzerine çalışmalar yapılmıştır. Clarence Arthur Perry 1923'te komşuluk nitesi kavramını ortaya çıkarmıştır. Walter Gropius 1929'da Berlin'de yaptığı yeşille izole edilmiş ve en fazla güneş alabilecek şekilde yerleştirilmiş apartman bloklarıyla yeşilin, temiz havanın ve güneşin önemi üzerinde durmuştur (Diler, 1996: 20-22).

III. ENDÜSTRİ 4.0

Endüstri 4.0; internetin, dijital teknolojilerin ve yazılım sistemlerinin bir araya gelmesi ile, nesnelerin birbirleriyle olan iletişiminin ve koordinasyonunun gerçekleştirilebilecek en yüksek düzeye çıkartılmasına dayanmaktadır. Endüstrinin son evresi olarak, günümüzde geçişi yaşanmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9 Endüstriyel Devrimler

Üçüncü Endüstri Devriminin getirdiği otomasyon teknolojileri, zaman içerisinde kaydettiği ilerleme ile bünyesine yeni özellik ve görevler eklemiştir. Bugün Endüstri 4.0 olarak anılan kavramın Üçüncü Endüstri Devrimi ile başladığını ve Üçüncü Endüstri Devriminin bir uzantısı olduğunu savunan görüşler de mevcuttur. Ancak Dünya Ekonomik Forum'un kurucusu olan Klaus Schwab, Dördüncü Endüstri Devrimi'nin diğer endüstri devrimleriyle ayrı ele alınmasının ana sebebi olarak 3 unsuru göstermiştir:

- Hız: Diğer devrimlerin aksine Dördüncü Endüstri Devrimi doğrusal değil üstel bir hızla gelişme göstermektedir. Ortaya çıkmış teknolojiler, yeni ve çok daha yetenekli başka teknolojilerin de ortaya çıkmasının önünü açmaktadır.
- Genişlik ve derinlik: Dijital devrim tabanlı bir şekilde birey, toplum, iş hayatı ve ekonomi nezdinde ciddi paradigma değişimlerine doğru yönelten çeşitli teknolojileri karşımıza çıkarmaktadır.

- Sistem etkisi: Ülkelerin, şirketlerin ve sektörlerin kendi içerisinde ve birbirleri arasında ve tümünün sonucunda da bütün toplumun yapısında görülecek olan sistemsel dönüşümü ifade etmektedir (Schwab, 2016: 5-6).

Akıllı fabrikaların akıllı üretim yapması ve sonucunda da akıllı ürünlerin meydana gelmesi Endüstri 4.0'ın temelini oluşturmaktadır. Üretimde tüm cihazlar, makineler, robotlar birbirleri ile etkileşim içerisine girmektedir. Üretimin değer zincirlerinin tümünü kapsayacak bir şekilde (hammadde temininden dağıtım evresine kadar) organizasyon yapısı optimize edilebilmektedir. Ağ sistemlerinin geniş kapasitesi ile şirketler, ürünler, üretim merkezleri, dağıtım merkezleri arasında entegrasyon sağlanmaktadır. Bu entegrasyon sayesinde bilgi transferi hızlanmaktadır. Üretim evrelerinin herhangi bir kısmında görülen sorunlarda ya da değişen koşullar sonucunda yazılım sistemlerinin kendini yeniden yapılandırma yeteneği ile iyileştirme ve geliştirmeler yapılabilmektedir. Endüstri 4.0 ile sistem kendini yönetebilmekte, denetleyebilmekte ve kendi üzerinde düzeltmeler gerçekleştirebilmektedir.

Endüstri 4.0'da üç teknoloji ön plana çıkmaktadır. Bunlar gerçeklik ve sanallık arasında oluşturulmaya çalışılan bağın temel öğeleri olan nesnelerin interneti, siber fiziksel sistemler ve bulut bilişim sistemidir. Canlı-cansız tüm varlıkların eylemlerinin izlenmesine yarayan gömülü aygıtlar ile veriler sayısallaşmakta, dijital süreçlerde yer bulmaktadır. İnternet bağlantısıyla bulut bilişim sistemi; cihazları birbirlerine, süreçlere ve parametrelere eşzamanlı ve bağlı olarak çalıştırmaktadır. Üretim sistemi yüksek bağlantı kapasitesiyle günümüz şartlarından çok daha kapsamlı bir hale gelecektir.

Robot teknolojisinin, makineler ile bilgisayarların otomatik veri aktarım özelliğinin birleşmesiyle oluşan ilişik yapının insana olan mental ve fiziki ihtiyacı minimuma indirmesi beklenmektedir. Üretimde hata payı azalacak, eş güdümlülük ve ani sorun tespit ve çözüm kabiliyetiyle hız artacaktır. Kaynaklar sayısal veriler ile minimum düzeyde temin edilecek, var olanak kaynaklar ile maksimum ürün elde edilebilecektir. Gerekli enerji miktarı belirlenebilecek, israf önlenecektir. Robotların çalışma süresi daha uzun olacak ve özellikle geceleri aydınlatmaya olan ihtiyaç azalacaktır. Tüm bu gelişmeler ile zamandan, malzemedan, enerjiden tasarruf sağlanacak ve sürdürülebilir üretim artacaktır. 1989 yılında kurulan Amberg fabrikasında, işlerin 4'te 3'lük kısmı makinalar ile gerçekleşmekte, geri kalanında insan gücü kullanılmaktadır. Fabrikada çalışan işçiler üretim bandında sadece ürünü

yerleştirmekte, geri kalan tüm süreçte makinalar görev almaktadır. Mamul üretilen bu fabrikada bir günde 60 bin müşteriye ürün sevkiyata hazır hale getirilmekte olup %99,99 mamul tamamlama başarısı görölmektedir. Bu oran üretimdeki hata ve fire payının çok düşük olduğunu göstermektedir (Erturan ve Engin, 2017: 17).

Şirket yapılanmaları ve üretimde kazanç için koşullar bütünüyle farklılaşacaktır. Şirketler arası koordinasyonun artması, ürün çeşitliliğini ve kalitesini de arttıracaktır. Endüstri 4.0 ve akıllı ürünler arasında olan birbirini yüceltme ilişkisi şirketleri de akıllı ürüne yöneltmeye mecbur bırakacaktır. Söz konusu bu akıllı ürünler de üretici firmalarına müşterilerini tanıma ve isteklerini anlama noktasında destek olacaktır. Üretimde, ürün özellikleri müşteri siparişleri karşısında daha fazla özelleştirilebilir hale gelecek, esnek üretim artacaktır. İnternet uygulamalarıyla hizmetlerin internete bağlanması müşteri- şirket bağlantısını arttıracaktır.

Akıllı nesnelerin, Endüstri 4.0'da beklenen gelişmişlik ve yaygınlık seviyesine erişmesiyle insan yaşantısını kökten değiştireceğini düşünmek kaçınılmazdır. İnsanların ihtiyaçlarını karşılaması için gereken hareket miktarının yüksek oranda azalması beklenmektedir. Öyle ki, çoğu sorumluluğun yerine getirilmesinde akıllı nesnelere devreye girecektir. Devasa üretimler yapan büyük makinelerden, anlık komutlarımızı gerçekleştiren taşınabilir küçük çiplere kadar hayatın her alanında görülmesi öngörülebilmektedir.

A. Endüstri 4.0'ın Ortaya Çıkışı

Hükümetler ve şirketler rekabet politikaları çerçevesinde öne geçmelerini sağlayacak gelişmelerde bulunmak istemektedirler. Teknolojinin ilerlemesi ve tüketicinin hızlanması karşısında sadece üretimin yetersiz kaldığı, üretim hızının ve ürün çeşitliliğinin artması gerektiği fark edilmiştir. Harcanacak en az sürede ürünlerin paketlenip ulaştırılması, bunu yaparken de kaynak ve işgücü maliyetlerinin en düşük seviyede tutulması gerekmiştir.

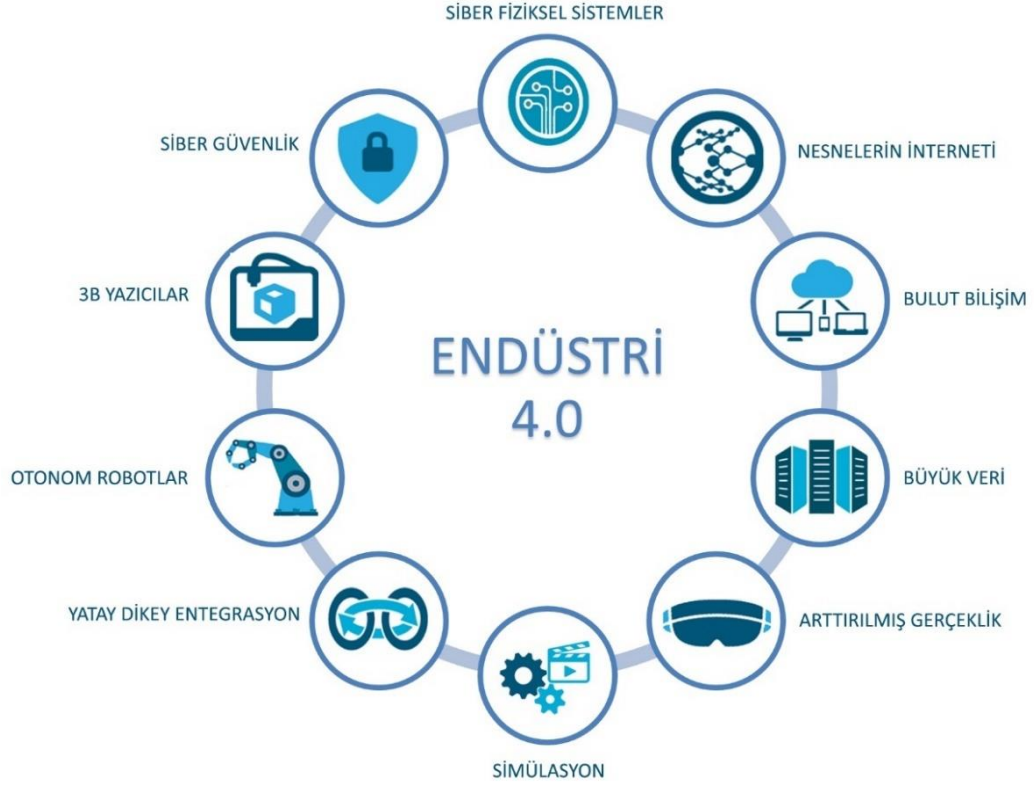
Gelişmiş ülkeler endüstrideki güçlerini giderek kaybetmiştir. Özellikle Üçüncü Endüstri Devrimiyle haberleşme, ulaşım ve bilgi teknolojilerindeki gelişmeler sonrası endüstrinin Avrupa'dan Uzak Doğu taşınmasıyla, Avrupa'da endüstride zayıflama Uzak Doğu ülkelerinde ise güçlenme görülmüştür.

Doğu Avrupa ve Almanya endüstride gelişim göstermeye devam etmiş (Hofmann and Rüşch, 2017: 24), diğer Avrupa Devletleri'nin ise endüstrileşmesi giderek azalmıştır. Sonuç olarak Endüstri 4.0 kavramı, endüstriyel üretime bilgi ve iletişim teknolojilerinin entegre edilmesiyle ülkedeki imalat sektörünün rekabet gücünü arttırmak için akademisyenler, endüstriyel şirketler ve Alman Hükümeti tarafından yapılan girişimlerle ortaya çıkmıştır (Baena et al., 2017: 74).

Endüstri 4.0 kavramı ilk defa 2011 yılında Almanya'da Hannover Fuarında kullanılmıştır. Fuara katılan uzmanlar gelişen teknoloji ile beraber Dördüncü Endüstri Devrimine geçişin başladığını iddia etmiştir. Alman Hükümetinin de desteği ile Endüstri 4.0 için başkanlığında BOSCH şirketinin yönetici Siegfried Dias ve SAP AG şirketinin üst düzey yöneticisi Hennig Kagermann'ın yer aldığı bir çalışma grubu oluşturmuştur. Çalışma grubu bir yıl boyunca Endüstri 4.0'a geçiş stratejisi için öneriler hazırlamıştır (Ege Bölgesi Sanayi Odası, 2015: 7). Çalışma grubunun başkanlarından biri olan Henning Kagermann 2011 yılında Endüstri 4.0 hakkında bir makale yayımlamıştır. 2013 yılında Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi Kagermann'ın bu makalesini baz alarak Endüstri 4.0 Bildirgesini yayımlamıştır (Stock and Seliger, 2016: 536).

B. Endüstri 4.0'ın Kavramları

Endüstri 4.0 ile ilgili beklentilerin gerçeğe dönüşmesi bünyesindeki 10 bileşen ile sağlanacaktır. Şekil 10'da Endüstri 4.0 bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 10 Endüstri 4.0'ın Bileşenleri

1. Siber Fiziksel Sistemler

Siber fiziksel sistemler (SFS) ile fiziksel dünya eylemlerinin siber alanda çeşitli algoritmalarla karşılığı bulunmakta, bütüncül bir kombinasyon gerçekleşmekte, sanal ve fiziksel dünya meydana gelen durumlar sonucunda birbirleri üzerinde değişiklikler yaratmaktadır.

Ulusal Bilim Kurumu (The National Science Foundation) siber fiziksel sistemleri üretim süreçlerinin gözlemleme, koordinasyon ve kontrol gibi temel ilkelerinin, hesaplama ve iletişim unsurlarını içeren karma teknoloji tarafından yönetildiği sistem şeklinde tanımlamıştır. Makinelerin ve siber teknolojinin bütünleşmesiyle karma teknolojiler çok daha akıllı hale gelmektedir. Bu bağlama göre süreç başından sonuna kadar SFS olarak anılmaktadır (EBSO, 2015: 18). Liu and Xu'ya göre (2017: 72) ise SFS, geribildirim döngüsüyle gömülü hesaplamaların üretimi takip edip kontrollerde bulunduğu ya da tersi bir şekilde üretimin süreçlerinin hesaplamalar üzerinde etki ettiği, üretim hattı, işleme süreci, hesaplamalar ve ağ sistemi arasında kurulan entegrasyondur.

Siber fiziksel sistemler kavramsal olarak ilk defa 2006'da Amerika Birleşik Devletleri'nde, fiziksel dünya ile bilişim ağlarındaki sanal ortamlar arasında büyüyen etkileşimin önemini belirtmek amacıyla Edward Ashford Lee tarafından kullanılmıştır (Alçin, 2016: 23).

Siber fiziksel sistemler iki ana unsurdan oluşmaktadır. Birincisi atanmış internet adresleri ve ağ aracılığıyla iletişime geçen nesnelere ve sistemler, diğeri ise gerçek dünyanın nesnelere ve davranışlarına ait bilgisayar simülasyonunun oluşturduğu sanal ortamdır (SIEMENS, 2016: 10).

Siber fiziksel sistemlerin içerisindeki pek çok bilişim ögesinin arasında, dışarıyla köprü kurulmasındaki ana elektronik teknoloji amaca göre farklı görevler tanımlanabilen gömülü sistemlerdir. Gömülü sistemler bünyesinde işlemlerin kademeye gerçekleştirildiği üç bileşeni bulundurmaktadır. İlki sensörlerdir. Programlama dahilinde basit görevler edinen sensörler eş zamanlı algılamalar yapmaktadır. Çevresel değişiklikleri ölçüm verisi olarak almakta ve işlenmesi amacıyla elektrik sinyallerine çevirmektedir. İşlem daha sonrasında verilerin kontrolörlere gitmesi ile devam etmektedir. Kontrolörler gelen veriyi buluttaki bir cihaza/aktüatöre göndermektedir. Kontrolörler verilere göre anlık kararlar alabilmekte ya da verileri analizlerin yapılması için aynı yerde bulunan veya uzakta başka ağda bulunan bir bilgisayara da yollayabilmektedir. Aktüatörler ise hareketin görüldüğü motorlardır. Gelen sinyaller doğrultusunda belirlenmiş eylemleri gerçekleştirmektedir (Gündüz ve Daş, 2017: 329-330).

Siber fiziksel sistemlerde algılayıcı cihazların elde ettikleri büyük veriler bulut bilişimle toplanmakta, analiz edilmekte ve yazılım sistemleri aracılığıyla üretim sürecinde kullanılmaktadır. Genel kullanıma açık bulut bilişim ile kullanıcılar analiz ve karar süreçlerine de dahil olabilmektedir.

2. Nesnelerin İnterneti

İnternetin, ortaya çıktığı ilk günden beri gösterdiği gelişimin son evresi olan nesnelerin interneti [Internet of Things, (IOT)], ağ sistemleri aracılığıyla adreslenebilir nesnelerin internete bağlanması ve birbirleriyle iletişime geçmesidir. Nesnelerin interneti kavramı ilk olarak Kevin Ashton tarafından 1999 yılında P&G şirketinde Radyo Frekanslı ile Tanımlama (RFID) teknolojisinin getirdiği faydaları anlattığı bir sunumda ortaya atılmıştır (Ashton, 2009). Fabrikada ürünlerin üzerindeki RFID

etiketleri ile elde edinilen frekanslar aracılığıyla ürünler hareket ettirilmiş ve izlenmiştir. Günümüzde nesnelere dış dünyadaki değişkenleri algılayıp, sayısal verilere dönüştürerek başka bir nesneye gönderebilmektedir. Daha öncesinde nesnelere veri aktarımı insanlar tarafından yapılırken, artık böyle bir zorunluluk kalmamıştır.

Nesnelerin interneti ile ileri bir teknolojiye nesnelere üzerinde tam kontrol bulunabileceği gibi nihai karar verme yine insanların kontrolünde olabilmektedir. Farklı görevlerde çalışan nesnelere dış dünyadaki gerçekleşen değişimler sonucunda birbirlerini yönetebilmekte ve birbirlerine talimat gönderebilmektedir. IOT ile birlikte, elde edilen veriler analiz edilmekte, bilgiye dönüşerek kişilere, makinelere ve cihazlara iletilmektedir. Öyle ki IOT ile uzaktan kontrol yapmak dahi mümkün hale gelmiştir.

IOT, kendini oluşturan bileşenlerle SFS ile bağlantılı olarak çalışmakta, algılama cihazları ve veri işleme sistemi ile akıllı ürünler, robot teknolojileri ve 3D baskı teknolojilerinin temelini oluşturmaktadır.

Nesnelerin interneti günümüzde pek çok sektörde kullanılmakta olup, yakın bir gelecekte hayatımızın her alanında kullanılacaktır. Örneğin tıpta vücut değerlerini ölçen giyilebilir cihazlar sayesinde acil bir durum olduğunda sağlık hizmetlerine haber bildirilmektedir. Tarım alanında topraktaki nem miktarının belirlenmesine yarayan sensörler sayesinde sulama otomatik başlatılabilmekte, hava durumu takibi yapılabilmektedir. Akıllı ev sistemleri sayesinde dışarıda olan bir kişi evdeki araçların açık veya kapalı olması ile ilgili bilgi alabilmekte, buzdolabının malzeme durumunu öğrenebilmektedir (Gündüz ve Daş: 2017: 328).

3. Bulut Bilişim

Bulut bilişim ya da diğer adıyla bulut teknolojisi (Cloud Computing) adını network'un internet sembolü olan buluttan almaktadır. Sunucular üzerinden veri depolanmasına, kullanıcıların bu verileri ortak bir havuz üzerinden görebilmesine ve verilere işlem yapabilmesine izin veren sistemdir. Yüksek veri depolama hacmi ile kullanıcıların zaman ve mekân fark etmeksizin erişim sağlaması mümkündür. İnternet bağlantısı ile bulut bilişim kapsamında her türlü uygulamalar, veri tabanı, içerikler (fotoğraf, video, belge vb.), hizmetler paylaşılabilir, herhangi bir bilişim aygıtı (bilgisayar, telefon, tablet vb.) aracılığıyla web arayüzlerinden bağlantı sağlanabilmektedir.

Bulut bilişim kavramının ortaya çıkışı, 1960 yılında John McCarthy tarafından hesaplamaların geniş kamusal ağlar tarafından gerçekleştirilmeye başlanacağı fikriyle olmuştur. 2007 yılında Google, IBM gibi şirketler ve bazı üniversiteler bulut bilişim üzerinde çalışmalar yapmaya başlamışlardır. 2008 yılında bilgi teknoloji kullanıcılarının servis hizmetini verenler ile alanlar olarak ikiye ayrılması ve şirketlerin yazılımlar ve donanımlarla servis tabanlı modelleri oluşturması bulut bilişimin yaygınlaşmasında kritik bir noktadır (Sevli, 2011: 9-13). Gather'ın 2010 yılında yaptığı bir araştırma sonucunda bulut bilişimin en çok kullanılan üç bilişim teknolojilerinden biri olduğu ortaya çıkmıştır (Koyuncu, 2011: 1).

Kullanım biçimine göre 4'e ayrılmaktadır. Bunlar genel bulut, özel bulut, melez bulut ve topluluk bulutudur. Genel Bulut herkesin kullanımına açık olanları, özel bulut kurumların kendi içerisinde kullanımına açık olanları ifade etmektedir. Melez bulut genel ve özel bulutun karma olarak kullanılmasıdır. Bazı veriler herkese açık iken bazıları kurum içerisinde saklı kalmaktadır. Topluluk bulutu ise kurumların bir araya gelerek ortak kullandığı bulut hizmetidir (Mell and Grance, 2011: 3).

Bulut bilişim ile bilgisayar disk ve belleklerinin ömrü sonlanacak, sınırlı hafızanın getirdiği kısıtlamalar ortadan kalkacaktır. Donanımsal problemler işleyişe engel olmayacaktır. Şirketler artık veriler üzerinde kontrol sağlama amacıyla yazılım ve donanım sistemleri geliştirmek yerine çok daha düşük maliyetli olan hazır bulut servislerini kullanmaya yönelmişlerdir. 2011 yılında Avrupa'daki bulut bilişim sistemini kullanmaya başlayan şirketler arasında yapılan araştırmada saptanan bulgulara göre, şirketlerin %80'i %10-20 arasında ekonomik tasarruf yapmıştır. Bulut bilişim ile standartlaşma %35, üretim %41, mobil çalışma %46 artmıştır (European Commission, 2012: 4).

4. Büyük Veri (Big Data)

Büyük veri kavramının doğru algılanması için öncelikle veri kavramının tanımlanması gerekmektedir. Veri gözlem, deney gibi çeşitli yöntemlerle; kamera, sensör gibi cihazlarla ya da sosyal medya gibi mecralarda elde edilen, işlenerek bilgiye dönüştürülmemiş ham öğelerdir.

Veriler yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış olarak üçe ayrılmaktadır. Yapılandırılmış veri sınıflandırılma altına alınmış, tablolarla kayıtlandırılmış, birbirleriyle ilişkilendirilmiş verileri tanımlamakta ve veri

tabanlarında saklanmaktadır. Yapılandırılmamış veriler, yığın halinde bulunan verileridir. Daha önceki dönemlerde yapılandırılmamış veriler değersiz, çöp yığınları olarak görmüştür. Ancak şirketler artık rekabet stratejilerinde veriyi maden olarak görmeye başlamış, bireylerin web kayıtlarının çok önemli olduğunu anlamıştır. Bu yüzden büyük veri kavramı ortaya çıkmış, ulaşılan her verinin değerli olabileceği öngörülerek analiz edilmesi gerektiği savunulmaya başlanmıştır.

Nesnelerin interneti ile birlikte ortaya çıkan veri sayısı gitgide artmakta, artık bir gün içerisinde üretilen veri sayısı terabaytlara, petabaytlara ulaşmaktadır. Bilgisayarların veritabanı yönetim sistemleri bu denli büyük verilerin kullanılması için yetersiz kalmaktadır. Net olarak bir tanımı bulunmamakla birlikte büyük veri; veri tabanlarının işlemekte yetersiz kaldığı, depolama hacimlerini aşan karmaşık verilerin toplanmasını ve işlenmesini ifade eden bir kavramdır. Büyük veri ile sosyal medya paylaşımları (fotoğraf, video vb.), google aramaları, bloglar, GSM operatör kayıtları, ağ günlükleri, web sitesi gezintileri gibi her türlü doneler kayıt altına alınabilmektedir.

Şirketler yönetim, planlama, karar verme, organizasyon stratejilerini verilerden ulaştıkları çıkarımlar sonucunda gerçekleştirmektedir. Talep gören ürünlerin saptanması, ürün iyileştirmeleri, hangi bölgelerde şubeler açmanın daha karlı olacağını saptanması, gelecekle ilgili tahminlerin yapılması, müşterilerin bireysel tercihlerinin saptanmasıyla özelleştirilmiş promosyon tekliflerinin yapılması, müşteri alışkanlıklarının keşfedilmesi gibi pek çok konuda büyük veriden faydalanılmaktadır.

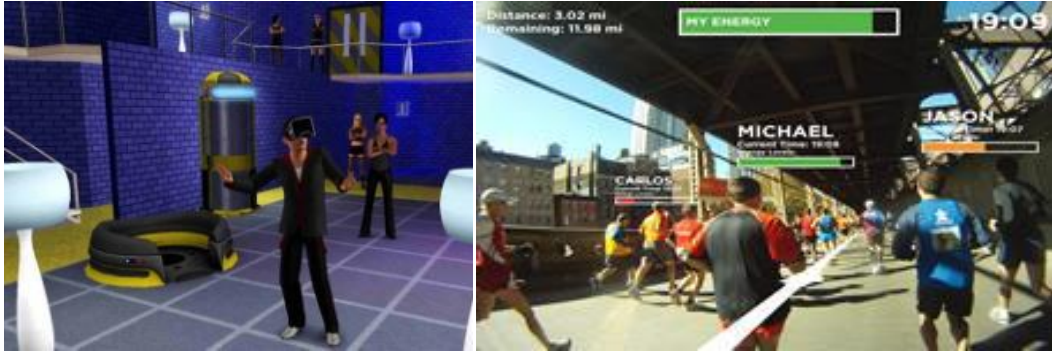
Büyük veri kavramı ilk defa John Mashey tarafından 1998 yılında Büyük Veri ve Altyapı Gerilimi Dalgası (Big Data and the Next Wave of InfraStress) adlı sunumda kullanılmıştır. Garthnet Şirketinin bir parçası olan Meta Group ise büyük verinin hacim (volume), hız (velocity), çeşitlilik (variety) olarak 3 bileşeni olduğunu belirtmiştir. Daha sonrasında bunlara IBM tarafından gerçeklik (verocity) ve Oracle tarafından değer (value) bileşenleri eklenmiştir (Baaziz and Quoniam, 2013: 20). Bunlardan verinin hacmi toplanan verilerin miktarını, verinin hızı verinin toplanmasındaki ve işlenmesindeki hızı, verinin çeşitliliği verilerin farklı kaynaklardan geliyor oluşunu, verinin gerçekliği verinin doğruluğunu ve güvenilirliğini, verinin değeri ise verinin kazanç getirebilme potansiyelini ifade etmektedir.

5. Arttırılmış Gerçeklik

Arttırılmış gerçeklik [Augmented reality (AR)], gerçek dünya ve sanal dünyanın birleştirilerek kullanıcıya sunulduğu bir teknolojidir. Gerçek dünyadaki herhangi bir ortam ile ses, video, fotoğraf, grafik, animasyon gibi bilişim öğelerinin eşzamanlı olarak çalıştırılmasıdır.

Arttırılmış gerçeklik telefon, tablet gibi teknolojik cihazların kameralarıyla QR kodlarını kullanarak, arttırılmış gerçeklik için çıkartılan özel uygulamalarla ya da kafaya takılan gözlükler ile kullanılabilir (Bingöl, 2018: 48). Sistem, kullanıcının GPS, WLAN gibi konum bilgilerine ulaşılması destekleyecek herhangi bir altyapıyla ya da belirlenen öğelerin (kodlar, resimler, sesler, hareketler vb.) bir işaretçi olarak kullanılmasıyla aktifleşmektedir (İçten ve Bal: 2017: 115).

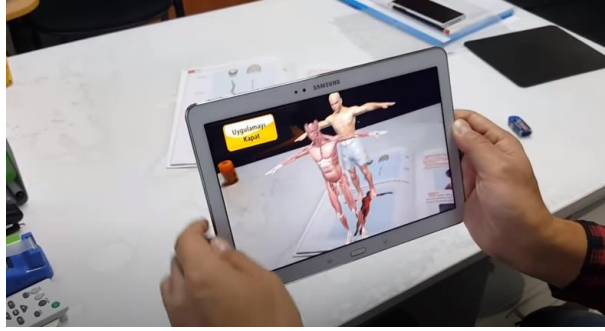
Arttırılmış gerçeklik sanal gerçeklikten farklıdır. Sanal gerçeklikte kullanıcı dış dünya ile ilişkisini tamamen koparmakta, sanal olarak yaratılmış bir dünyaya girmektedir. Arttırılmış gerçeklikte ise dış dünyadaki görüntüye sanal eklemeler yapılmaktadır. Şekil 11’de sol taraftaki bilgisayarda oyun oynayan kullanıcının sanal gerçeklik ortamı, sağ taraftaki ise dış dünya üzerine sayısal eklemeler ve grafik eklemeleri yapılmış bir arttırılmış gerçeklik ortamı örneğidir (İçten ve Bal, 2017: 111-112).



Şekil 11 Sol: Sanal Gerçeklik Sağ: Arttırılmış Gerçeklik (İçten ve Bal, 2017: 112)

Gelişimini zamanla arttıran AR teknolojisinden bugün askeriye, ticaret, eğitim, sağlık, inşaat, reklamcılık, oyun gibi pek çok sektörde faydalanılmaktadır. Özellikle estetik algının önemli olduğu ürünlerin pazarlamasında, müşterinin nihai sonucu önceden görmesi markalar için rekabet avantajı sağlamaktadır. Örneğin giyim ve makyaj endüstrisinde, AR teknolojisi ile müşterilere ürünleri kendi vücutları üzerinde deneyimleme imkânı tanınmaktadır. Mobilya endüstrisinde de sıklıkla kullanılan AR

teknolojisi ile müşterilere istenilen mekân üzerinde seçtiği mobilyanın nasıl durabileceği gösterilmektedir. Eğitimin daha akılda kalıcı ve ilgi çekici hale getirilmesi amacıyla, öğrencilere ders kitaplarındaki şekillerin mobil uygulamalar kullanılması ile üç boyutlu halleri gösterilmektedir. Bir dönemin popüler oyunu Pokemon Go'da oyuncuların buldukları mekânların görüntülerinin üzerine animasyonlar yerleştirilmiş, oyunculara bu animasyonları yakalama görevi verilmiştir. Pokemon Go kullandığı güncel teknoloji ile çok fazla oyun sever insanı kendisine çekmiştir.



Şekil 12 Eğitimde Arttırılmış Gerçeklik (NaraXR, 2016)

6. Simülasyon

Simülasyon bir diğer adıyla benzetim; bir sürecin, sistemin ya da işlemin sanal ortamdaki benzerinin yaratılmasıdır. Sürecin bileşenleri arasındaki ilişkiler belirlenen bir periyotta test edilmektedir. Modelleme ile çeşitli ortamlar oluşturulmakta ve değişik koşullar altında sistemde oluşacak farklılıklar gözlemlenmektedir. Modelin zaman kavramına bağlı olması yönüyle dinamik bir metottur.

Simülasyon teknolojisi temelini sanal gerçeklik teknolojisinden almaktadır. Bilinen ilk sanal gerçeklik uygulaması ise 1962 yılında Morton Heilig tarafından üretilen Sensorama adlı cihazdır. Bu cihaz koku, ses, görüntü ve sarsma özellikleriyle izleyiciye duyu organlarına da hitap eden bir seyir yaşatmıştır.

Simülasyonun kullanımının pek çok amacı bulunmaktadır. Son hale gelindikten sonra meydana çıkan hatalar için geri dönülmesi güç olabilmektedir. Ancak simülasyon teknolojisi ile yeni bir ürün ya da sistemin oluşturulmasında ya da var olan bir ürün ya da sistem üzerinde değişiklikler yapılması durumunda doğacak sonuçlar yapay modeller aracılığıyla önceden saptanabilmekte, çıkan problemler karşısında çözümler üretilmektedir. Sistemin gerçek halini farklı mekânlarda analiz etmek zor,

gerçek parçaların denetleme amacıyla sürekli değiştirip durmak çok maliyetli olabilmektedir. Simülasyon ile zaman fark etmeksizin ihtiyaç duyulduğu her anda gerekli denetlemeler yapılabilmekte ve içinden çıkılması güç karmaşık durumlar incelenebilmektedir. Bileşenler, bileşenlerin özellikleri ya da bileşenlerin arasındaki bağlantılar değiştirilerek ayrı ayrı ölçüm yapılabilmektedir. Simülasyon ile mali ve hayati riskler önceden anlaşılmakta, gerekli iyileştirmeler daha üretim başlamadan yapılmaktadır. Böylelikle zamandan ve maliyetten tasarruf edilmektedir.

Bir üretim tesisini oluşturan tüm öğelerin (ürünler, makineler, insanlar) sanal bir modeli oluşturulmakta, tesisin işleyişi analiz edilmektedir. Sırası gelen her ürün için makinelerin ayarları kontrol edilmektedir. Böylelikle kurulum süresi azaltılmakta ve kalite arttırılmaktadır (Rüßmann, et al., 2015: 3).

En yaygın kullanım alanlarından biri eğitimidir. Uygulamalı eğitimin simülasyonla yapılmasının avantajları vardır. Eğitimin gerçek mekân ve ekipmanlarla yapılması yüksek maliyet gerektirebilmektedir. Acemi bir birey için eğitime sahada başlamak tehlike oluşturabilmektedir. Ayrıca gözlemlemesi gereken tüm zorluklar eğitimin herhangi bir saatinde öğrenen kişinin karşısına çıkamamaktadır. Ancak simülasyonda meslek yaşantısının herhangi bir saatinde gerçekleşebilecek tüm durumlar bilgisayar programları ile öğrenciye sunulmaktadır (Düzgün vd., 2019: 1257). Şekil 13'te pilotluk eğitiminde kullanılan bir uçuş simülatörü görülmektedir.



Şekil 13 Uçuş Eğitiminde Simülasyon (İhlas Haber Ajansı, 2017)

7. Yatay ve Dikey Entegrasyon

Yatay ve dikey entegrasyon, farklı sistemlerin bir araya gelerek tek bir sistem gibi çalışmasıdır. Yatay entegrasyon üretim ve planlama süreçlerindeki aşamaların kendi arasındaki ve farklı işletmelerin üretim ve planlama süreçlerinin aşamaları arasındaki bağlantıyı hedeflerken, dikey entegrasyon tüm süreçlerde yer alan

teknolojik altyapıdaki bağlantıyı hedeflemektedir. Bu altyapı entegrasyonuna en alt kısımdaki sensör, vana, motor gibi teknolojilerden; yönetim kısmındaki kurumsal kaynak yönetimi, iş zekâsı uygulamaları gibi teknolojilerin tümü dahildir (SIEMENS, 2016: 10).

Sistemin bütünleştirilmesi, ucu bucağı görülmeyecek kadar genişlemeyi arzulayan bir şirket için her yere uzanabilen kollarıyla sorunsuz hiyerarşiyi ve birimler arası senkronizasyonu ifade etmektedir. Yatay ve dikey entegrasyon ile birden fazla şirket birleşmeye gidebilmekte ya da ortak işlere girişebilmektedir. Şirketlerin birleşmesi aynı zamanda ürünlerinin, hizmetlerinin ve müşterilerinin de birleştirilebilmesi anlamına gelmektedir. Böylelikle bir şirket kendi çekirdek kitlesine kıyasla çok daha büyük müşteri kitlelerine hitap edebilmekte ve ürünlere-hizmetlere ait özellik ve avantajların tümü tek bir tanesinde sentezlenebilmektedir.

“Dassault Systemes” ve “BoostAeroSpace”, Avrupa Havacılık ve Savunma Sanayi için bir iş birliği platformu kurmuştur. Adı AirDesing olan bu platform, bulut bilişim hizmeti vasıtasıyla paydaşlar için tasarımda ve üretimde koordinasyon kurulmasına, üretimle ilgili tüm verilerin yollanmasına ve ulaşılabilmesine imkân vermektedir. AirDesing ile çok karmaşık çalışmalar dahi gerçekleştirilmektedir (Rüßmann, et al., 2015: 3-4).

Yatay ve dikey entegrasyonla, evrensel bir veri ağı ile otomatikleşmiş bir değer zinciri organizasyonu meydana gelmektedir (Rüßmann et al., 2015: 3). Veri tabanlarının birleştirilmesi ve bütünleşik uçtan uca yazılım sistemlerinin kullanılmasıyla işleyişteki akışın devamlılığı sağlanabilmektedir. Yatay ve dikey entegrasyon sayesinde karşılaşılan problemlere hızlı çözüm üretilebilmekte, müşteriye özel üretim gerçekleşmekte, kaynak verimliliği artmakta ve küresel tedarik zincirindeki optimizasyon sağlanmaktadır. İşletmeler çok daha esnek bir yapıya dönüşebilmekte ve ihtiyaç duymaları halinde, değişiklikleri arayüz güncellemeleriyle kısa sürede gerçekleştirebilmektedir (SIEMENS, 2016: 10).

8. Otonom Robotlar

Robotlar genel olarak önceden programlanmış görevleri yerine getirebilen elektro-mekanik cihaz olarak tanımlanmaktadır (EBSO, 2015: 20). Amerikan Robot Enstitüsü'nün 1979 yılında yaptığı tanımlamaya göre ise robot; çeşitli görevlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan, programlanan değişken hareketlerle, malzemeleri,

parçaları, aletleri ya da özel cihazları hareket ettirmek amaçlı tasarlanmış, tekrardan programlanabilen çok fonksiyonlu manipülatördür (BilimtekNIK.tubitak.gov.tr, 2018).

Endüstri 4.0'ın özelliklerinden biri olan esnek üretim kavramının olmazsa olmazı olan otonom robotların, yakın bir gelecekte kol gücüne dayanan tüm iş kollarında insanların yerini alması beklenmektedir. Böylelikle insan doğasının getirdiği yeme-içme, uyuma, hastalık, dikkat hataları gibi işleyişe engel olan problemler ortadan kalkacaktır. Robotlar 24 saat boyunca aralıksız çalışabilmesiyle aylık-yıllık seri üretimlerde çok daha randımanlı sonuçlar vereceklerdir.

Robotun endüstrideki ilk kullanımı, 1961 yılında Unimate adlı bir robotun General Motors Firmasının bir fabrikasında üretilen otomotivlerin montaj kısmında çalışmasıyla olmuştur. Bugün mobilite ve yapay zekâ özellikleri geliştirilmesiyle beraber, robotlar pek çok sektörde insanlara yardımcı olmaktadır. Daha öncesinde robotların kendi kısıtlı bölgelerinden çıkamaması sebebiyle, yapılacak iş için gerekli tüm ekipmanlar robotun yakınına götürülmekteydi. Günümüzde ise mekânlar içerisinde dolaşabilen, hareket kabiliyetleri yüksek robotlar üretilmiştir (Yapıcı, 2008: 1). Ayrıca robotların görüntü, ses gibi çevresel değişiklikleri algılama kapasitelerinin artırılması, karar mekanizmasını geliştirmekte ve gitgide daha fazla karmaşık görevlerin üstesinden gelmesini sağlamaktadır.

Robot teknolojisi ilerlemeye devam etmekte, kullanım amaçları doğrultusunda farklı tür ve boyutlarda robotlar çıkarılmaktadır. Öyle ki insan görünüşünü ve davranışlarını taklit eden insansı robotlar dahi mevcuttur. Sınırlar zorlanmakta, insan vücudu gibi küçük alanlarının içerisinde çalışmalar yapılması için mikro boyutlara kadar inen robotlar üretilmeye çalışılmaktadır (Gürgöze ve Türkoğlu, 2018).

Otonom robotların 1980 yıllarında adından söz edilmeye başlanan “Karanlık Fabrika” (New, 1998: 677) ya da diğer adıyla “Karanlık Üretim” kavramına geçişin yaşanmasındaki en önemli teknoloji olduğu söylenebilmektedir. Karanlık Fabrikalar insansız, makinalar ile tam otomasyonun görüldüğü bir modeldir. Adını aydınlatma cihazlarına ihtiyaç duyulmamasından almakta, bu yönüyle ışık enerjisi kullanımından tasarruf edilmektedir. Çin’de bulunan, telefon modülü üreten bir fabrika Karanlık Üretime geçiş yapmıştır. Daha öncesinde 650 kişi barındıran fabrika, KF ile birlikte çalışan sayısını 60’a düşürmüştü, hatalı ürün oranını da %25’ten %5’e düşürmüştür (Milliyet.com.tr, 2015).

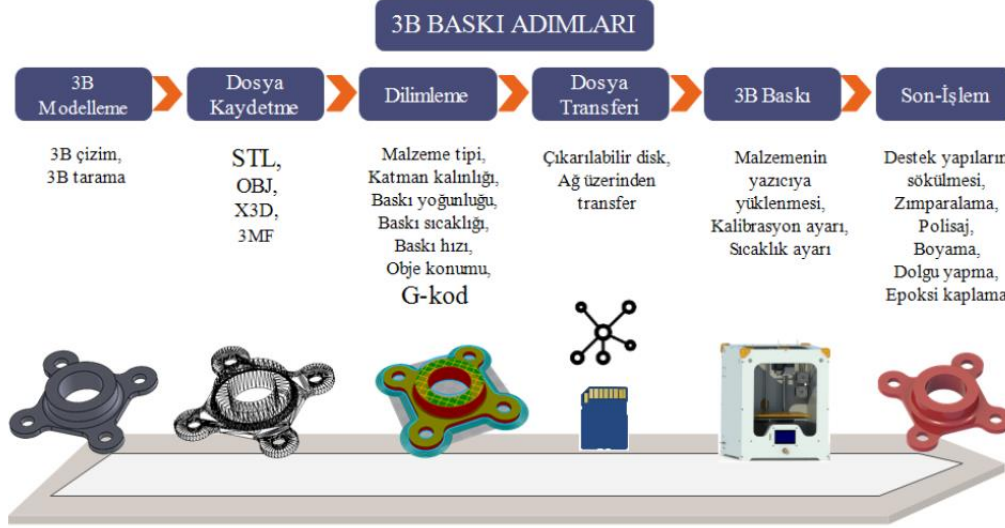
Karanlık fabrika uygulamasına alternatif olarak, insan ve robotların beraber görev alabileceği bir sistem de hedeflenmektedir. Bu amaçla kendi aralarında ve diğer cihazlarla iletişim kuran robotların yanı sıra insanlarla etkileşim haline girebilen “İşbirlikçi Robotlar” ortaya çıkartılmıştır. Makine teknolojisinin insan becerilerinin yerini yeterli ölçüde alabilip alamayacağı konusu şüphe uyandırmaktadır. Ayrıca bu denli yüksek otomasyonun çok maliyetli olacağını savunan görüşler de mevcuttur (Fırat ve Fırat, 2017: 213).

9. 3B Yazıcılar

Endüstri 4.0’ın hızdaki ve çeşitlilikte yarattığı artış geleneksel üretim yöntemlerini yetersiz bırakmaktadır. Ne var ki, Endüstri 4.0 ile gelişen teknolojiler yeni üretim tekniklerinin de ortaya çıkmasının önünü açmaktadır. Bu tekniklerden bir tanesi de 3B yazıcı teknolojisidir. Dijital programlardan nesnelere ait bilgileri alıp içerisindeki çeşitli malzemelerden tercih edilenlerle 3 boyutlu baskılamanın yapıldığı teknolojiye 3B yazıcılar denilmektedir. İşlemin katmanların üst üste eklenmesiyle gerçekleşiyor olmasından dolayı eklemeli imalat adı da verilmektedir.

3B yazıcı teknolojisi çalışma prensibi olarak CNC, tornalama, frezeleme gibi talaşlı üretim yöntemlerinin aksine, malzemedan parça çıkartılması esasına değil, malzemelerin bir bütün oluşturulması esasına dayanmaktadır (Sürmen, 2019: 374). Bu yönüyle gerektiği kadar malzeme kullanılmakta, malzemede fire verilmemektedir.

Baskı işleminin gerçekleşmesi için öncelikle AutoCAD, SketchUp, 3Ds Max gibi bilgisayar destekli tasarım programları ya da lazer, optik gibi tarayıcı sistemleriyle oluşturulan dosyanın uygun formata çevrilmesi gerekmektedir. Daha sonrasında dilimleme yazılımları ile katmanlar ayarlanmaktadır. Dilimleme aşaması malzeme tipi, katman kalınlığı, baskı yoğunluğu, baskı hızı ve baskı sıcaklığı gibi parametrelerin belirlediği kısımdır. Hazırlanmış dosya için baskı yapıldıktan sonra gerekli durumlarda zımparalama, kaplama, boyama gibi son işlemler gerçekleştirilmektedir (Sürmen, 2019: 375-377). Şekil 14’te 3B yazıcı teknolojisinin üretim aşamaları görülmektedir.



Şekil 14 3B Baskı Adımları (Sürmen, 2019: 375)

3B yazıcıların üretim ve satış tarzında köklü değişiklikler yapması beklenmektedir. Kişiselleştirmiş ürün tedarığı yaygınlaşacaktır. Her birey için yepyeni tasarımlar yapılabileceği gibi, bilgisayar dosyaları üzerinde verilerin anlık olarak değiştirilmesiyle standart tasarımların üzerinde farklılıklar da yaratılabilecektir. Bu yolla seri üretimdeki hızın, birbirinden farklı niteliklere sahip çok sayıda ürünün aynı zaman diliminde üretilmesi sırasında da yakalanması amaçlanmaktadır. 3B yazıcılar bireylere kendi tasarımı yapma ve üretme imkânı da tanımaktadır. Bulunulan konum üzerinden tasarım yapıp üretim merkezine sipariş gönderilebilecek ya da istenilen mekânlarda 3B yazıcı bulundurabilecektir. Böylelikle fabrika çalışanlarına, üretim alanlarına ve üretim makinelerine olan ihtiyaç azalacaktır. Değişik formların üretilmesinde zorluklar yaşanırken 3B yazıcılarla birlikte geometrik kısıtlamalar da ortadan kalkabilecektir.

Chuck Hull (Avrupa Patent Ofisi), 1983 yılında, Amerika Birleşik Devletleri'nde, 3B yazıcı teknolojisini prototip üretimi amacıyla geliştirmiş, ancak bu teknoloji ilerledikçe ürünlerin son halleri için de kullanılmaya başlanmıştır (Korkmaz, 2016: 19). Günümüzde 3B yazıcıların en yaygın olduğu sektörlerin başında sağlık sektörü gelmektedir. Protez-implant gibi hastanın fiziksel yapılarına özel parçaların üretilmesi gerektiği durumlarda kullanılmaktadır. Tıpta hâlâ 3B yazıcılar ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Kemik-doku üretimleri gerçekleştirilmiştir. Canlı organ üretimleri konusunda denemelere devam edilmektedir. Mühendislik, havacılık, eğitim, gıda gibi daha pek çok kullanım örnekleri karşımıza çıkmaktadır. 2016 yılında satışa

çıkarılmış olan Local Motors firmasının 3B yazıcı teknolojisi ile ürettiği “LM3D Swim” adlı araç otomotivde örnek olarak verilebilir (Kuzu Demir vd., 2016: 489).

Şu anki koşullarında 3B yazıcı teknolojisinin yaygınlaşması hususunda bazı engellerle karşılaşılmaktadır. Yazıcıların fiyatları oldukça yüksek, malzeme, renk ve doku özelliklerinde çeşitlilikleri sınırlıdır (Kuzu Demir vd., 2016: 487). Çoklu üretimde seri üretimden daha maliyetli kalmaktadır. Ürünlerin boyutları yazıcının boyutunun aldığı kadar ile sınırlanmakta ve ürünler için son işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Sürmen, 2019: 387). Ortaya çıkan ürünlerin sıcaklık, nem ve kırılganlık dayanımları azdır. Basılacak ürünün boyutunun büyümesi akabinde maliyeti de katlayarak arttırmaktadır. Diğer üretim yöntemlerine nazaran hassasiyeti daha düşüktür (Şahin ve Turan, 2018: 99). Ancak 3B yazıcı teknolojisinin günümüze kadar gösterdiği ilerleme gelecek için de olumlu düşüncelere sebep olmaktadır. 3B yazıcıların geliştirilmesi ve yaygınlaşması ile tüm bu negatif durumların çözüleceği ve yazıcı piyasasında fiyatların düşeceği öngörülmektedir.

10. Siber Güvenlik

Endüstri 4.0 dijitalleşmenin tamamen hakimiyet kurduğu bir dünyaya adım atmamızın önünü açarken, siber güvenliğin nasıl sağlanacağı Endüstri 4.0’da en çok endişe duyulan ve üzerinde önemle durulan konulardan birisi haline gelmiştir. Zira bu denli siber bağlantıların ve veri akışının gerçekleştiği bir düzen, siber suçlara eğilimli kitlenin eylem alanını da genişletmektedir. Endüstri 4.0 için olası siber saldırılara karşı da önlem alınması zorunludur. Aksi takdirde, şahıslara ve şirketlere ait hesaplara dışarıdan art niyetli girişlerin yapılması, hesapların çalınması, sistemin işleyişine müdahalelerin gerçekleşmesi ve hususi bilgilere erişimlerin olması gibi risk faktörleri oluşmaktadır.

Endüstri 4.0 ile üretimdeki yapay zekâ ve birbirleriyle iletişim kuran akıllı makinalar siber güvenlik problemlerine zemin hazırlayan unsurlardır. Aynı zamanda, son yıllarda yapay zekânın kullanılmasıyla siber güvenlik yöntemlerinin oluşturulması fikri de yaygınlaşmıştır. Hatta bu konuda ürün geliştirmeye yönelik çalışmalar yapan pek çok firma vardır. Bu iki durum, yapay zekânın güvenlik problemlerinin sebebi mi yoksa çözümü mü olduğu hakkında ikilem yaratmaktadır (Gönen vd., 2021: 1150).

İnternet güvenliği üzerinde çalışmalar yapan F-Secure Oyj şirketinin Araştırma Şefi Mikko Hypponen, Fortune 500 listesindeki şirketlerinin hepsinin daha önce

hacklenmeye maruz kaldıklarını belirtmiştir (Hurriyet.com.tr, 2015). Bu durum çağımızda siber saldırının ne kadar yaygın olduğunun ve siber güvenliğin sağlanmasında bazı eksikliklerin olduğunun bir göstergesidir. Siber saldırı yalnızca kişisel düzey ya da şirket düzeyine değil, uluslararası düzeye kadar çıkabilmektedir.

Nesnelerin interneti insanlara ürünleri kullanımları sırasında yardımcı olurken, aynı zamanda onlar hakkında veriler de toplamaktadır. Hem ürünün gelişmiş fonksiyonlarla çalışmasına yarayan hem de firmaların kendi üretimleri için gerekli istatistikleri toplayarak ürünlerini analiz ettiği ve hangi özelliklerinin ne derece beğenildiğini anlamaya çalıştıkları bu yolla, bireylerin özel hayatına ait bilgiler de toplanmaktadır. Olası bir siber saldırı, insanların özel hayat gizliliğini de tehlikeye sokmaktadır. Aynı zamanda siber saldırı akıllı ürünlerin işlevselliğini de zarar verecek, ürünlere dışardan komutlar verilmesi ile insan yaşantının düzenini ve emniyetini sekteye uğratabilecek potansiyele sahiptir. Gündüz ve Daş (2018: 334) bu tarz durumlara saldırganların bir araca kaza yaptırması, akıllı alarm ve kilitlerin kırılmasıyla hırsızlıkların yapılması, sağlık amaçlı olan giyilebilir nesnelerle vücut faaliyetlerinin ve rahatsızlıklarının saptaması yoluyla cinayetlerin gerçekleşmesi gibi örnekler vermiştir.

Siber saldırılara karşı, geniş çaplı dijital sistemler için geliştirilmiş, kapsamlı, ağdaki cihaz ve makinelerin tanımlanabildiği, gizliliğinin önem derecesi bazında teferruatın değiştiği güvenlik sistemleri oluşturulmalıdır. İnsanların cihazlarla ya da cihazların diğer cihazlarla bağlantısı güvenlik kilitleri aracılığıyla gerçekleşebilmelidir. Şahsi ya da şirket içi faaliyetlerde saldırganların işine yarayacak güvenlik açıklarının verilmemesi için bireylerin bilişim bilgisi donanımı arttırılmalıdır. Tüm bu önlemlerin yanı sıra hukuksal caydırıcılık da gerekmektedir. Kuşkusuz ki siber güvenliğin sağlanması hususu gerekli hukuksal yaptırımların da en iyi şekilde uygulanması ile gerçekleşebilecektir.

Gönen vd. (2021: 1154-1155) siber güvenlik için gereken tedbirleri şu şekilde sıralamıştır:

- Şirket çalışanlarına siber güvenlik konusunda bilinçlendirilmesi için eğitimlerin verilmesi

- Güvenlik duvarı, sanal özel ağ kullanımı, saldırıların tespitine ve nlenmesine yönelik sistemler, antivirüs yazılımı gibi teknik çözüm yöntemlerinin kullanılması
- Bilişim cihazlarının ve kullanıcılarının eylemlerinin sürekli izlenmesi ve kayıt altına alınması
- Siber saldırıları kendi üzerine çekip esas sistemlerden uzak tutan ‘’bal küpleri’’ kullanılması
- Politika (Siber güvenlik için hazırlanan ve uyarlanan yönergeler)

IV. ENDÜSTRİ 4.0 VE MİMARLIK

A. Endüstri 4.0 ve Kent

1. Geleceğin Yaşam Alanları

Kentler, tarihsel süreç içinde toplumların geçirdikleri değişimin yansıması olarak içinde bulunduğu döneme göre tanımlanmış ve kavramsallaştırılmıştır. Yaklaşık olarak 12.000 yıl öncesinde Neolitik Çağ'da, ilk kentler tarıma dayalı yaşam tarzıyla *tarım kentleri* olarak isimlendirilmiştir. Daha sonrasında Feodalizm ve akabindeki Merkantilist süreç ticareti geliştirmiş ve *ticaret kentleri* ortaya çıkmıştır (Aytan ve Dede, 2009: 2096). 18. Yüzyıla gelindiğinde ise endüstrileşmenin başlaması ile *sanayi kentleri* oluşmuş ve kentleşme evresine geçilmiştir. Kentlerin son ve günümüze kadar gelen dönüşümü ise Üçüncü Endüstri Devriminde olmuştur. Bilgi, dijital teknolojilerle zamana ve mekâna hâkim olabilmeye başlamış, böylelikle bilgi toplumları ortaya çıkmıştır. Kentlerin yeni hâli *bilgi kentleri* olarak tanımlanmıştır (Kaypak, 2011: 118). 18. Yüzyıldaki Endüstri Devriminden itibaren kentlerin yaşadığı dönüşümünün endüstriyel devrimlerin ekseninde gerçekleştiği görülmektedir. Birinci ve Üçüncü Endüstriyel Devrimler yarattıkları sanayi kentleri ve bilgi kentleriyle kentler için ayrı ayrı kırılma noktalarını oluşturmuştur. Bu iki kırılmanın ayrı ayrı incelenmesi şu şekildedir:

1. Birinci Endüstri Devrimi: Kentleri biçimlendiren faktörler; teknolojik gelişime dayanan ulaşım-iletişim, yeni üretim sistemi ve araçlardaki değişimlerdir. Kentler dinamikleşmiş ve hızlıca yayılmıştır. Orta Çağ'dan kalma surlarla çevrili kentler dışarı taşmış, fabrika ve işçi mahallelerinin eklenmesiyle giderek büyümüş, metropol ölçeğine ulaşmıştır. Yaşanan hızlı kentleşme, çözüm olarak yeni kentsel yasaları, ideolojileri ve kentsel modelleri beraberinde getirmiştir. Böylelikle günümüz şehir planlama disiplininin zemini hazırlanmıştır (Yenice, 2005: 22). Endüstri Devrimi öncesiyle kıyaslandığında kentlerdeki değişiklikler şunlardır: Yaya odaklılıktan çıkıp taşıt odaklı olma, alt kentleşmelerin başlamasıyla desantralizasyon hareketleri, parsellerin büyümesi ve bulvarların genişlemesi, kır ve kent ayrımının belirsizleşmesi,

bölgelerdeki fonksiyonel ayrışmanın belirginleşmesi, işlev odaklı kent anlayışının ortaya çıkması ve sınıfsal ayrışmanın ortaya çıkmasıyla işçi konutlarının oluşması (Türkmen ve Tekkanat, 2018: 120).

2. Üçüncü Endüstri Devrimi: Dijital Çağ-Bilgi Çağı gibi dönem isimlendirmelerine de yer veren Üçüncü Endüstri Devrimi ulaşımı ve iletişimi zamansal ve mekânsal kısıtlanmalardan arındırarak, küreselleşmeyi yeni bir boyuta taşımıştır. Küreselleşme siyasi, ekonomi, ticari ve sosyal alanlarda dünya geneline yayılmayı tanımlamakta bu bağlamda finans kaynaklarının, teknolojinin, ürünlerin ve hizmetlerin uluslararası bir dolaşımı söz konusu olmaktadır (Köse 2003: 4; Şenses, 2004: 1). Bu dolaşımında mekânsal yansıma ise kentlerin küresel kent olma hedefleri doğrultusunda şekillenmeye başlaması olmuştur. Kentler küresel sermayenin merkezlerine çevrilmeye çalışılmıştır.

Üçüncü Endüstri Devrimiyle üretim paradigması olarak ortaya çıkan Postfordizm'in yarattığı ürün çeşitlenmesi reklam ve pazarlama olgularının değerini arttırmıştır. Bu durum yeni iş kollarının oluşmasına ve hizmet sektörünün yaygınlaşmasına sebep olmuştur (Şahin, 2020: 259). Ağır sanayinin taşınması ve Postfordizm'in esnek üretime olanak tanınması ile akabinde üretim alanları küçülmüş, kent merkezlerindeki endüstri alanları işlevsiz kalmıştır. Sonuç olarak eskiden endüstri ve endüstri çalışanları için düzenlenmiş olan kentlerde, yerleşimi hizmet sektöründe çalışan yaratıcı takım almıştır (Şahin, 2020: 263). Başka bir ifadeyle üretim odaklı kentlerin yerine hizmet odaklı olan ve küresel kent, post modern kent, bilgi kenti gibi nitelendirmelerin yapılabileceği kentlerin geçtiği ifade edilebilmektedir.

1980'lerde yoğun bir şekilde gözlenen küreselleşme sürecinde kentler; hizmetin, turizm eğlencenin, yatırımın, finansın merkezi haline getirilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda AVM, kongre merkezi, fuar alanı, otel, tiyatro alanı, stadyum gibi kente insan toplayacak işlevlere yönelik yapılar değerli hale gelmiştir. Kentler insanları çekmesi adına cazibe merkezlerine çevrilmeye çalışılmış, bu tarihlerde kentlere imaj kazandıran pek çok yaratıcı yapı tasarlanmıştır.

Kentlerde yaşanan dönüşümler dikkate alındığında endüstriyel devrimlerin kentleri yeni teknolojilerle ve yeni demografik yapılarla tanıştırdığı, bu bağlamda kentsel dinamiklerinin de değişime uğradığı, böylelikle kentsel tasarım disiplininde yeni yaklaşımların ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Türkmen ve Tekkanat (2018:

108-120) bireylerin zaman içerisinde artan ve çeşitlenen taleplerinin, bu ihtiyaçlara yanıt verecek olan mekânların da dönüşümü beraberinde getirdiğini, bu bağlamda tarih boyunca süregelen kent formu değişiminin bireylerin yaşam şeklinin değişimiyle ve yenilenen tüketim alışkanlıklarıyla ilişkili olduğunu belirtmiştir. Kapitalizmin değişen doğasının, kentler ve kentler arası ilişkiler üzerinde etki yaratmakta olduğunu ifade etmiştir. Endüstri 4.0 da yeni bir endüstriyel devrim olarak yaşam biçiminin yeniden şekillendirecektir. Bu bağlamda, kentlerdeki yönetime, üretime, tüketime, ulaşım, kamusal ve özel hizmetlere, sosyal faaliyetlere yönelik alışkanlıkların yeniden belirlenebilmesi söz konusudur. Endüstri 4.0 ile kent formları ve kentsel planlamalar yeniden yapılanmaya geçebilir.

Kent formunun değişiminde farklı araştırmacılar pek çok faktörü ele almışlardır. Kaya (2019: 5) kent formunu etkileyen faktörleri nüfus yapısı, ekonomik yapı, politik tercihler, doğal faktörler, teknolojik gelişmişlik seviyesi ve ulaşım-ulaşım sistemleri olarak belirlemiştir. Erdoğan (2015: 6) çeşitli araştırmacıların bulgularına referans olarak kentsel yoğunluk, ulaşım, erişilebilirlik, enerji tüketimi, sosyo-ekonomik faktörlerden; hane halkı geliri, işgücü oranı, benzin tüketimi faktörlerinin kent makraformuyla ilişki kurduğunu belirtmiştir. Aktan (2006: 3) ise genel hatlarıyla nüfus hareketleri, göç, ekonomi, toplumsal yapı, politika, çevre, teknoloji, afet, ulaşım ve altyapı, donatıların dağılımı olarak belirlemiştir. Bu kriterler arasında daha önceki üç endüstri devrimleriyle kıstas alınarak yapılacak bir değerlendirmede, yeni bir endüstri devrimiyle doğrudan ilişki kurulabilecek ana kriterlerin iki grup olarak karşımıza çıktığı görülmektedir: Nüfus, ekonomik yapı (gelir düzeyi vb.), politik tercihler, işgücü oranı (istihdam dağılımı), toplumsal yapı gibi sosyo-ekonomik unsurlardan oluşan bir grup; ulaşım, yapı üretimi gibi faktörleri etkileyen teknolojik unsurlardan oluşan ikinci bir grup.

a. Endüstri 4.0 ve sosyo-ekonomik faktörler

Endüstri 4.0 tıpkı diğer üç endüstri devrimi gibi üretim ve tüketim kalıplarının dönüşmesi ile insanlığın sosyal ve ekonomik hayatında ciddi değişimlerin gerçekleşeceği bir döneme işaret etmektedir (Türkmen, 2022: 310).

Klaus Schwab (2016: 4) Endüstri 4.0 için “*yaşama, çalışma ve birbirimizle iletişim kurma tarzımızı kökten değiştiren bir devrimin başlarında bulunuyoruz. Benim dördüncü sanayi devrimi olarak gördüğüm şey ölçeği, kapsamı ve karmaşıklığı*

bakımından insanlığın daha önceki yaşadıklarının hiçbirine benzemiyor'' ifadeleriyle bu devrimin yaratacağı sosyal dönüşümün büyüklüğünü ifade etmiştir.

İstihdam: Endüstri 4.0 ile artan otomasyon ve yapay zekâ teknolojilerinin literatürde en çok tartışma yarattığı konu işgücünün geleceği ile alakalıdır. Endüstri 4.0 ile robotların işçilerin yerini alması söz konusudur. Buna karşın gelişecek yeni teknolojilerin de yeni iş kollarını ortaya çıkarması beklenmektedir. Ancak iki sonuç geleceğin iş gücünde kaçınılmaz olarak karşımıza çıkmaktadır. Birincisi çalışma sürelerinin kısalması ve esnekleşmesi, ikincisi ise iş sahibi olmak için yüksek vasfın ve iyi eğitimin gerekliliği olacaktır (Taş, 2018: 1827). Dünya Ekonomik Forum tarafından 2016 yılında hazırlanan The Future of Job raporuna göre, birçok endüstride ve ülkede var olan ve en fazla talep gören meslek alanları 15 yıl öncesine kadar yoktu. Yine aynı rapora göre ilkökul çağındaki çocukların %65'i gelecekte yeni ortaya çıkacak meslek alanlarında çalışacaktır (World Economic Forum, 2016: 3). McKinsey Küresel Enstitüsü'nün 2017 yılındaki Kazanılan ve Kaybedilen Meslekler Raporu'nda ise 2030 yılından itibaren 375 milyon kişiye kadar çalışanın işsiz kalma riski olduğu ayrıca robotların mevcutta bulunan işgücünün %60'ını alabileceği belirtilmiştir (Kırılmaz, 2022: 191). İş sektörünün değişimi istihdam oranlarını, mavi yaka-beyaz yaka çalışan oranlarını, iş saatlerini, gelirleri, gelir farklarını değiştirecek potansiyele sahiptir.

Yönetim: Bilişim teknolojilerinin halk katılımcılığını güçlendirmesi siyasi alanda da katılımcı bir demokrasi anlayışını gündeme getirmektedir. Günümüzde "internet demokrasisi" kavramı siyasiler tarafından hâlâ tartışılrsa da bu son devrimle birlikte siyasal alanda daha efektif bir katılım mekanizmasının sağlanması gerekliliği konusunda siyaset bilimcileri ortak görüştedir. İşlerini robotlara devreden halkın yönlenebileceği yeni bir yer olarak vatandaşlık ortamındaki varlığının artması gerekmektedir. Temsili demokrasi anlayışının siyasal sistemde yarattığı aksaklıklar, nesnelerin internetinin potansiyeli olan verimli ve katılımcı bir yönetim formuna yönlendirmektedir (Köse, 2022: 291-292). Öte yandan, bir diğer ihtimal de Endüstri 4.0'ın büyük veri işleme kapasitesinden faydalanılarak vatandaşların her adımının takip edilebilmesi ve verilerin kötüye kullanılabilmesiyle doğabilecek otoriter yönetimlerdir (Batal ve Tuğlu, 2018: 223-227).

Üretim ve Tüketim İlişkileri: Daha fazla veri ve veri temas noktasıyla müşterilerin iç görülerinin üreticilere direkt aktarımı söz konusu olacaktır. Bu durum

müşteri beklentileriyle özelleştirilmiş ürün tüketiminin artması döngüsünü besleyecektir (Türkmen, 2022: 315). Üçüncü Endüstri Devrimiyle gelişen esnek üretim anlayışının bu devrimle daha da güçlenmesi beklenmektedir.

Sektörel Değişimler: Endüstri 4.0'ın farklı sektörlerde farklı etkileri bulunmaktadır. İşlerin tanımlarının değişimi ve yapay zekâ uygulamalarına dayalı yeni iş birimlerinin oluşması muhtemeldir (Ermağan ve Erdoğan, 2022: 60). Literatürde Eğitim 4.0, Pazarlama 4.0, Lojistik 4.0 gibi her sektör için dijitalleşmeyle gelen yeni bir döneme işaret eden isimlendirmeler mevcuttur.

Endüstri 4.0 yaratacağı sosyal dönüşümlerle bireylerin siyasi fikirlerini, inanç sistemlerini, eğlence anlayışlarını, yaşam sürelerini, eğitim düzeylerini vb. her türlü sosyo-kültürel özelliklerini etkileyebilmektedir. Kentlerin ve yapıların; sosyal, siyasi, ekonomik unsurların değişiminden etkilenen unsurlar olmasından dolayı mekân organizasyonlarının yeniden şekillenebilmesi muhtemeldir.

Duman (2018) sosyal dönüşümler ve mekân organizasyonu arasındaki ilişkiyi şu şekilde ifade etmiştir: *‘‘Mekân organizasyon süreci belli bir zaman ve sosyal yapı içinde gelişmektedir. Bu nedenle insan gereksinimleri yanı sıra, mekân oluşturulurken içinde bulunulan zaman ve dönemin birtakım özelliklerinin de etkisi olmaktadır. Döneme ait güncel bilgi birikimi, toplumdaki sosyal ilişkilerin durumu ve hiyerarşisi, inanç özellikleri gibi etmenler mekân organizasyonunu belirler’’*

Mimar Raşit Gökçeli toplum formasyonunda radikal değişikliklerin görüleceği tüm bu sosyo-ekonomik dönüşümlerin kentlerde ya da yapı mekânlarına olabilecek yansımalarını birkaç örnekle açıklamıştır (Mimdap.org, 2019).

- İşgücü organizasyonun tamamen değişmesiyle, toplu iş mekânları yerine nitelikli elemanların tek tek ayrıldığı ancak grupla irtibatı koruyabileceği mekânsal düzenlemeler getirilecektir.
- Konut bölgesinin; merkezi iş bölgesi, ticaret bölgesi ve sanayi bölgesi ile kurulan irtibatı günümüzdekinden farklılaşabilecektir. Konut bölgesi ve iş alanları birbirinden uzaklaşabilecektir.
- Konut bölgelerinde kentsel aktiviteler dışında permakültür, kent bostanları vb. aktiviteler yer alabilecektir.
- Yaşam süresi, demografik yapı ve aile yapısı değişimlerine bağlı olarak hem kent makroformunda hem de yapı tasarımlarında değişiklikler görülecektir.

Sosyal dönüşümler değerlendirmeye alındığında, Raşit Gökçeli'nin birkaç örnekle ifade ettiği kentsel ve mimari tasarım anlayışı değişimi, pek çok alternatif örnekle geliştirilebilmektedir. Örneğin yapılarda yeni mekân birimlerinin oluşması, bazı mekânların işlevini kaybetmesi muhtemel olabilir. Yönetimin daha diktatoryal bir biçim alması siyasetin kentsel ve mimari tasarım üzerinde buyurgan bir hale bürünmesine sebep olabilir. Kentsel alandaki farklı işlevlerdeki yapı tipleri, teknolojiyle hizmet olanaklarının gelişmesine bağlı olarak varyasyonlarına ayrılabilir. Bazı yapı türleri çağdışı kalıp, işlevini kaybedebilir ya da günümüzde bulunmayan yepyeni işlevleri olan yapılar ortaya çıkabilir.

b. Endüstri 4.0 ve teknolojik faktörler

Endüstri 4.0'ın teknolojik yansımalarının kentler üzerindeki olası etkilerinin saptanması noktasında Yazgı (2006: 16) tarafından tespit edilen, teknolojinin kentleri son yüzyıllarda etkilediği yönlerde ait başlıkları ele almak yol gösterici bir mahiyettedir. Bu başlıklar; ulaşım teknolojisindeki gelişmeler, bilgi teknolojisindeki gelişmeler ve bina teknolojisindeki gelişmeler olarak üçe ayrılmıştır.

1. Ulaşım: Önceki endüstri devrimlerinde ulaşım sistemlerine erişim yapılaşma alanlarının belirlenmesinde başat aktörlerden biri olmuştur. Pek çok istasyon ve liman ulaşım fonksiyonunu yerine getirmesi amacıyla kentsel tasarımda yer edinmiştir. Bunun yanı sıra zamanla yeni ulaşım araçlarının ortaya çıkması, söz konusu bu araçların geçişlerinin sağlanması için oluşturulan yol şebekeleriyle kent makraformunu değiştirici bir etki yaratmıştır.

Ulaşım, yerleşim sisteminin bütünü olan kent formunda önemli değişikliklerin gerçekleşmesinde baş unsur olarak karşımıza çıkmaktadır Ulaşımın kentle olan bağı, ulaşım sistemindeki değişimlerin kentleri de etkilemesiyle sonuçlanmaktadır (Akdemir ve Önder, 2022: 250).

Her endüstri devrimi yeni ulaşım araçlarının da sahneye çıkmasını sağlamıştır. Bu bağlamda Endüstri 4.0 ile pek çok yeni ulaşım teknolojilerinin ortaya çıkacağı öngörülebilmektedir. Çizelge 2'de Endüstri 4.0'ın ulaşım araçları görülmektedir.

Çizelge 2 Endüstriyel Devrimler ve Ulaşım Araçları (Durmuş, 2019; Akdemir ve Önder, 2022: 236).

Endüstri 1.0	Endüstri 2.0	Endüstri 3.0	Endüstri 4.0
Buharlı Tren Buharlı Tramvay	Teleferik Tramvay Elektrikli Trenler Otomobil	Elektrikli Araçlar Hızlı Trenler Monoray	Süper Hızlı Trenler Hava Taksiler Otonom Araçlar Birbiriyle Haberleşen Araçlar Elektrikli Araçlar Güneş Pili Araçlar

Nesnelerin interneti koordinasyonluğunda, teknolojiler, özerklik ve öz hareketlilikle oluşan yeni endüstri düzeni; hareketlilik dünyasında hizmetler ve optimizasyonlarla otonom sürüş, uzaktan koordineli sürüş, uçan arabalar ve akıllı lojistik gibi yeni gelişmelere yönlendirmektedir (Akdemir ve Önder, 2022: 240).

Geleceğin akıllı ulaşım sistemlerinin yapı taşları, yeni nesil otonom araçlarla kurulan ulaşım sistemleri, akıllı kavşak düzenlemeleri, yol sensörleri, sensörlü uyarılar, Web-uydu-GPS ile desteklenerek iletişim kuran araçlar, yol asistanları ve diğer pek çok yolculara güvenli ve konforlu ulaşım imkânı sunan teknolojilerden oluşmaktadır (Ulukavak ve Önder, 2019: 96).

Ulaşımın akıllılaşmasının en önemli parametresi optimizasyondur. Sürücü ihtiyacı olmayan araçların, kısıtlama olmayan işlerle ve çalışma saatleri esnekliğiyle kullanımı kolaylaşacaktır (Durmuş, 2019: 40). Geleceğin en büyük aktörleri devamlı sirküle olan ve ihtiyaca göre sefer düzeni tayin edilen bireysel ve toplu ulaşımaya yönelik sürücüsüz araçlar (Akdemir ve Önder, 2022: 248) yolların, şeritlerin, park alanlarının yeniden yapılandığı bir senaryo yaratabilmektedir (Şekil 15).



Şekil 15 Geleceğin Ulaşım Sistemine Yönelik Geliştirilen Bir Modelleme
(Mediatrend.mediamarkt.com.tr, 2015)

2. Bilgi Teknolojisindeki Gelişmeler: Etkileşim için coğrafi yakınlığın gerek kalmadığı sanal mecralarla, siber alan ya da sanal mekân gibi kavramlar ortaya çıkmış, fiziki mekâna olan ihtiyaç giderek azaltılmıştır. Günümüzde bilgisayar oynama vb. boş zaman etkinliklerinin siber mekânlarda gerçekleşmesi, çevrimiçi eğitimler, belediye vb. yerlerdeki işlerin internetten halledilebilmesi gelecekle ilgili bazı iddiaların ortaya atılmasına yol açmaktadır. Buna göre geleceğin kentlerinde iki temel ayrım olacaktır: Parkların, iş yerlerinin oluşturduğu fiziksel dünya ve bilginin aktarıldığı siber dünya (Arit, t.y.:62).

William Mitchelll “*City of Bits*” (Bit’lerin Kenti) kitabında sanal kenti şöyle ifade etmektedir (Arit, t.y.:62): “*İnternet geleceğin dünya baş kenti olacak. Bu, dünya yüzeyindeki herhangi bir noktaya bağlı olmayan bir kent. Mimarlar eskiden beri kabul ettikleri klasik anlayışları değiştirecek. Yerleşimler fiziksel olarak betondan, çelikten değil, sanal olarak yazılımlarla inşa edilecek ve kapılar, caddeler yerine birbirine internetle bağlanacak*”

Geleceğin siber mekânları ile ilgili sahneler yıllarca bilim kurgu ve distopya filmlerinin içerisinde yer almıştır. Mimarlıkla ilgili günümüzde cevapsız kalan konular farklı sanat disiplinleri aracılığıyla yanıt bulunabilmektedir. Bu bağlamda geleceğin siber mekânlarını kavramada sinematografik anlatılardan faydalanılabilmektedir

(Ünver, 2020: 96). Şekil 16 ve Şekil 17’de Minority Report ve Wall-e filmlerindeki alışveriş mekânları hologramlar, sesli uyarılar gibi teknolojilerle donatılmıştır.



Şekil 16 Minority Report Sahnesi (Minority Report, 2002)



Şekil 17 Wall-e Sahnesi (Wall-e, 2008)

Bilgi teknolojisindeki gelişmelerin artışı bazı işleri otomatikleştirmekte, üretim, işleme ve ulaşımı dönüşüme uğratmaktadır. Üretimin ve şirketlerin otomatikleşmesi, bu birimlerin kentlerdeki konumunun merkeze yakın olması gerekliliğini gün geçtikçe ortadan kaldırmaktadır. Öte taraftan, hizmetlerin pek çoğunun gerçekleştirilmesi için hizmeti alan ve veren arasında yakınlık kurma gereksiniminin devam etmesi öngörülmektedir (Arıt, t.y.:61). Bu bağlamda Üçüncü Endüstri Devrimiyle birlikte hizmet alanlarının hakimiyetine girmeye başladığı kentlerde, daha fazla hizmet alanlarının oluşabileceği beklenebilmektedir.

3.Bina Teknolojisindeki Gelişmeler: Bugüne kadar bina teknolojilerinin etkileri, binaların formlarının değişmesi ve böylelikle kentsel silüetlerin değişmesi, kentlerin dikey bir büyüme sergilemesi, fiziksel biçimlerin değişmesinin insan hareketliliğini değiştirmesi ve böylelikle sosyal şekillerin de değişmesi, konut alanlarının yapısının değişmesi gibi faktörlerle kendini göstermiştir. Bunun yanı sıra akıllı bina, akıllı şehir gibi kavramların doğması ve bu alanda bazı çalışmaların yapılmasının da öncüsü

olmuştur (Türkmen ve Tekkanat, 2018: 120-121). Endüstri 4.0 da gelecekte inşaatlara entegre edilebilecek yeni teknolojiler sunmasıyla geleceğin binalarını etkileme potansiyeline sahiptir (Bkz: Endüstri 4.0 ve Yapı Üretimi ss.63).

Teknolojinin ilerlemesi ve etkinliğinin gün geçtikçe çok daha ileri seviyeye gelmesi, bunun yanında artan nüfus baskısı kentsel tasarımcıları yeni Süper Projelere itmektedir. Küçük kentlerin yerine gelen ve insanların yaşama alanlarının kaynaştığı devasa yerleşimlerin yaratabileceği sorunlar için yüzen şehir, gökyüzü şehir, kubbe şehir gibi isimler alan pek çok proje şimdiden hazırlanmaya başlanmıştır (Arıt, t.y.:63).

Kentsel tasarımın bir sorunsalı olarak ortaya çıkan *geleceğin kentleri* konusunda zihinlerde oluşan imgeler uçan kişiselleştirilmiş araçlar, dronlar, yeşil teraslar ve diğer pek çok mimarlık ve mühendislik atraksiyonlarından oluşmaktadır. Geleceğin kentleri için gerekli ihtiyaçların ve niteliklerin yanıtladığı, her ölçeğe hitap eden tasarım arayışları içerisine girilmesi gerekmektedir. İmgelem de bu noktada geleceği tasavvur etmede ve zihinlerdeki düşlerin keşfedilmesinde bir araçtır (Ayalp, t.y.).



Şekil 18 Zihinlerde Oluşan Fütüristik Kent Tasvirine Bir Örnek (Artstation.com, t.y.)

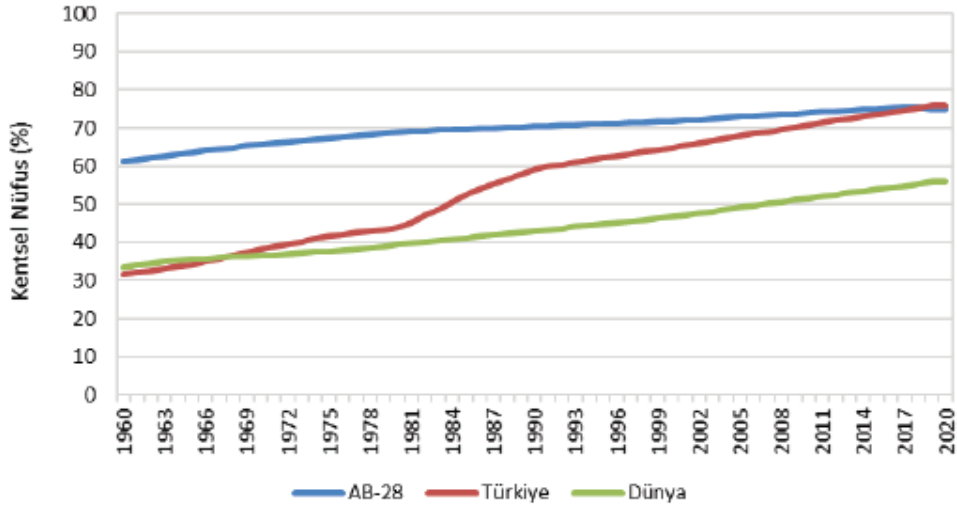
Kent planlaması açısından değerlendirildiğinde, 1-5 yıl projelenebilir, 5-20 yıl planlanabilir, 20-50 yıl uzun, verimli ve vizyoner bir tasavvuru olan, 50-100 yıl ise uzak gelecekte mevcut kabullerden, eğilimlerden ve temsil biçimlerinden radikal bir ayrışmayı gerektiren periyodlardır. 20 yıllık uzaklık için operasyonel ve reaktif çalışmalar yapılırken, daha fazlası yenilikçiliği ve proaktifliği gerektirmektedir. Dolayısıyla kestirilebilir bir gelecek, planlamalar ile mümkün hale getirilirken, daha radikal gelecek tasavvurları arzu edileni kurgulamaya çalışmaktadır. Daha fazlası ise

yepyeni bir yer, yepyeni bir toplum ve yepyeni bir yaşam şekli olarak ütopycacılar tarafından kurgulamaktadır (Ayalp, t.y.).

2. Endüstri 4.0 ve Akıllı Şehirler Oluşturma Misyonu

Kentler, bilişim ve iletişim sistemleri tarafından yönetilip denetlenen sayısal teknoloji dönemine doğru gitmektedir. Yeni yerleşim modelinin akıllı şehirler olacağı gitgide daha da netleşmektedir (Banger, 2018: 310). Endüstri 4.0'ın kentsel mekândaki en önemli yansıması akıllı şehir kavramıdır. Bu kavram yalnızca teknoloji içerikli değil aynı zamanda ekonomik, yasal ve insani boyutları da ele alan bir konudur (Yılmaz, 2022: 41).

Şehir nüfusu yaşam süresinin uzamasından kaynaklı olarak doğum ve ölüm oranları arasındaki farkın giderek açılmasıyla ve kırsal alanlardan kentsel alanlara doğru yaşanan göçle birlikte hızla artmaktadır. Dünya Bankası istatistikleri incelendiğinde, 2021 yılı için dünya nüfusunun %57'sinin kentlerde yaşadığı tespit edilmiştir. Birleşmiş Milletlerin 2018 yılına ait Dünya Kentleşme Beklentileri Revizyonuna göre, 2030 yılında kentsel nüfusun %60'a çıkacağı, 2050 yılına gelindiğinde ise bu oranın %70 civarında olacağı öngörülmektedir. Yine Dünya Bankasının Türkiye için olan istatistiklerine bakıldığında ise 2021 yılında nüfusun %77'sinin kentlerde yaşadığı saptanmıştır (Data.worldbank.org, t.y; Un.org, t.y.). Şekil 19 referans alındığında, Türkiye'nin dünya ve Avrupa Birliği ile kıyaslandığında çok daha hızlı bir kentsel nüfus artışı gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durum hızlı kentleşmenin doğuracağı sonuçların ülkemizde çok daha fazla hissedilebileceğinin bir göstergesi niteliğindedir.



Şekil 19 Yıllara göre Kentsel Nüfusun Türkiye, Avrupa Birliği ve Dünya'daki Oranları (Cevreselgostergeler.csb.gov.tr, t.y.)

Şehirlerin gördüğü nüfus baskısı, zaten kısıtlı miktardaki kaynak ve imkânların yoğun tüketimini de beraberinde getirmektedir. Şehirler dünya üzerindeki kara alanların %2'sinden daha azını kaplarken, doğal kaynakların ise %75'inden fazlasını tüketmektedir. Kentleşmenin bu denli büyük bir hızla kendini göstermesi, yaşanabilir bir yer için gerekli işlevlerin kaybolmasına işaret etmektedir. Kentleşmeye ayak uydurmama akabinde iklim değişiklikleri, atık yönetimi sıkıntıları, kaynak yetersizlikleri, kirlilikler, insan sağlığı tehditleri, yoğun trafik, eksik kalan, eski-bozuk altyapı, sera gazı emisyonları sorunlarını ortaya çıkartmakta ve günbegün ilerletmektedir (Pardo and Nam, 2011: 185; Kayapınar, 2017: 14).

Çelikyay'a göre (2013: 1316- 1320), 1980 dönemi batılı devlet şehirlerinde dönüm noktasıdır. Şehirlere bilgi teknolojilerinin nakledilmesinden itibaren, iletişimde ve bilgiye erişimde kapsam alanı genişlemiş, veri kontrolü daha etkin hale getirilmiştir. Sayısal (dijital) şehir olarak adlandırılan, şehrin iş, ulaşım, hane gibi tüm işlevsel faktörlerini dijitale uyarlayan ve bu işlevler arası bağlantı kuran şehir tipolojisi zamanla akıllı şehirlere geçilmesinin de önünü açmıştır. Ancak Çelikyay, akıllı şehirler hakkındaki tanımlamaları ve örnek uygulamaları baz alarak, akıllı şehirlerin yalnızca teknoloji eksenli değil, toplum niteliklerini odak noktası olarak çok daha yönlü bir bakış açısıyla değerlendirildiğini tespit etmiştir.

Akıllı şehir kavramı pek çok akademisyen ve kamu kuruluşlarınca yapılmış literatürde farklı tanımlamalarla karşımıza çıkmaktadır. 1990'lardan beri kullanımı

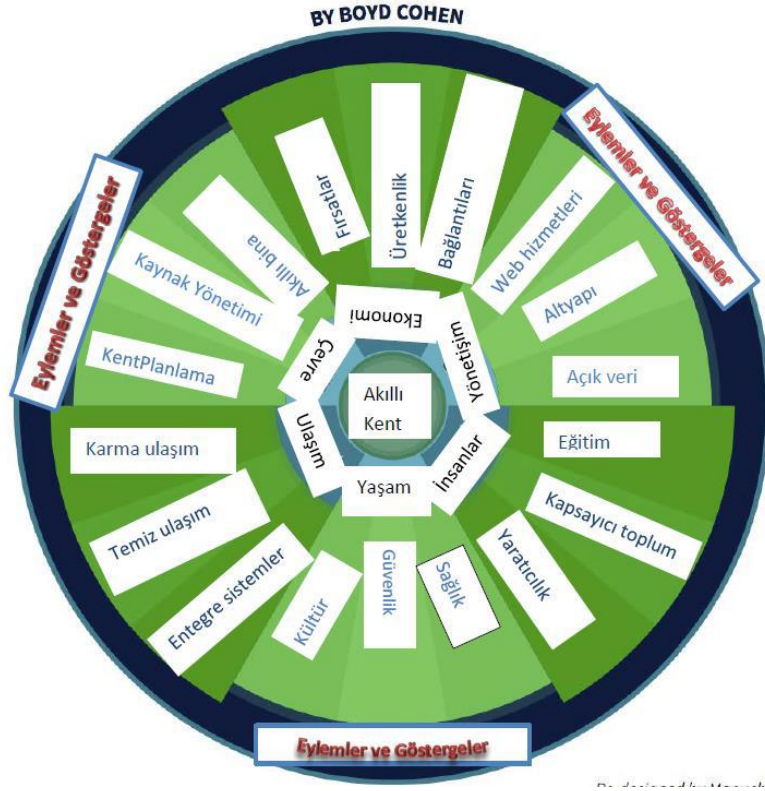
süregelen akıllı şehir kavramı, teknolojinin zaman içerisindeki gelişimiyle birlikte değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla günümüzde yapacağımız akıllı şehir tanımlamalarının yıllar geçmesine karşın hâlâ geçerliliğini koruyacağını düşünmek yanlış olur (Alkan, 2015: 72). Literatürde yer alan tanımlamaların bazıları aşağıdaki gibidir:

Smart Cities Council (2014: 6-7), akıllı şehirleri yaşanılabilirliğin, işlenebilirliğin ve sürdürülebilirliğin bilgi ve iletişim teknolojisiyle üç aşamalı olarak gerçekleştiği şehirleri olarak tanımlamıştır. Söz konusu üç aşama; tüm sorumluluk alanlarından mevcut bilgilerin toplanması, sonrasında sunucularla, cihazlarla ve kontrol merkezleriyle iletişimin kurulması, en sonunda ise analizlerle işlemlerin en iyi hale getirilmesi ve neler olabileceği hakkında tahminlerin yapılmasıdır.

İngiliz Standartlar Enstitüsü Pas181'ne göre (2014: 4), halkın sürdürülebilir, refah içerisinde, katılımcı bir geleceğe sahip olmasına yönelik olarak fiziki sistemler, dijital sistemler ve insan sistemlerinin bütünleştirilmesidir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2019: 20) Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planında ise akıllı şehirler için paydaşların iş birliğiyle, verilerden, uzmanlıklardan, yeni teknoloji ve yaklaşımlardan faydalanılarak, gelecekte ortaya çıkabilecek ihtiyaç ve sorunların öngörüldüğü ve çözümler üretildiği daha yaşanılabilir ve sürdürülebilir şehirler tanımı yapılmıştır.

Akıllı şehirler için düşünülen pek çok uygulama prensibi fikirleri içerisinde, en çok dikkatleri çeken, takipteki ve uygulamadaki basitliğiyle Dr. Boyd Cohen'in Akıllı Şehirler Çarkı'dır. Akıllı şehirler altı bileşen altında değerlendirmeye alınmıştır. Bunlar akıllı insan, akıllı çevre, akıllı yaşam, akıllı yönetim, akıllı ekonomi ve akıllı hareketlilik/ulaşımdır (Elvan, 2017: 7-8). Bu bileşenler aynı zamanda Avrupa Parlamentosu tarafından da kullanılmaktadır (TC. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019: 20). Şekil 20'da yer alan akıllı şehir çemberinin iç kısımda bileşenler, ayrılan her daire dilimlerinde ise ilgili bileşenin odaklandığı noktalar belirtilmektedir (Karayılmaz ve Özker, 2020: 86).



Şekil 20 Boyd Cohen'in Akıllı Şehir Çemberi (Türkiye Bilişim Vakfı, 2016: 15)

Akıllı şehirlerin bileşenlerinin ayrı ayrı açıklamasını şu şekilde yapılmaktadır:

- Akıllı insanlar: Teknolojiyi daha efektif kullanmaya ve üretmeye adapte edilmiş daha inovatif bir toplum yaratmaktır (Elvan, 2017: 8). Yeterli düzeyde vasıf, yaşam boyu öğrenme becerisi, sosyal ve etnik çoğulculuk, katılımcılık, esneklik, açık fikirlilik ve yaratıcılık akıllı şehrin akıllı vatandaşına ait olması gereken özelliklerdir (Giffinger and Gudrun, 2010: 14).
- Akıllı yönetim: Şehir yerel yönetimleri ve kamu kuruluşlarınca, tüm kamu işlemlerinin elektronik ortama aktarılması, e-devlet, e-hizmet gibi mobil uygulama hizmetlerinin desteklenmesiyle şehir nüfusunun paydaş statüsüyle tüm faaliyetlerin takibini gerçekleştirebilmesidir. Dijital yönetim, toplum nazarında katılıma ve etkileşime yönelen, belirli vakitlerde değil günün her saatinde hizmetlere erişilebilen, şeffaflığın sağlandığı bir toplum yönetimi anlayışı sunmaktadır.
- Akıllı ekonomi: Dijital ekonominin baskınlığı üretimi, tasarrufu, girişimciliği, kümelenmeyi, inovasyonu, uluslararası piyasalarla koordinasyonu ve e-ticareti büyütmektedir. Şehirlerin, rekabetçiliğinde ve ulusal-uluslararası pazarlamadaki markalaşmasında kendi reklam ölçeğini genişletmesi, kaynak

verimliliğiyle sermayeyi kendi kontrolü altına alması ve kalkınabilen bir ekonomiye sahip olmasıdır.

- Akıllı çevre: Suyun, enerjinin ve dahi birçok doğal kaynağın kullanımının doğru yönetimine, emisyon oranının azaltılmasına, yenilenebilir enerjiye yönelmeye, çevre kirliliklerinin önlenmesine yönelik çalışmalardır. Tribünler, paneller, akıllı aydınlatmalar, mobilyalar ve akıllı binalar aracılığıyla enerji üretilebilmektedir. Mikro şebekelerden elde edilen enerji ile devasa enerji akımlarına para ödenmesine gerek kalmamaktadır. Atık suların harcanmaması için arıtma tesisleri kurulması, ayrıca çöpler gibi pek çok geri dönüşüm potansiyelinden faydalanılmasıdır. Doğal yeşil alanların korunması ve rekreasyon alanlarının yaratılması, hava ve gürültü kirliliklerinin azaltılmasıyla kentin görsel ve işlevsel değerinin arttırılmasıdır (Güler ve İkiel, 2022: 48-49).
- Akıllı yaşam: Kent sakinleri için yaşam tarzında, davranışlarda ve tüketimde değişiklikleri hedef almaktadır. Kültürel canlılığın sürdürülmesi, kaliteli konutlar ile kaliteli barınmanın sağlanması, güvenlik ve sağlık koşullarının geliştirilmesiyle yaşam standartlarının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca akıllı yaşam sosyal uyum ve sosyal sermayeyi de içermektedir (Manville et al., 2017: 28). Akıllı yaşama ait akıllı insan, teknolojiyle iç içe geçmiştir ve zihniyle sorunlara hızlı çözümler üretebilmektedir (Örselli ve Dinçer, 2019: 94). İnsanlar, akıllı yaşamla eğitim, sağlık, ulaşım, turizm, finans, kamu hizmetleri gibi her türlü hizmete teknoloji ağıyla yön verebilmektedir. Kentin yaşam alanını oluşturan birimleri olan yeşil-akıllı evlerden itibaren, tüm kentin akıllı öğelerle donatılmasıyla, bilişim teknolojilerinin hayatla bütünüyle uyumu, hayatı kolaylaştırması ve insanların üzerindeki yükleri almasıdır (Güler ve İkiel, 2022: 48).
- Akıllı ulaşım: Bilgi ve iletişim teknolojileriyle ulaşım sistemlerinin oluşturulmasını, güvenli ve birbirine bağlı ulaşım ağlarını kapsamaktadır. Ulaşım sistemleri çerçevesinde kent sirkülasyonunda yer alan tüm öğeler (otobüs, tren, metro gibi tüm toplu taşıma araçları, yaya ulaşımı ve bisiklet dolaşımı, otomobiller) ele alınmaktadır (Manville et al., 2017: 28). Ulaşımın ve lojistiğin; trafiğin, çevresel etkenlerin ve coğrafi koşulların göz önünde bulundurularak doğru planlamasıdır. Sürdürülebilir kurgulanmış, özellikle toplu taşımacılığı çevre dostu yakıtlarla desteklenmiş (Neirotti et al., 2014: 28),

bazı dezavantajlara sahip bireylerin göz ardı edilmediği, trafik bilgilerinin sürücülere ve operatörlere anlık ulaşmasıyla (Elvan, 2017: 7) ulaşım süreleri kısalan ulaşım sistemleridir.

Endüstri 4.0'ın yenilikçi teknolojileriyle şehirlerin akıllı olarak düzenlenmesi için doğrudan rol üstleneceğini düşünmek kaçınılmazdır. Teknolojinin ve sürdürülebilirliğin harmanlandığı akıllı şehir vizyonunda, nesnelere interneti teknolojisine, büyük veriye, analitiklerle ve bulut teknolojisine topluluğun yeniden biçimlenmesi ve yaşam kalitesinin artması noktasında görev düşecektir (Banger, 2018: 311).

Akıllı şehir sirkülasyonunun parçalarından akıllı bina, akıllı toplum, akıllı ürün ve akıllı ürün satışı; Endüstri 4.0'ın kendine yeten tesisler, üretimdeki değişimin basitliği, bileşenlerin entegrasyonu, insansız üretim, özelleştirilmiş üretim yapma kapasitesi, sipariş üzerine üretim yapma kapasitesi ve akıllı üretim yönetimi özellikleri arasında ilişki bulunmaktadır. Aynı şekilde akıllı hareketlilikle otonom iç mekân araçlar ve akıllı çevreyle ise enerji verimliliği özellikleri ilişki kurmaktadır (Karaköse ve Yetiş, 2017: 2).

Endüstri 4.0, teknolojik yapısı ve uygulamalarıyla zaman, yer, kişi, nesne fark etmeksizin kesinti yaşanmadan bilgi ve hizmete erişimin ağ bağlantısını oluşturmaktadır. Bu ağ bağlantısı kent halkına daha rahat ve sosyal bir yaşantı olarak kendini göstermektedir (Sang et al., 2008: 2). Bu ağ bağlantısının ana arteri nesnelere interneti, kattığı pratiklikle, akıllı şehrin bileşenlerinin alt fonksiyonlarındaki bir dizi amaçları yerine getirmektedir. Kent vatandaşları için akıllı cihazlarıyla kolaylaştırmalar sağladığı gibi kaynak miktarları, girdiler ve çıktılar, yoğunluk ölçümleri gibi hesaplamalar ile kent yönetimine de yardımcı olmaktadır. Nesnelere internetinin akıllı şehirlerde, gerekli olan su kalitesinin tespiti, yangın söndürme sistemleri, hava kirliliğinin tespiti, çöp konteynerlerinin doluluğunun tespiti, otoparklardaki park alanlarının doluluklarının tespiti, radyasyon oranının tespiti, kentlerde araç ve insan yoğunluk miktarlarının tespiti gibi uygulamaları bulunmaktadır (Gündüz ve Daş, 2018: 329).

Akıllı şehir ile akıllı yaşam teknolojileri, yaşantı anlayışına ve düzenine bütünüyle tesir etmektedir. Özellikle nesnelere internetinin büyük çaplı veri havuzu, söz konusu bu tesiri daha da ortaya serecektir. Büyük verinin, kent yönetiminde karar alma ve

strateji oluşturma yetisinin daha evik bir yönetişim olgusuyla çalışmasına yol açması beklenmektedir (Velibeyoğlu, 2016). Yeni teknolojilerle elde edilen verilerle yeni fonksiyonlar, hizmetler, ve uygulamalar yaratılacaktır. Verilerden geliştirilen yeni uygulamalar yaşamı kolaylaştırırken, kent de adete yerel hizmet odaklı dev bir bilgisayara dnyecektir (Banger, 2018: 307).

şirketler, kamu kuruluşları, bireysel kullanıcılar gibi aktörlerce çıkan büyük veri kümesi, yerel yönetimlerce kullanılırken, makine öğrenmesi ve yapay zekâ karar mekanizmasında ve hizmet vermede destek sağlamaktadır. Her yere donatılmış sensörlerin açığa çıkarttığı eğitim, sağlık, finans gibi çok çeşitli alanlara ait bu büyük veri kümesiyle ve yeni teknolojilerle hareket alan yönetim gerçeğe çok daha yakın tahminler yürütmektedir (Köseoğlu ve Demirci, 2018: 47-48). Örneğin günümüzde Güney Kore'nin başkenti Seul'da gece otobüsü olarak işlev gören "Baykuş Otobüsü" sisteminde, etkili bir rota oluşturmak için bir Telekom şirketinden alınan cep telefonu arama verilerinden ve gece vakti, geç saatlerde çağrılan taksi verilerinden yararlanmıştır. Barcelona şehrinde her yıl düzenli olarak gerçekleştirilen en büyük festival La Mercde, hava durumu, GPS, sosyal medya, trafik, park verileri gibi pek çok veri halkın daha eğlenceli ve güvenli etkinliklere sahip olması için Barcelona Kent Konseyi tarafından kullanılmaktadır (Collin et al., 2016: 21).

B. Endüstri 4.0 ve Yapı retimi

Endüstri 4.0 tüm sektörlerde 4. evreyi işaret etmekte, bu kapsamda yapı retimiyile ilgilenen inşaat sektörü için de literatürde inşaat 4.0 olarak yeni bir kavramı gündeme getirmektedir. İnşaat 4.0 olarak ifade edilen kavram tasarım-işletme arası inovasyon gelişimiyle fiziksel ve dijital otomasyonun inşaat sektöründeki bir yansımasıdır. Yapı üretiminin 4. evresi Prieto (2021: 2) tarafından şu 3 maddeyle açıklanmıştır:

- Akıllı şantiyelere destek sağlayan, Endüstri 4.0'ın teknolojilerinden faydalanılarak yenilikçi yaklaşımlara sahip olan inşaat tekniği
- İnşaat sektöründe en iyi performansı alabilmek amacıyla dijitalleşmeye yönelik olarak siber fiziksel sistemleri kullanma süreci
- Akıllı şantiyeleri, dijital modellemeleri, simülasyonları ve sanallaştırmaya sağlayan dijital-fiziksel teknolojilerin kombinasyonu

Hossain ve Nadeem (2019:3) dijitalleşen yapı üretimi süreçlerinin ilkelerini şu 4 maddede açıklamıştır:

- Bağlantı ve birlikte çalışılabilirlik: Teknik donanımdan karar vericilere kadar yapı üretimindeki tüm etken faktörlerin koordinasyonunun artması sağlanmaktadır.
- Bilgi şeffaflığı (sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik): Fiziksel dünyaların sanal kopyalarıyla IOT katılımcılarının daha bilinçli kararlar verebilmesi sağlanmaktadır.
- Merkezi olmayan kararlar (BIM, bulut teknolojileri): Küresel ölçüğe kadar çıkabilen çoklu aktörlerin bağlantı sağlayabilmesi ve ortak kararlar alabilmesi sağlanmaktadır.
- Teknik yardım (dronlar, robotlar, 3B yazıcılar): İnsanın fiziki emeğine olan ihtiyacın giderek zayıflaması anlamına gelmektedir.

1.Yapı Üretimiyle İlgili Endüstri 4.0 ile Örtüşen Yeni Teknolojiler

Endüstri 4.0'ın bünyesinde barındırdığı nesnelerin interneti, siber fiziksel sistemler, bulut teknolojileri gibi kavramlar yapı üretiminde yer alan pek çok yeni teknolojiyle uyum göstermektedir. Bu teknolojiler şu şekildedir.

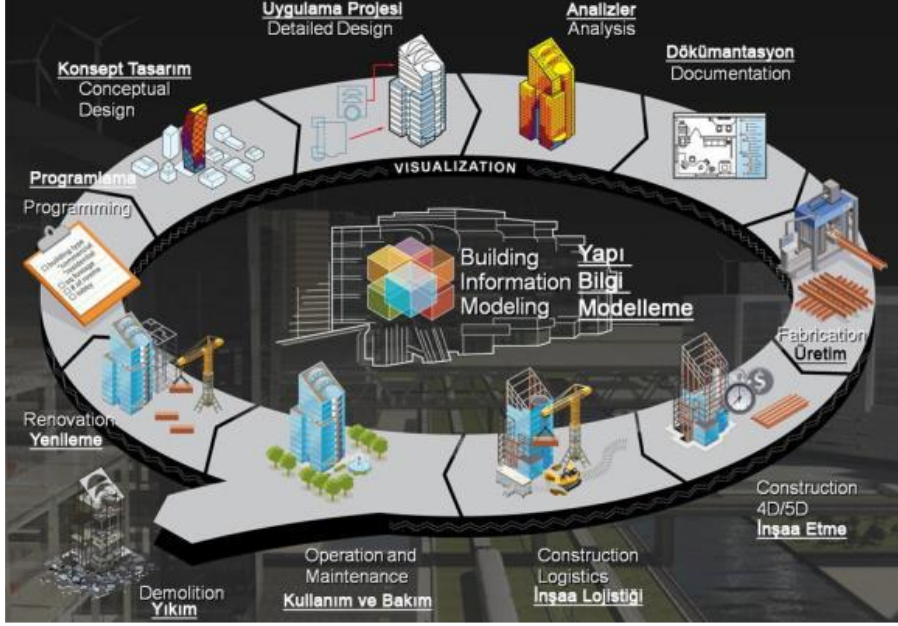
- Yapı Bilgi Modellemesi [Building Information Modelling (BIM)]: BIM Endüstri 4.0'ın yeni yapı üretimi ortamında kilit rol üstlenmektedir. Öyle ki BIM'in yapı yaşam döngüsündeki tüm dijital süreçlerde, IOT teknolojisiyle çalışan teknik donanımla ve paydaşlarla iletişimi sağlayan planlama yöntemi olacağı düşünülmektedir (Oesterreich.ve Teuteberg, 2016). Sensörlerle donatılmış sahaların verileri BIM'e ulaşabilecektir. BIM, Endüstri 4.0'ın bulut teknolojisinden destek alacaktır. Bir anlamda IOT'un sahada kullanılabilmesi amacıyla operatörlük görevleri BIM üzerinden gerçekleştirilecektir. BIM ile birlikte artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik uygulamaları da çalıştırılacaktır. Böylelikle BIM, yapı üretimi öncesinde veya sensörlerden elde edilen veriler ışığında yapı üretim esnasında fiziksel dünyanın sanal kopyalarının oluşturulmasına yardımcı olacaktır. Hem yapının kendisi için hem de şantiye organizasyonu için kullanılabilir (Craveiroa et al., 2019: 252; Hossain and Nadeem, 2019: 3). Süreçteki tüm bileşenlerin katılımcıları için etkin kontrol fırsatı tanıyacaktır.

- Akıllı binalar: Endüstri 4.0'ın ürünleri akıllıdır. Modern dünyanın parçası halinde olan tüm bileşenleri akıllı hale gelecek, bu kapsamda binalar da ‘‘karar verme’’ yetisini elde ederek akıllılaşacaktır (Klinc and Turk, 2019: 400).
- Prefabrikasyon sistemler: Endüstri 4.0 ile desteklenerek gelişecektir (Klinc and Turk, 2019: 402). İnşaatın dijitalleşmesi, gelişmiş süreçlerin ve teknolojinin birçok yönüne sahiptir. Bu kapsamda dijital yöntemlerle kontrol edilen şantiyeler dışında, yapı parçalarının fabrikasyona dayalı olarak üretilmesi de Endüstri 4.0 tarafından desteklenmektedir
- 3B yazıcılar, robotlar ve dronlar: Emek yoğun olan inşaat sektöründe, otomasyonla gerçekleştirilecek bir teknik ilerlemeyle üretkenliğin artırılması mümkün görülmektedir (Taher, 2021: 114).

Ancak şöyle bir problem vardır ki inşaat sektörü hâlâ kendi yenilikçi teknolojilerine geçmemiştir. Bu teknolojileri benimseyip geleneksel yöntemleri bırakma hızı da oldukça yavaştır. İnşaat sektörü projeleri hayata geçirme açısından, imalat endüstrisinden çok farklı bir yol izlese de Endüstri 4.0, bünyesinde barındırdığı teknolojilerle inşaat sektörüne de uyarlanabilmektedir (Hossain ve Nadeem, 2019: 1-2). Bu teknolojiler günümüzde yeterince yaygın olmasa da belli bir seviyede kullanılmaktadır. Ancak Endüstri 4.0'a geçişin tamamlandığı bir dönem içerisinde, bu teknolojilerin şu anki hallerinden çok daha gelişmiş versiyonlarının kullanılacağı öngörülmektedir.

a. Yapı Bilgi Modellemesi [Building Information Modeling (BIM)]

Yapı Bilgi Modelleme (Building Information Modeling (BIM)), bir yapının yapımdan yıkıma kadarki tüm yaşam döngüsünde mimar, inşaat mühendisi, elektrik mühendisi gibi yapı tasarımı ve mühendisliğini kapsayan meslek gruplarına multidisipliner bir koordinasyon ortamı sunan, bir yapıya ait ölçüler, form, malzeme cinsi, yapı eleman tipleri, arazi özellikleri, çevre özellikleri gibi sayısal ve grafiksel verilerin birleşimiyle bir simülasyon oluşturan uygulamalardır.



Şekil 21 BIM ile Binanın Yaşam Döngüsü (Ölçer, 2020: 23)

BIM'in kullanımı 1990'lı yılların ilk yarısında başlamış olmakla beraber, 2000'li yıllarda inşaat sektörü için yenilikçi bir uygulama olarak gündeme gelmiştir (Özcan ve Erol, 2018). Sektörün ilgisini çeken bir dizi faydaları bulunmaktadır. Bunlar; projelendirmede nihai sonuca yakın sonuçlar vermesi, farklı disiplinler arası projelendirmenin eş zamanlı yapılmasıyla hata payının ve harcanan zamanın azalması, parametrik tasarıma imkân vermesi, eşzamanlı görselleştirmelerin gerçekleşmesi, bina yaşam döngüsü boyunca kullanılarak bakım sağlama, inşaat takibinin yapılması, maliyet vb. gibi analizler yapma ve optimizasyonları sağlamadır. BIM ile genel anlamda daha hızlı ve hatasız sonuçlar alınmaktadır.

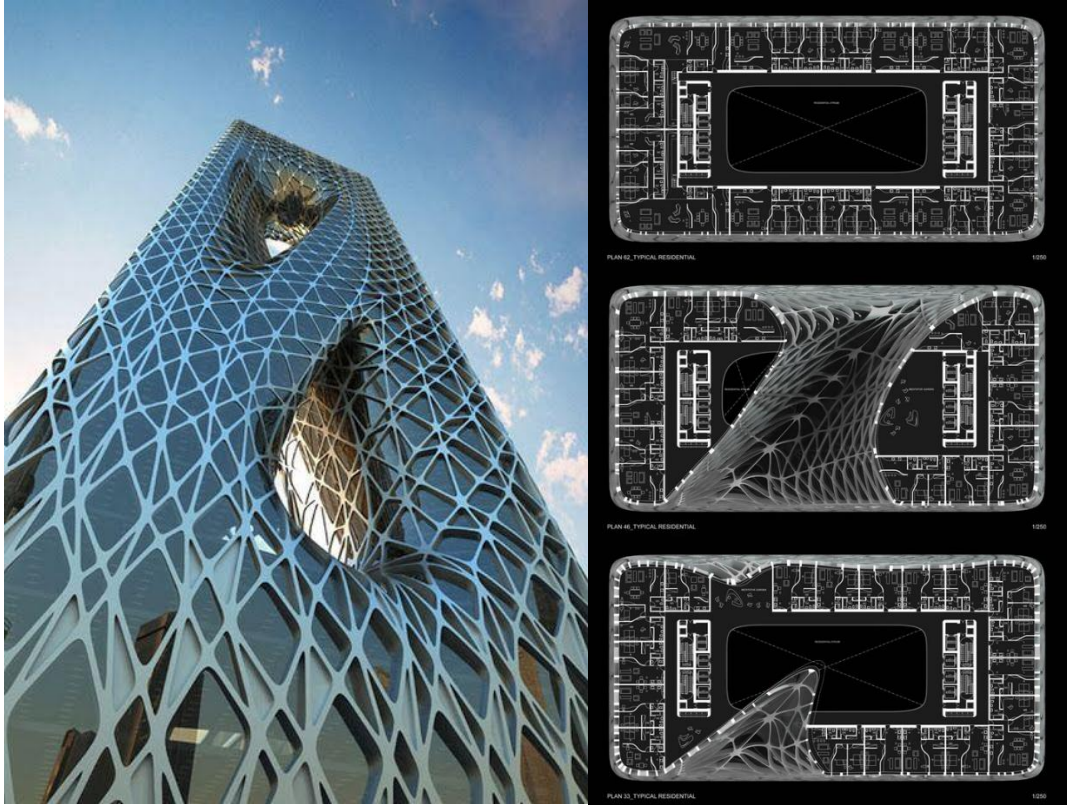
BIM aynı zamanda performans ölçümleriyle gün ışığı, rüzgâr, iklimsel veriler gibi bilgiler doğrultusundaki analizlerle oluşan bina simülasyonu, enerji etkin tasarım kriterlerine uygun yapı tasarımının gerçekleştirilmesine kaynak sağlamaktadır.

Ölçer (2020: 23) BIM'de yaşam döngüsünü projelendirmeden itibaren, malzeme temini, montaj, yapının kullanımları ve tadilatları, yıkım ve yeniden kullanım olarak sıralamış ve BIM'i yapının bu serüvenine ait sayısal bir temsil, yapı üzerindeki kararlar için bir bilgi merkezi olarak nitelendirmiştir. BIM yapının yaşam döngüsünün her evresinde çeşitli modeller aracılığıyla denetim ve kontrol imkânı sunmaktadır. Yapılan değişiklikler, projenin ilgili diğer verilerini de değiştirerek revizyonun tek seferde gerçekleşebilmesini sağlamaktadır. Bina üzerinde çalışan tüm disiplinler,

gelişmelerden ve değişimlerden anlık bilgi olarak, eşzamanlı müdahalelerde bulunabilmektedir.

BIM mimarlık, mühendislik ve inşaat [Architecture, Engineering and Construction (AEC)] endüstrilerinde en umut verici gelişmelerden biri olarak kabul edilmektedir (Turan ve Yavuz, 2022: 41). Özellikle mimarlık alanında parametrik tasarıma destek vererek karmaşık forma sahip yapıların tasarlanabilmesinin önünü açan yenilikçi bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Parametrik tasarım, sayısal tasarım araçlarıyla hesaplamalı tasarlama sürecine, ürünü etkileyen verilerin parametre olarak tanımlanmasına ve bu parametrelerin organize olmasına dayanmaktadır. Veriler birbiriyle ilişki kurmakta, sayısal ve geometrik olarak bağlantıları tanımlanmakta, kısıtlamaların belirtildiği bir tasarım planı yapılmaktadır. Bu ilişkisel modellerde, parametrelerin değiştirilmesiyle olası tüm durumlar araştırılabilmekte, alternatifler değerlendirilebilmekte ya da türetilmektedir. Konsept belirleme, form oluşturma, proje uygulama detaylarının çözülmesi, strüktür tasarlama gibi aşamalarda kullanılmaktadır. Tek bir ilişkisel modele bağlı olarak ölçü, açı, kalınlık gibi parametrik değerlerin değiştirilmesiyle detay çözümleri türetilmektedir (Kaçmaz, 2019: 3-4).

Çağdaş mimariyle yapılarda ve formlarda karmaşıklık artmıştır. Tasarımdaki ve bina yönetimindeki süreçlerde destek sağlaması üzerine bazı araçlara daha fazla ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Sayısal tasarım araçlarının giderek artmasıyla, çeşitli tasarım araçlarının birbiriyle koordine çalışması gerekmiş, bu noktada aynı parametreleri ve algoritmaları kullanmalarının zorunlu hale gelmesiyle BIM devreye girmiştir (Kaçmaz, 2019: 6). BIM, modelde yapılan değişikliklerin iş programı, yapı analizleri, strüktür çözümleri gibi diğer süreçler arasında tutarsızlık oluşturmasına engel olmaktadır (Kaçmaz, 2019: 7). BIM'in parametrik yapısı, projenin de parametrik olmasını sağlamaktadır. Bireysel parametreler arası ilişkilerle, karmaşık kurallara sahip projeler geliştirilebilmektedir (Çetiner, 2010: 552). Parametrik tasarım araçlarıyla günümüzde dahi yapılmış pek çok karmaşık geometrilere sahip ikonik bina örneği mevcuttur (Şekil 22-23). Wierzbicki et al. (2011) makine tabanlı bilgi üretme ve akıl yürütme yönteminin benzeri görülmemiş olasılıkları açacağını belirtmiştir.



Şekil 22 Sunrise Tower in Kuala Lumpur - Zaha Hadid Architects
(Gencimimarlar.com, 2021)



Şekil 23 AAMI Park Stadium, Melbourne City, Victoria, Australia, 2010 by Cox
Architects & Planners (Gencimimarlar.com, 2021)

b. Akıllı binalar

Bina insan ömrünün büyük bir kısmını içerisinde geçirdiği ve uyuma, yemek yeme, dinlenme, eğlenme, hizmet alma, alışveriş yapma gibi pek çok yaşama ait eylemi içerisinde barındıran alanlardır. Bir şehrin açık alanlarından çok daha fazlasını bina içlerinde geçiren insanoğlu için yaşantının otomatikleşmesi ve optimum rahatlığa ulaşması bina merkezli bir yaklaşımla mümkün olmaktadır. Bu sebeptendir ki akıllı

şehirler için geliştirilecek tüm stratejilerin başını akıllı binalar oluşturmaktadır. Alkan (2015: 75) binaları, hane kavramı üzerinden, ev ve ofis gibi iş-yaşam alanları, şehrin en küçük birimi, adeta bir insan vücudunun hücresi olarak ele almış, akıllı şehrin kökünü akıllı hanelerin oluşturacağını belirtmiştir. Akıllı şehrin her haneyle bağlantı kurması gerektiğini ifade etmiştir.

Akıllı binalar yönelik tanımlamaların içerisinde en yaygınları Amerika Birleşik Devletleri Akıllı Bina Enstitüsü [United States Intelligent Building Institute (IBI)] ve Avrupa Akıllı Binalar Grubu [European Intelligent Building Group (EIBG)] tarafından yapılan tanımlamalardır (Civan, 2006: 3). Amerika Birleşik Devletleri Akıllı Bina Enstitüsü akıllı binayı yapılar, sistemler, hizmetler ve yönetim unsurlarının optimizasyonu ve birlikte hareket etmesiyle düşük maliyetli ve üretken ortam sağlayan binalar olarak, merkezi Birleşik Krallık olan Avrupa Akıllı Binalar Grubu ise mekânın kullanıcı etkinliğinin en yüksek seviyede sergilendiği, donanım ve tesislerinin kaynakların etkin kullanımıyla en düşük maliyetle ömrünü sürdürdüğü binalar olarak tanımlamıştır (İgi-global.com, 2021).

Akıllı binalar da tıpkı akıllı şehirler gibi, yalnızca akıllı-otomatik cihazların işlemleri yerine getirdiği teknolojik bir yapılanma olarak değerlendirilmemektedir. Evrensel tasarım anlayışını gözeten, mekân organizasyonlarının ve sirkülasyonların daha bina çevresine araçla ya da yaya olarak girildiği andan itibaren bina yaşayanlarının ya da ziyaretçilerinin eylem skalası bağlamında tasarlandığı, malzemelerin ve yapım-yıkım tekniklerinin doğa dostu tercih edildiği ve verimliliğin sağlandığı, kapı-pencere-tesisatlar gibi yapı bileşenlerinin yerleşimlerinin sağlık koşullarına ve pasif-aktif iklimlendirmelere yönelik düzenlendiği, genel anlamda son yıllarda insanın doğaya olan tahribatıyla yükselen bir değer haline gelen sürdürülebilirlik kavramı rehber edilmiş binalar olmalıdır.

Ghaffarianhoseini et al (2016: 353), akıllı bina sistemlerinin yanıt vermesi gereken konuları dört başlık altına almıştır:

- Akıllılık ve teknolojiye karşı farkındalık: Teknoloji donanımına entegre olma, yapı elemanlarında gömülü teknolojilerin yer alması, sensörler ve yapay zekâyla kompoze olmaktır. Akıllı teknolojiler binanın ekonomik olma misyonuna uygundur. Ana kontrol bölümü, uyarlanabilir ve birlikte çalışabilir. Bina yeni veya gelişen teknolojilerin çizgisinde ilerlemektedir.

- Ekonomik olma ve maliyetten tasarruf: Ekonomik durumlara, maliyete ve bina yaşam döngüsüne yönelik analizlerin iyi yapılması, çevrenin artırılmış üretkenlik ve etkinliğinin göz önünde bulundurulması, kaynak verimliliği ve tesis entegrasyonu yönetimi, zaman ve maliyet tasarrufuna yönelik planlamaların yapılmasıdır.
- Bireylere ve toplumlara karşı duyarlılık: Binanın kullanıcılarının beklentilerini, konforunu, gizlilik ve güvenlik ihtiyaçlarını karşılamasıdır. Bina zaman geçtikçe meydana gelecek teknolojik, sosyal, bireysel değişimlere ve küreselleşme ile meydana gelen toplumsal iletişim tarzının değişimine açık olmalı, sakinlerinin duygularına ve yaratıcılığa destek vermeli ve etkinliklerini arttırmalıdır.
- Çevreye karşı duyarlılık: Tasarımın yeşil çevreci-ekolojik olması, yenilenebilir enerji kullanılması, enerji verimliliği stratejilerinin geliştirilmesi ve yönetilmesidir.

Ekolojik binaların tasarımlarında akıllı binalardan faydalanılmasıyla denetimin, performansın ve enerji etkinliğinin artırılması sağlanmaktadır (Utkutuğ, 2000a). Teknolojinin hayatla eklemlenmesinin aracı akıllı binalar, sürdürülebilir mimarlığın üstlendiği olgulara otomasyonuyla destek vermektedir. Utkutuğ (2000b), akıllı binaların otomasyonunun yerine getirdiği işlevleri şu şekilde özetlemiştir:

- Bina dışının günlük veya mevsimsel faktörleriyle mekân için pasif ya da aktif sistemlerin açılıp kapanması, devreye alınması, ayarlanması,
- Mekândaki kullanıcı özellikleri (kişi sayısı, kullanımların frekansı-süresi, kişisel ihtiyaçlar) çerçevesinde çeşitli konfor ayarlamalarının yapılması, boş olan ya da gereksiz açık duran tüm kullanımların kapatılması,
- Binalara akıllı sistemlerin tüm bölgelerde dahil edilmesiyle, değişimlerin takibi ve denetimi, gerekli durumlarda müdahalelerin yapılmasıdır. Mekândaki kişilerin değişimlerine uyum sağlanması, ani tehditlere ya da mahremiyet ihtiyaçlarına cevap verilmesi, arızaların saptanması ve onarımların yapılması bu müdahalelere örnek olarak verilebilir.

Geçmişten günümüze akıllı binalara eklenmiş yetenekler sırasıyla, uzaktan kumandayla kontrol özelliği, zamana bağlı programlanabilme özelliği, kontrol ünitesi-modül-sensör entegrasyonu senaryo girdileriyle çalışma özelliği ve binanın kullanıcılarını anlayan, tekrarlı davranışlarını izleyip öğrenen ve ona göre komut veren

yapay zekâ özelliğidir. Akıllı binaların söz konusu bu yeteneklerle eklemlenmiş, günümüzde kullanıcı memnuniyetini arttıran otomasyon uygulamalarından bazıları, duman, gaz kaçağı, binaya izinsiz giriş, su basmaları gibi faktörleri algılayarak sirenleri devreye sokan ve müdahale programlarını harekete geçiren sensörler, giriş çıkışlarda bina kullanıcılarına şifre, yüz tanıma gibi yöntemlerle izin veren sistemler, ısı-ışık-elektrik enerjileri ölçümleri yapan sistemler, sıcaklık-ışık gibi değerleri kullanıcıların konumdaki varlığına ya da yokluğa göre ayarlanan sistemler, hava durumunu da göz önüne alarak bahçe sulaması gibi faaliyetleri açan sistemlerdir (Avcı, 2022: 228-229).

c. Prefabrikasyon sistemler

Prefabrikasyon endüstriyelmiş inşaat olarak da adlandırılmakta olup, yapıyı oluşturan bileşenlerin önceden fabrikada hazırlanması, daha sonrasında yapının kurulacağı yere taşınıp birleştirilmesidir. Günümüzde her yapının içerisinde kapı, pencere, tuğla, aydınlatma elemanı vb. gibi bileşenlerle belli bir seviyeye kadar prefabrikasyon sistemi kullanılmaktadır. Ancak az bir seviyede kullanılmaktadır (Baş ve Vural, 2019: 124).

Prefabrike yapılar için pek çok sınıflandırma metodu (malzeme, boyut, ağırlık vb.) olsa da içlerinde en yaygını prefabrikasyonun derecesine göre olandır. Yapı elemanının bitmişlik seviyesi prefabrikasyonun seviyesini belirlemektedir. Bu sınıflandırma; iskelet, panel, modüler-hücre ve bunların birkaçının aynı anda kullanıldığı karma sistemler seçeneklerinden oluşmaktadır (Baş ve Vural, 2019: 124).

Prefabrikasyonun avantajları şu şekildedir: Konvansiyonel inşaatla süreç kademeli olarak ilerlerken, prefabrikasyonda üretim alanında ve inşaat alanında farklı çalışmalar eşzamanlı gerçekleştirilebilmektedir. Kapalı mekânlarda gerçekleşen işlemler iklim koşullarından kaynaklı gecikmelerden etkilenmemektedir. İşçiye olan ihtiyaç azalmaktadır. Yapının ömrünün tamamlanması durumunda modül ya da panel parçalarının başka bir yapı için tekrar kullanılabilme imkânı vardır. Panellerin sökülebilir olma özelliği aynı zamanda yapının esnek tasarım özelliğine sahip olmasına da imkân tanımaktadır. Üretim hızı artmakta, atık üretimi ve enerji tüketimi ise azalmaktadır. Tüm bu özellikleriyle sürdürülebilirliğe de katkı sağlamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi'nin Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik (LEED) kredi sistemine bakıldığında, sadece prefabrikasyon yöntemiyle bina

yapımının en düşük sertifikasyonu alabilmek için gereken puana erişmeyi sağladığı görülmektedir (Arar, 2018: 52-55).

Prefabrikasyon sistemlerle oluşturulan örnek yapılardan biri Victoria Hall Öğrenci Yurdu projesidir. Prefabrikasyonunun en yüksek derecesi modüler kutu sistemlerle yapılmış bir binadır. İngiltere'nin Wembley ilçesinde bulunan yapı Breem Sertifika Sisteminde çok iyi olarak derecelendirilmiştir. Her bir katındaki 10 adet bulunan modüllerin kurulumu 15 hafta içerisinde bitmiştir. Binanın taşıyıcı sisteminin inşası ile modül üretimi eşzamanlı yapılmıştır. 3 kanatlı bir formda en yüksek kanat 16 kattır. Yapıyla ilgili veriler incelendiğinde, konvansiyonel yöntemle yapılması durumunda 22 ayda bitecek olan bu yapının 16 ayda bittiği, böylelikle 6 aylık zaman tasarrufu sağlandığı saptanmıştır. Atık üretimi %90 azalmıştır. Kullanılan malzeme oranı %30 azalmıştır. Sadece 6 tane işçi inşaat için yeterli olmuştur (Modular.org, t.y.; Peterdann.com, t.y.)



Şekil 24 Sol: Victoria Hall Öğrenci Yurdu, Sağ: Yapının İnşası (Modular.org, t.y)

Prefabrikasyonla yapılan tasarımlarda özellikle modüler sistemlerle pek çok farklı tasarımlara imza atılmıştır. Bunlardan Kanadalı Mimar Moshe Safdie tarafından tasarlanan Habitat 67, dinamik yapısıyla önemli bir örnektir. Safdie'nin amacı konut masraflarını indirebileceği, yaşam kalitesi yüksek yeni bir ev tipolojisi yaratmaktır.

Yapı, 158 konutu içerisinde bulundurmaktadır. 354 adet prefabrike yöntemle üretilmiş aynı modüller farklı bir kombinasyonla birleştirilerek adete bir yığın görünümü sergilemiştir (Arkitektuel.com, t.y.).



Şekil 25 Habitat 67 (Arkitektuel.com, t.y.)

Prefabrikasyon çeşitli yönlerinden dolayı kısıtlanmaktadır. Kat sınırlaması mevcuttur. Günümüze kadar gelen süreç içerisinde yapılabilmemiş en yüksek bina 44 kata kadar çıkabilmiştir (Arkitera, 2021). Üretim boyutları da kaldırma, montaj ve nakliye yönelik araçlardaki kısıtlılıklar ve mühendislik hesaplamaları sebebiyle belli ebatlarda tutulmaktadır. Şu anda konvansiyonel sistemlere göre daha maliyetli kalmaktadır. Bu problemi aşmada uygulanabilecek temel stratejiler; seri üretime geçilmesi, modül boyutların kullanılması, nakliye mesafesinin kısalması ve yapıdaki prefabrikasyonun olabilecek en yüksek seviyeye getirilmesiyle işçi masraflarının minimuma indirilmesidir (Baş ve Vural, 2019: 132).

d. 3B yazıcılar

İnşaatlarda yenilikçi otomasyon teknolojileri arasında son dönemin popüler teknolojilerinden biri olan 3B baskının yapı üretiminde kullanımı Nasa'nın uzayda koloni kurma çalışmaları üzerine başlamıştır (Çerçevik vd., 2018: 117).

Günümüz 3B yazıcılarının çalışma prensibi Şekil 26'de gösterildiği gibidir. Bilgisayardan gelen komutlar doğrultusunda hareket alan bir nozzle, ağız kısmından

beton dökümünü gerçekleştirmektedir. Bu teknikte çelik donatı ve kalıp kullanılmamaktadır (Çerçevik vd., 2018: 118). Malzemenin sürekli ve detaylı kontrolü gerektiğinden nozzledan çıkan harcın yüksek performans göstermesi gerekmektedir. Ayrıca kalıp kullanılmayan bu yöntemde katmanlarda deformasyon görülmemesi için sıfır veya sıfıra yakın çökme değerine sahip beton harcı gerekmektedir. Bir katman üstüne eklenecek olan katmanı da taşıyabilecek dayanıma sahip olmalıdır (Lim et al., 2011: 666; Uygunoğlu vd., 2019: 282). Duvarlarda boşluk bırakılarak gerçekleştirilen bu inşaatte tesisat borularına da yer açılmış olmaktadır. İşçiler için geriye kalan eylemler yalnızca tesisat sistemlerinin ve kapıların-pencerelerin montajı olmaktadır.



Şekil 26 3B Yazıcı ile Yapı Üretimi (Dailymail.co.uk, 2014)

Toğay ve Sağıroğlu'na göre (2019: 1328) küçük boyutlu ürün üretiminde sürecin tamamını etkilemesi muhtemel olan 3B baskı, çok daha büyük çıktısı olan ve pek çok alt sektörü bulunan inşaat sektörü için farklı bir bakış açısıyla değerlendirilmeye alınmalıdır. Yine Toğay ve Sağıroğlu'na göre inşaat sektöründe 3B baskı teknolojisinin gelecekte tam manasıyla hangi alanda ve hangi aşamada kullanılacağı bilinmemektedir.

3B baskının inşaatte kullanımının standart bir ürünü üretmeyle arasındaki en büyük farkı, ortaya çıkacak olan çıktının boyutunun çok daha fazla olmasıdır. Bu noktada 3B yazıcının boyutunun da büyük olması gerekebilmekte (Uygunoğlu vd., 2019: 281) ya da diğer robotik makinelerden destek alınmasına yönelik olarak birlikte çalışabilecekleri bir sistem geliştirilebilmektedir.

3B baskının gelecekte istenen seviyeye gelmesi ve inşaat sahalarının birincil üretim yöntemlerinden biri haline gelmesi durumunda, etaplı ilerleyerek çok uzun vakit harcayan geleneksel inşa yöntemi yerine tek seferde işlem gerçekleştirme yeteneğine sahip olması açısından büyük bir atılım olacaktır (Uygunoğlu vd., 2019: 281). İnşaat 3B baskı ile çok daha kısa sürede bitebilmektedir. Bunun yanı sıra tasarımsal anlamda sınırlılıkları aşma potansiyeline sahiptir. İş gücü ihtiyacını önemli ölçüde gidermektedir. Malzeme israfının önüne geçmektedir. Atık üretimi konusunda %30' a varan azalma sağlamaktadır (Uygunoğlu vd., 2019: 286). 3B baskı ile yaklaşık 2000 metrekarelik bir yapının 24 saatten kısa bir sürede bitirilebileceği ve maliyetin de 5'te 1'e indirileceği öngörülmektedir (Contourcrafting.com, t.y). 3B baskı temiz enerji kullanımına da olanak tanımaktadır (Toğay ve Sağıroğlu, 2019: 1331). Halihazırda ürettiği karbondioksit miktarının azlığıyla avantaj sağlayan 3B baskı, inşaatta yenilenebilir enerji ile kullanımıyla daha çevreci bir yaklaşım sergileyecektir. Zhang (2013) 3B baskının denetim yönüne de değinmiş, tamamen otomatikleşmenin sağlandığı bir inşaat ortamında gerekecek olan denetim mekanizmasının minimuma ineceğini belirtmiştir.

3B yazıcı ile yakın tarihte gerçekleştirilen pek çok yapı üretimi mevcuttur. Bunlardan Çinli bir şirketin 2015 yılında yaptığı bir bina, 5 kata kadar çıkabilmiş olması açısından önemlidir. Winsun Firmasının Mart 2014'te yaptığı açıklamada inşaatta sanayi atığı ve inşaat malzemelerinin karıştırıldığı belirtilmiştir. Yetkililerin verdiği diğer bilgilere göre işçi maliyetleri yüzde 50-80 oranında azalmıştır. Şirketin 3B yazıcı hattının çelik desteklere ve izolasyona kadar uzandığı belirtilmiştir (Aljazeera.com.tr, 2015).



Şekil 27 3B Yazıcı ile Yapılan 5 Katlı Bina (Aljazeera.com.tr, 2015)

2017 yılında Eindhoven Üniversitesi tarafından Amsterdam’da yapılan köprü, estetik olarak ve geçebildiği açıklık miktarıyla sınırlı kalsa da 3B baskının kullanımıyla üretilen ilk köprü olmasından dolayı öneme sahiptir (Vietnamnews.vn, 2017).



Şekil 28 3B Yazıcı ile Yapılan Köprü (Vietnamnews.vn, 2017)

3B baskı teknolojisinin günümüz şartlarında geldiği noktada, henüz çok büyük yapıların inşası için kullanmada yetersiz kalırsa da küçük yapılarda inşa maliyeti çok daha düşük olmaktadır. Ayrıca 3B baskı söz konusu bu küçük yapıların tasarımcılarının tasarımlara daha özgür yaklaşabilmesine olanak tanımaktadır (Toğay ve Sağıroğlu, 2019: 1331). Günümüzde küçük konutlar için tercih edilen 3B baskılar, şu anda özellikle afet konutları, sosyal konutlar gibi sosyal yardım içerikli yapılaşma için alternatif olabilmektedir.

3B baskının gelişmesiyle tasarım ve ortaya çıkan ürün arası farklar giderek azalmaya başlamıştır. Plastik, seramik, reçine gibi pek çok malzeme ile parametrik tasarımlar yapmak mümkün hale gelmiştir. 2015 yılında Yu Lei ve Xu Feng’in Guinness Rekorlar kitabına girmeye hak kazandığı Vulcan Pavyonu bu duruma güzel bir örnektir (Sorguç ve Yemişçioğlu, 2020: 10-11). Farklı formların üretimini gerçekleştirmek için sadece yapının tamamı üzerinde değil, cephe elemanı gibi yapı bileşenlerinin üretimi üzerinde de ayrıyeten bir çalışma sağlamak alternatif olabilmektedir.



Şekil 29 Vulcan Pavillion (Designboom.com, 2015)

Mevcut durumdaki kullanımları değerlendirildiğinde dezavantajları şu şekilde açıklanabilir: Ağır ve taşınması zor ekipmanları vardır. Alt yapı ve hammadde sağlamada zorluk yaşanmaktadır. Betonun basılırken cihaz içinde prizlenmemesi veya katmanlarda priz alabilmesi için yoğun dikkat gerekmektedir. Ayrıca rüzgâr, yağmur gibi hava durumları da basım sürecinde olumsuzluk yaratabilmektedir. Kirli sahalarda dolaşan ekipmanların bakımlarının düzenli ve titizlikle yapılması gerekmektedir (Toğay ve Sağıroğlu: 2019: 1333). 3B baskının bir diğer dezavantajı ise yapısal elemanların mekanik özelliklerin karşılaştırılabileceği ve modellenebileceği standart bir testin olmamasıdır. Mühendislik anlamında yapı elemanları için standart malzeme testleri ile tanımlama zorunluluğu vardır. Donatı konusu da şu an 3B baskılı inşaat tekniği için yetersiz kalan konulardan biridir. 3B yazıcıdan basılacak olan beton harcına ilave donatı için ek müdahale gerekmektedir Ayrıca tıpkı diğer 3B baskılı ürünlerin üretimi gibi inşaatlar için de malzeme sınırlılığı vardır. (Uygunoğlu vd., 2019: 281-286).

e. Robotlar ve dronlar

Yapı üretiminde insan müdahalesi olmaksızın harekete geçerek, yapı üretimini otomatikleştiren ve işgücünün yerini alma potansiyeline sahip olan diğer teknolojiler robotlar ve dronlardır. Robotlar yapı üretiminin birden fazla yerinde görülürken, dronlar üzerindeki çalışmalar daha çok denetim mekanizması haline getirilmeleri yönünde yoğunlaşmaktadır.

Çağlar ve Vural (2020: 253-254) robot teknolojisini, tıpkı 1960’larda mimarlık sahnesine giren bilgisayar teknolojisi gibi farklı sektörler için üretilmiş olan ancak zamanla mimarlar tarafından kullanılan ve bu bağlamda mimarlığı dönüştürme potansiyeline sahip olan bir teknoloji olarak ele almıştır. Robot kullanımının giderek yaygınlaştığını belirtmiş, bu teknolojinin tasarıma, fabrikasyona, konstrüksiyona, koruma ve restorasyona varıncaya kadar sektörün her alanında aktifleşme olasılığına değinmiş, Endüstri 4.0’ın içinde bulunduğumuz dönemde mimarlığın teorik ve pratik yönlerinin robotlarla kırılabilirliğini ifade etmiştir.

Robotların yapı üretiminde kullanımıyla ilgili pek çok çalışma yapılmaktadır. Bunlardan bir tanesi Avustralyalı inşaat teknolojileri firması FBR (eski adıyla Fastbrick Robotics) tarafından geliştirilen Hadrian X’tir. FBR’nin yenilik direktörü, konutları yeterli hızda üretebilmeye olanak tanıyacak kadar yeterli sayıda insan olmadığını belirtmiş, inşaat süreçlerinde otomasyona geçirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Duvar örme görevi yapan Hadrian X, tek bir veri kaynağından elde edilen bilgiyle, gerekli blok ölçülerini ve harç miktarını hesaplayarak atık miktarını azaltmaktadır. Hassasiyet verimliliğinin azaltılmasıyla geleneksel yöntemlerden daha hızlı ve daha az maliyetleri binaların yapımı mümkün olabilmektedir. CAD’de modellenen bir duvarı meta verilere çeviren bir yazılımla gerçekleşen bu işlemde, standart bir tuğlanın 12 kat büyüklüğünde bloklar kullanılabilir. Her bir tuğlanın yerleşimi 45 ve 55 saniyede bir gerçekleşmektedir. Hadrian X Kasım 2018’deki bir inşaatta 180 metrekarelik bir evi 3 gün içinde tamamlamıştır (Redshift.autodesk.com.tr, 2019).



Şekil 30 Hadrian X ile Duvar Örme İşlemi (Redshift.autodesk.com.tr, 2019)

Bir diğerk örnek, Houston merkezli Rugged Robotics tarafından üretilmiş olan bir otonom araçtır. Bu araç, plan üzerinden zemine imal edilecek alanları işaretleyerek görevlilere yardımcı olmaktadır. Kolonların, merdivenlerin ve açılan şaft boşluklarının yerlerini kontrol edebilmektedir. İşçilerle koordineli çalışarak hızı arttırmakta ve işçihatalarının önüne geçerek de hata payını azaltmaktadır (Rugged-robotics.com, t.y.).



Şekil 31 Rugged Robotics Otonom Aracı (Rugged-robotics.com, t.y.)

Robotların yapı üretiminde yer alabileceğikullanım alanları 4'e ayrılmaktadır (Çağlar ve Vural 2020: 255-258).

- Tasarım süreçlerinde gözlem ve prototipleme için kullanılabilir.
- Fabrikasyon süreçlerinde özel üretim ve kitlesel özelleşmiş üretimlerde kullanılabilir. Sayısal fabrikasyonun yöntemlerinden biri olan robotlarla, veriler ışığında Öklid geometrisinin dışında kalan formların oluşturulması hassas hesaplamalarla sağlanabilmektedir.
- Üretim ve malzeme bilgisine sahip robotlar, şantiyede işçiyerine kullanılabilir, hızı ve kaliteyi arttırabilir.
- İşletme operasyonları sürecinde, otomatik, yarı otomatik veya uzaktan kontrollerle binaların işlemesine yönelik denetim, bakım tehlike azaltma gibi görevlerde kullanılabilirler.

Robotlarla karmaşık formların oluşturulmasına yönelik çalışmalar yapılmasına karşın günümüzde geldiğik nokta daha çok prototip örnekler üzerinedir. Bunlardan bir tanesi, Mimar Stefana Parascho'nun ve Mühendis Sigrid Adriaenssens'in Londra'daki SOM "Anatomy of Structure" için yapmaya çalıştığı bir enstalasyon çalışmasıdır. İki araştırmacı, karmaşık formlar oluşturulurken dahi inşaatın basitleşmesini

hedeflemiştir. Poesia Glass Studio'dan 338 şeffaf cam tuğladan yapılmış, 7 fit yüksekliğinde, 12 fit genişliğinde ve 21 fit uzunluğunda nefes kesici bir kasa inşa etmek için İngiltere merkezli Global Robots tarafından tedarik edilen iki endüstriyel robot kullanılmıştır (Ekoyapidergisi.org, 2022).



Şekil 32 Mimar Stefana Parascho'nun ve Mühendis Sigrid Adriaenssens'in Robotlarla Yaptığı Enstalasyon (Ekoyapidergisi.org, 2022)

Bir diğer örnek Landesgartenschau Sergi Salonu, büyük ölçekli ve kalıcı bir yapı denemesi olarak endüstriyel robotik uygulamaların ilk denemesidir. Achim Menges'in yönettiği Stuttgart Üniversitesi'nde ICD'deki bir sergi salonudur. Proje, Müllerblaustein Holzbau GmbH, Hesaplamalı Tasarım Enstitüsü, Bina Yapıları ve Yapısal Tasarım Enstitüsü ve Mühendislik Jeodezi Enstitüsü arasında bir iş birliğiyle gerçekleştirilmiştir. Kabuğu tamamen robotik prefabrike kalın kontrplak levhalardan oluşan bir yapıdır. Proje, hafif ahşap konstrüksiyon, hesaplamalı tasarım, ölçme yöntemleri, simülasyon ve robotik imalatın birleşimiyle çağdaş atılımların mimari bir prototipi olmuştur (Archdaily.com, 2014; Ekoyapidergisi.org, 2022).



Şekil 33 Landesgartenschau Sergi Salonu (Archdaily.com, 2014)

Robotların, inşaatlarda sadece belirli alanlarda kullanılabilmesine yönelik bazı endişelerin olmasına karşın giderek gelişmekte ve farklı modelleri ortaya çıkmaktadır. Buna karşın, inşaat sahalarında robot kullanımını yapı üretiminin tekdüze olmayan eylem yapısından mütevellit zorlaşmaktadır (Gürkan, 2019: 23-24).

Dronlar, bir diğer adıyla insansız hava araçları, inşaatların üzerinde gezerek faaliyet göstermektedir. Yüksek, uzak, tehlikeli yerlere kadar varabilmekte ve uzaktan kontrol imkânı sunmaktadır. Kameralar, GPS üniteleri, termal sensörler ve kızılötesi sensörlerle donatılmış olan dronlar havadan araştırmalar yaparak veri toplamakta ve bu verilerin bilgisayarda analiz edilmesine ve yorumlanmasına olanak tanımaktadır. Dronlar, gelecekte güvenilir ve sofistike tasarım modelleri oluşturma noktasında bilgiye ulaşımı kolaylaştıracak ve iç görünlere erişim sağlayacaktır. BIM süreçlerinin verimli geçmesi açısından, topografik alan görüntüleri, dijital yüzey modelleri ve ayrıntılı nokta bulutları gibi güvenilir veriler sunarak inşaat paydaşları arasındaki etkileşimde daha ayrıntılı, hızla güncellenebilir 3B modellerin sunulmasına aracılık edecektir (Can, 2021:31-33).



Şekil 34 Şantiye Haritası Çıkarmak Amacıyla Kullanılan Bir Dron (Can, 2021: 33)

2. Endüstri 4.0'da Yapı Üretimiyle İlgili Beklenebilecek Olumlu Sonuçlar ve Zorluklar

a. Olumlu sonuçlar

- Robot ve 3B yazıcı teknolojisinin inşaatlardaki işleri devralmasıyla iş güvenliği problemleri ortadan kalkabilecektir. Sahalarda yaralanma ve ölüm riskleri kalmayacaktır. İşçi maliyetleri düşecektir.

- 7-24 çalışma olanağı bulunan robotlara ve 3B yazıcılara tamamen geçilmesi halinde inşaat süresinin oldukça kısalması mümkündür.
- Kendini kurgulayabilen, sevkiyatı optimize edebilen, saha yöneticilerine geribildirim gönderebilen akıllı şantiyelerin kurulması mümkün hale gelebilecektir (Prieto, 2021: 3).
- Space Group'un 2016 yılında yaptığı *Tedarik Zinciri ve Sürdürülebilirlik* anketinde yüklenici ve tedarikçi firmaların %58'inin vasıflı işgücü eksikliğini bir problem olarak gördüğü saptanmıştır (Craveiroa, 2019: 251). 3B Yazıcı, robot ve fabrikasyon sistemler gibi yenilikçi teknolojilerin devreye girmesiyle inşaatlarda çalışanların, yeterli teknik bilgiye sahip olmamasından ya da kolaya kaçma amacıyla yapının statğine zarar veren hatalı işlemler yapmasından doğan riskler ortadan kalkabilecektir.
- Yeni teknolojilerin kullanımı sayesinde oluşan atık miktarının azalması, geri dönüşümün sağlanması, performans analizlerinin yapılabilmesi, maliyetin azalması, zararlı gaz salınımının azalması, kaynak verimliliğinin artması gibi hem yapının inşa evresinde hem de kullanımı sırasında tasarrufun ve sürdürülebilirliğin sağlanması yönelik avantajlar oluşacaktır.
- Aktörler arası (tasarımcı, tedarikçi, yüklenici, müşteri ve teknik destek sağlayan akıllı makineler) yatay ve dikey entegrasyonun kurulması, eşzamanlı takiple daha hızlı kararlar alınmasını sağlayacaktır (Prieto, 2021: 3). Tasarım-tedarik-inşaat arası hızlı revizyonlar sağlanabilecektir.
- Nesnelerin interneti, makine öğrenimi, yapay zekâ gibi teknolojilerden faydalanılarak daha hatasız çıktılar alınması, daha kaliteli ve verimli çıktılar alınması sağlanabilecektir.
- Saha operasyonlarında meydana gelen durumlar hakkında daha dinamik bir farkındalık oluşabilecektir. Bu bağlamda oluşacak şeffaf, güncel ve güvenli bilgi akışının verimliliği arttırması mümkün olacaktır (Prieto, 2021: 6).
- Araç ve yöntemler için simülasyonlarla iş planları hızlı ve hatasız kurgulanabilecek ve uygulamadan önce öğrenmeye yetisine sahip olan dijital programlarla analitik tahminlerin gerçekleşebilmesi sağlanacaktır (Prieto, 2021:7).

b. Yapı üretiminde 4. evreye geçmeye yönelik zorluklar ve engeller

- Yapı üretimi diğer ürünlerin üretimine benzememektedir. Bu durum yapı üretimi için Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasını ve sektöre doğrudan adapte edilmesini zorlaştırmaktadır (Craveiroa, 2019: 251). Endüstri 4.0 müşteriye özel ürünlerin seri üretimini kapsamaktadır. Ancak inşaat sektörü zaten yapısında benzersiz ve tekil ürün çıkartma eğilimindedir. Endüstri 4.0 endüstrileşmiş ürünlerin bireyselleşmesine yönelik yeni bir seri üretim modelini ortaya koyarken, inşaat sektörünün dönüşümünde hedef, zanaatın endüstrileşebilmesini sağlamaktır. Bu yönden endüstriyel üretim ve yapı üretimi birbirinden ayrılmaktadır (Klinc and Turk, 2019: 402).
- Yapı üretiminde çeşitli mevzuatlar yeni teknolojilere uygun değildir. Ayrıca günümüz yasaları ve sözleşmeleri yeni üretim yöntemleri için belirsiz kalmaktadır (Oesterreich and Teutebergi, 2016).
- Yapı sektörü çalışanlarının Endüstri 4.0'a geçilebilmesi için gelişmiş becerilere sahip olması gerekmektedir. Özellikle yapı sektörünün vasıfsız çalışanlarını oluşturan kolu için adaptasyon sorunu oluşmaktadır (Oesterreich and Teutebergi, 2016).
- Yapı üretiminde doğabilecek statüğü etkileyen sonuçlar insan hayatı riski taşımaktadır. Bu bağlamda teknolojik ilerlemenin çok daha titiz gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Söz konusu yeni teknolojilerin halihazırdaki durumları da yapı yüksekliğinde ve geçilebilen açıklık mesafesi konusunda sınırlıdır.
- Yapı üretiminde ve yapıların kullanımında tamamen dijitalleşen bir evreye geçilmesi siber güvenlik riskleri doğurmaktadır. Bu kapsamda siber güvenlik alanında yoğun çalışmalar yapılması gerekmektedir.
- İnşaat projeleri karmaşık kalmaktadır. Ayrıca sektör oldukça parçalanmış bir tedarik zincirine sahiptir (Oesterreich and Teutebergi, 2016).

C. Geleceğin Mimari Tasarımcıları

Gelecekte yapay zekânın devreye girmesiyle günümüzde yer alan mesleklerin pek çoğu yok olabilir. Bu bağlamda mimarlığın da artık insanlar tarafından icra edilen bir meslek olmaması söz konusudur. Degryse (2016: 23) dijitalleşmenin ve

otomasyonun gelişimi karşısında meslek gruplarının akıbeti üzerinde bir inceleme yapmış olup, düşük, orta ve yüksek riskli olarak gruplandığı meslekler içerisinde tüm inşaat sektörü çalışanlarını yüksek riskte olanlar arasına koymuştur. Bu bağlamda mimarlık mesleği mensuplarının da yüksek riskte olduğu söylenebilmektedir.

Mimarlık mesleğinin insanlar tarafından icra edilmesine devam edilmesi durumunda, geleceğin dijital teknolojilerini kullanmaya yönelik bazı yeni yeteneklerin edinilmesi gerekecektir. Vrchota et al. (2020:3) tüm iş kollarında Endüstri 4.0 için zorunlu hale gelecek olan teknik yetenekleri, bilgi teknolojileri becerileri, verileri işleme ve analiz edebilme, istatistik bilgisi, organizasyonel ve prosedürel farkındalık ve en yeni cihazları kullanabilme olarak sıralamıştır. Bu bağlamda mimarlar için tasarımcı olmak yetersiz kalacak, aynı zamanda mimarların dijital teknoloji bilgisi donanımı yüksek bireyler haline gelmesi gerekecektir.

Mimar Raşit Gökçeli de bu bilgiyi destekler nitelikte olarak şunları söylemiştir (Mimdap.org, 2019): “*Plancı ya da mimar çözmekle yükümlü olduğu bina, kent parçası ile ilgili analizlerini yürütürken, elindeki konu ile ilgili hipotezlerini saptayıp, izleyeceği teknikleri seçip uygulayacağı model ile ilgili gerekli algoritmaları oluşturur iken artık giderek dijital teknoloji ve yapay zekâdan yararlanacaktır.*”

Yapı üretimine ait yenilikçi teknolojiler giderek daha fazla sektöre entegre olmaktadır. Örneğin, bulut sistemli BIM uygulamaları için spesifikasyonların geliştirilmesi üzerine araştırmalar çoktan başlamıştır (Alreshidi et al., 2016: 2). Gelecekte inşaat endüstrisinin kendini dijitalleşmeye ve inovasyona bırakması sonucu otomatik modellemeler ve otomatik üretimler başlayacaktır (Craveiroa et al., 2019:254). Mimarların geleceğin otomatikleşmiş inşaatlarında dijital kontrol mekanizmalarını kullanabilmeye yönelik eğitime sahip olması gerekebilecektir.

Çağlar ve Vural (2020: 259) bu durumla alakalı olarak şunları söylemiştir: “*Günümüzdeki küçük ölçekli ve deneysel sayılabilecek üretimlerin yakın gelecekte bina ölçeğindeki üretime doğru gelişmesi mümkündür. Ana araç olarak robotların kullanılacağı bir üretim mimar- yüklenici, mimar-usta, mimar-mühendis gibi ilişkilerin yeniden kurgulanmasını gerektirecektir. Böyle bir senaryoda mimar tasarım alanı sınırları içerisinde duran rolünden, Rönesans öncesi dönemdeki binayı da inşa eden kişiye de tekrar robotlar sayesinde dönüşebilir.*”

V. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Endüstri 4.0 insanların mümkün olduğunca devre dışına bırakıldığı, karar mekanizmalarının ve eylem gerçekleştirici aktörlerin dijital ve otonom teknolojilerden oluştuğu bir düzeni ifade etmektedir. Endüstri 4.0'ı oluşturan 10 bileşen vardır. Bunlar siber fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, bulut bilişim, büyük veri, arttırılmış gerçeklik, simülasyon, yatay-dikey entegrasyon, otonom robotlar, 3B yazıcılar ve siber güvenlidir. Endüstri 4.0'ın bu bileşenleriyle üstel bir hızda kaydedilen teknolojik ilerlemeler toplumsal yapının da dönüşümünü beraberinde getirmektedir.

Toplumsal yapının dönüşümü, toplumların bünyesinde barındırdığı iş kollarının ve bilim-sanat dallarının icra edilme şekillerindeki prensipleri ve kullanılan teknolojileri de değiştirecektir. Mimarlık kavramı da yapıyı çevreyi oluşturmaya yönelik bir dal olarak bu yeni gelişmelerden etkilenecektir. Yaşama, eğlenme ve çalışma gibi faaliyetlerin tümünün gerçekleştiği alanların tasarlanmasının üzerinde çalışan bir alan olan mimarlığın uğradığı tüm değişimlerin toplum hayatını da değiştirecek yetisi vardır. Aynı şekilde toplumun değişmesi de mimariyi değiştirmektedir. Bu açıdan mimarlıkta meydana gelecek tüm gelişmeler sadece alansal bazlı değil toplumsal bazlı, kritik bir konudur.

Endüstri 4.0'ın, yeni bir endüstri devrimi olarak mimarlık üzerinde meydana getirebileceği etkileri anlayabilmek için, tarih boyunca meydana gelen endüstri devrimlerinin mimarlığı hangi yönlerden etkilediğini anlamak yol gösterici bir mahiyette olabilmektedir. Bu kapsamda saptanın bilgileri şu şekildedir:

- Endüstriyel devrimler, toplumların sosyal, ekonomik ve demografik yapılarını değiştirebilmektedir. Bu durumda kentler sanayi kenti, bilgi kenti gibi isimler alabilmekte, yeni niteliklere sahip olabilmektedir. Kent içerisindeki fonksiyonel ayrışmalar değişebilmekte, yeni fonksiyonlar ve mekânlar oluşabilmekte, bazı yapı tipleri değerini kaybederken, bazı yeni bina tipleri oluşabilmektedir. Konutlaşma artabilmekte, konutlar üretim alanı, hizmet alanı vb. gibi fonksiyonlara yakınlık kurma amacıyla belli alanlarda yoğunlaşabilmektedir.

- Endüstriyel devrimler ulaşım sistemlerini geliştirmekte, yeni ortaya çıkan araçlar ve bu araçlara uygun oluşturulan yol ağları kentlerin makroformlarını değiştirebilmektedir.
- Endüstriyel devrimler kentleşme oranlarını arttırarak kentlerde bazı sorunlara sebebiyet verebilmekte, bu sorunların çözümüne yönelik olarak yeni kentsel tasarım fikirleri ortaya çıkabilmektedir.
- Endüstriyel devrimler yeni inşaat yöntemlerini ve yeni malzemeleri ortaya çıkartabilmektedir. Yeni malzemelerle yapılara yeni strüktür sistemleri geliştirilebilmekte, yapıların görsel ve işlevsel nitelikleri değiştirilebilmektedir. Geliştirilen yeni teknolojilerle eskisine nazaran daha yüksek, daha geniş açıklıklara sahip, daha geometrik sınırlılıkları aşan tasarımlar yapılması mümkün hale gelebilmekte böylelikle tasarım özgürleşebilmektedir.
- Yeni teknolojilerin olanak tanınmasıyla ve toplumdaki kültürel özelliklerin değişimiyle, eskiye baş kaldırma, eskiye dönük özlem vb. gibi oluşan hissiyatlar mimari tasarımcıları yeni üslup arayışlarına itebilmektedir.

Mimarlık sosyal ve teknolojik gelişmelerden etkilenmektedir. Endüstri 4.0 da tıpkı daha önceki endüstri devrimleri gibi hem toplumlarda sosyal değişimler meydana getirecek hem de yepyeni teknolojilerin yaşama ve tüm iş kollarına entegre olmasına sebep olacak, köklü bir dönüşümdür. Çalışmada edinilen bilgiler ışığında Endüstri 4.0 ile istihdamda, yönetim anlayışında, üretim-tüketim ilişkisinde ve iş sektörlerinde meydana gelecek farklılaşmalarla, toplumların yaşam biçiminin ve alışkanlıklarının günümüzdekinden çok daha farklı bir duruma geleceği saptanmıştır. Bu durum mekân organizasyonundan kent formuna kadar ulaşan bir dönüşüm süreciyle hem kentlerde hem de yapılarda yeni tasarım anlayışları getirecektir. Bunun yanı sıra, teknolojiyle yeni bina biçimleri ve yeni ulaşım araçları ortaya çıkabilecek böylelikle kentsel alanların yeni ulaşım ağları ve yeni bina tasarımlarıyla yeniden şekillenmesi söz konusu olacaktır. Bilim kurgu filmlerinde yer edinmiş olan siber alanlar, hologramlar, ses koku vb. gibi fiziki çevrede oluşan değişimleri algılayarak harekete geçen sistemler geleceğin kentlerinin ve binalarının unsurları olacaktır.

Endüstri 4.0 hızda ve verimlikte artış sağlayarak ekonomik rekabette fark yaratma gayesini barındıran bir devrim olarak, sürdürülebilirlikle pek çok yönden

ilişkilendirilebilmektedir. Bu açıdan da mimarlık alanında en çok eşleştiği konulardan biri sürdürülebilirlik konusudur. Sağlık sistemlerinde ve tıptaki gelişmelerle uzayan insan ömrüyle dünya nüfusu sürekli artmakta, sonuç olarak kaynaklar da hızla tükenmektedir. Sürdürülebilir tasarım prensipleri gitgide önem kazanmakta, sürdürülebilirliği uygulamak gitgide mecburiyet haline gelmektedir. Endüstri 4.0 ise büyük veri, nesnelerin interneti, bulut teknolojileri, siber fiziksel sistemler hizmetleriyle sürdürülebilirler tasarım prensiplerinin sağlanması noktasında büyük bir destek vermektedir. Akıllı fabrika olgusuyla üretimden başlayan bir “her şeyin akıllı hale gelmesi” eğilimi akıllı binalar ve akıllı şehirler gibi teknolojinin kullanılmasıyla sürdürülebilirliğin sağlanmasını hedef alan teknolojik olguların önünü açmaktadır. Bu kapsamda gelecekte yapılan tasarımların akıllı teknolojilerle uyum sağlayabilen çevrelerin oluşturulmasına yönelik olarak yeni paradigmalara sahip olması beklenebilmektedir. Geleceğin binalarında ve çevrelerinde otomasyon sistemlerine uyum sağlayan tasarımlar olacaktır. Bu otomasyon sistemleri aydınlatma, havalandırma, ısıtma sistemi gibi sistemlerin kontrolünde ve suyun, enerjinin, doğal kaynakların optimum kullanımında yönetimi gerçekleştirecektir. Bunun yanı sıra Endüstri 4.0 ile mimarlık ve inşaat alanında ön plana çıkan yenilikçi 3B yazıcı, robot, dron, prefabrikasyon sistemler, BIM teknolojileri de binanın tüm yaşam döngüsünü boyunca, performans analizleriyle tasarım yapılabilmesi, maliyet optimizasyonlarının sağlanması, esnek tasarım imkânı sunma, hızın artması, atık üretiminin ve enerji tüketiminin azalması, zararlı gaz salınımının azalması yönleriyle sürdürülebilirliğe destek sağlamaktadır.

Mimarlıktaki yenilikçi teknolojiler, kendi arasında veri aktarımıyla otomatikleşmenin gerçekleşeceği bir yapı üretim sistemi oluşturacaktır. Yapının üretilmesindeki aktörler siber ağ aracılığıyla birbirlerine bağlanabilecektir. BIM bu bağlantıda merkezi unsur olarak mimarlar, mühendisler ve şantiye görevlileri arasında iş birliği kurulmasını sağlayabilecek, koordineli ve efektif çalışmaya olanak tanıyacaktır. BIM sayısal veriler aracılığıyla ortaya çıkarttığı sanallaştırmalarla, projelendirme kısmının daha kolay ve daha kısa sürede gerçekleşmesini sağlayacak, müşterilere nihai sonuçları açıklamak kolaylaşacak, revizyon ihtiyacı azalacak, gereken revizyonlar ise daha çevik bir şekilde gerçekleştirilebilecektir.

Endüstri 4.0’ın beklentilerinden biri mavi yakanın yok olmaya doğru gitmesidir. Geleceğin mimari tasarımcısının inşaat işçileriyle değil, otomasyon teknolojileriyle

koordine olması gerekecektir. Tasarımları gerçeğe dönüştürecek olan unsur insanlar değil otomasyon sistemleridir. Bu noktada mimari tasarım açısından geleceğin robotlarının ve yazıcılarının teknolojik özellikleri önemli bir konu olmaktadır. Otomasyona dayalı inşaatın yenilikçi teknolojilerinin günümüzde geldiği nokta tasarımsal anlamda değerlendirildiğinde, BIM'in parametrik tasarımda avantaj sağlıyor olduğu saptanmış ancak diğer teknolojilerle yaygın olarak belirli bir kat sayısı sınırında daha düz formlarda çalışmalar yapılabildiği gözlemlenmiştir. Robotlar ve 3B yazıcılar için pek çok karmaşık formlu tasarımlar yapılmaya çalışılsa da bu tasarımlar daha küçük ve prototip olma seviyesinde kalmıştır. Sayısal verilerle işlem gerçekleştirmeye yönelik bu yeni teknolojiler gün geçtikçe ilerlemektedir. Bu bağlamda gelecekte insan eliyle yapılandan çok daha özgürlükçü formları meydana getirebilme ihtimalleri vardır. Ancak yeterince ilerlememiş olmaları senaryosunda, söz konusu bu otomasyon teknolojilerinin çalışma prensiplerinde belirli sınırlılıkların olmasının, tasarımda da belirli sınırlılıkları oluşturma ihtimalini göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

Yapı üretiminde ve yapı tasarımında tüm bu gelişmeler yaşanırken, yükselen bir teknoloji olan yapay zekâ gelecekte tasarımcının alacağı rolü düşündürmektedir. Akla şu soru gelmektedir: Geleceğin bina tasarımcısı insan mı olacak yoksa robot mu? Mimarlık bu denli büyük bir dönüşüm içerisindeyken, mimarlığı gerçekleştirenin ise hâlâ insanlar mı olacağı belirsiz bir konudur. Gelecekte mimarlık olgusunun içerisinde bu mesleği icra eden bireyler olmayabilir. Ancak şöyle bir gerçek vardır ki tasarım insan tarafından da gerçekleştirirse robot tarafından da gerçekleştirilse dijitalleşme mimari tasarımcılığı da etkileyecektir. Yapay zekâ teknolojisi ve otomatikleşen yapı üretimi, dijital süreçlere entegre olabilme yetisine sahip tasarımcıları gerektirecektir.

Çalışmada elde edilen bilgilere göre, Endüstri 4.0'ın mimarlıkla ilişkilendirileceği, bu bağlamda Endüstri 4.0'ın dünyaya bütünüyle egemen olması durumunda mimarlığın geleceğinin etkileneceği pek çok nokta olduğu saptanmıştır. Geleceğin kentleri ve yapıları Endüstri 4.0 ile yeniden şekillenecektir. Endüstri 4.0'ın dijital teknolojileri yapıyı çevreye eklemlenebilecek, kentlere yepyeni imgeler yaratabilecektir. Bunun yanı sıra insan tercih ve beklentilerinin değişmesi, bu bağlamda mekân tasarımlarında kuralların da yeniden belirlenmesi muhtemel olacaktır. Endüstri 4.0 gibi otomasyonun en yüksek düzeye çıktığı ve üretim hacminin çok arttığı bir dönemde sürdürülebilirliğin de sağlanması mecburi hale gelecektir.

Geleceğin yaşam alanlarını akıllı şehirler ve binalar oluştururken, bu alanlarda sürdürülebilirlik prensiplerinin de uygulanması gerekecektir. Geleceğin kentlerinde, 3B yazıcılarla, robotlarla, prefabrikasyon sistemlerle oluşturulmuş hızlı üretim binaların tasarımları, bu yeni araçların yetenekleriyle şekillenebilecektir. Endüstri 4.0'ın hedefleri insanlığı gelecekle ilgili tasavvur edilen, bilim kurgu filmlerinde görülen fütüristik kentlere yaklaştırmaktadır.

Dünya üzerinde değişim her zaman devam etmektedir. Esas önemli olan nokta değişimin farkında olmak, değişime hazır olmak, meydana gelecek olumlu sonuçları önceden fark edip yakalayabilmek, olumsuzlukları önceden fark edip erkenden çözümler üretmeye çalışmaktır. Bilimsel araştırmalarla, gelecekle ilgili olasılıkların ortaya konulması ve gerek şirket gerekse ulus ölçeğinde olsun bu olasılıklar bağlamında planlamaların erkenden yapılmaya başlanması gerekmektedir. Bu açıdan endüstri devrimleri gibi dünya üzerinde kuralların baştan yazılmasına sebep olan devrimler çok daha büyük bir önem arz etmektedir.

VI. KAYNAKLAR

KİTAPLAR

- AKDEMİR, F. ve ÖNDER, H. G. (2022). **Endüstri 4.0'ın Etkisindeki Akıllı Kentin Arazi Kullanım ve Ulaşım Paradigmaları**, S. Çiğdem ve A. Boztaş, (Ed.), Endüstri 4.0'dan Toplum 5.0'a Güncel Yaklaşımlar (ss.233-251) içinde, Sakarya, Nobel Akademik Yayıncılık, 2. Baskı.
- AYTEN, A. M. ve DEDE, O. M. (2009). **Kentlerin Evriminde Bir Aşama: Bilgi Kentleri**, Uluslararası 7. Bilgi, Ekonomi ve Yönetim Kongresi Bildiriler Kitabı (ss.2096-3010) içinde, Yalova.
- BANGER, G. (2016). **Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme**, Ankara, Dorlion Yayınevi, 1.Baskı.
- BANGER, G. (2018). **Endüstri 4.0 Ekstra**, Ankara, Dorlion Yayınevi, 2.Baskı.
- BENEVOLO, L. (1995). **Avrupa Tarihinde Kentler**, Çev. N. Nirven, İstanbul, Afa Yayıncılık.
- BORDEN, D., ELZANOWSKI, J., LAWRENZ, C., MİLLER, D., SMİTH, A. ve TAYLOR, J. (2015). **Mimarlık- Başvuru Kitapları**, NTV Yayınları.
- CANTEK, L. (2006). **Kabadayıların ve Futbolun Mahallesi: Hacettepe** (Der.), Sanki Viran Ankara (ss.175-210) içinde, İstanbul, İletişim Yayınları, 1.Baskı.
- DURMUŞ, A. (2019). **Endüstri 4.0 Eğitim 4.0 Liderlik 4.0 Toplum 5.0**, İstanbul, Efe Akademi Yayınları.
- ERMAĞAN, İ. ve ERDOĞDU, S. (2022). **Dijital Dönüşüm Devrimi: Endüstri 4.0 ve (Endüstriyel) Yapay Zekâ**, S. Çiğdem ve A. Boztaş (Ed.), Endüstri 4.0'dan Toplum 5.0'a Güncel Yaklaşımlar (ss.47-63) içinde, Sakarya, Nobel Akademik Yayıncılık, 2. Baskı.
- GÖRÇÜN, Ö. F (2016). **Endüstri 4.0**, İstanbul, Beta Yayıncılık, 1. Baskı.

- GROPIUS, W. (1967). **Yeni Mimari ve Bauhaus**, İstanbul, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, 1.Baskı.
- KENNEDY, P. (1991). **Büyük Güçlerin Yükseliş ve Çöküşleri**, Çev. B. Karanakçı, Ankara, Türkiye İş Bankası Yayınları.
- KIRILMAZ, S. K. (2022). **Endüstri 4.0 ve Yetenek Yönetimi**, S. Çiğdem ve A. Boztaş (Ed.), Endüstri 4.0'dan Toplum 5.0'a Güncel Yaklaşımlar (ss.191-211) içinde, Sakarya, Nobel Akademik Yayıncılık, 2. Baskı.
- KİNG, B. (2016). **Augmented (Arttırılmış Gerçeklik)**, Çev. K. Balaban, İstanbul, Kapital Medya ve Hizmetleri A.Ş.
- KÖSE, D. T. (2022). **Endüstri 4.0'dan Toplum 5.0'a: Demokrasinin Yeni Görünümü**, S. Çiğdem ve A. Boztaş (Ed.), Endüstri 4.0'dan Toplum 5.0'a Güncel Yaklaşımlar (ss.285-296) içinde, Sakarya, Nobel Akademik Yayıncılık, 2. Baskı.
- LE CORBUSIER (2009). **Atina Anlaşması**, Çev. Ayda Yerükan, İstanbul, Yapı Kredi Yayınları, 1.Baskı.
- MANVILLE, C., COCHRANE, G., JONATHAN, C., MILLARD, J., PEDERSON, J. K., THAARUP, R. K., LIEBE, A., WISSNER, M., MASSINK, R., ve KOTTERINK, B. (2017). **Mapping Smart Cities In The EU**, Brussels, European Parliament Published.
- ÖNDER, B. A. (2021). **Z Kuşağı: Eşitlik ve Reklam Tasarımları**, İstanbul, Nobel Yayın, 1. Baskı.
- ÖZDOĞAN, O. (2019). **Endüstri 4.0**, İstanbul, Pusula 20 Teknoloji ve Yayıncılık A.Ş, 3. Baskı.
- ÖZER, B. (1964). **Rejyonelizm, Üniversalizm ve Çağdaş Mimarimiz Üzerine Bir Deneme**, İstanbul, İTÜ Yayını.
- RAGON, M. (2010). **Modern Mimarlık ve Şehircilik Tarihi**, Çev. M. A. Erginöz, İstanbul, Kabalıcı Yayınevi. 1.Baskı.
- RELPH, E. (1987). **The Modern Urban Landscape**, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.

- ROTH, L.M. (2017). **Mimarlığın Öyküsü**, Çev. E. Akça, İstanbul, Kabalcı Yayınevi, 2.Baskı.
- SANG, H, HAN, H., LEEM, T. ve YİĞİTCANLAR, T. (2008). **Towards Ubiquitous City: Concept, Planning, And Experiences İn The Republic Of Korea**, T. Yigitcanlar, K. Velibeyoglu, ve S. Baum, (Ed.), Knowledge-Based Urban Development: Planning and Applications in the Information Era (ss.148-169) içinde, IGI Global.
- SCHWAB, K. (2016). **Dördüncü Sanayi Devrimi**, Çev. Z. Dicleli, İstanbul, Optimist Yayın Grubu.
- THE BRİTİSH STANDARDS İNSTİTÜTİON PAS:181 (2014). **Smart City Framework Guide to Establishing Strategies for Smart Cities and Communities**, BSI Standards Limited.
- TÜRKMEN, N.C. (2022). **Ana Akım İktisatta Yapay Zekâ Kullanımı: Bir Evrim mi Devrim mi?**, S. Çiğdem ve A. Boztaş (Ed.), Endüstri 4.0'dan Toplum 5.0'a Güncel Yaklaşımlar (ss.309-319) içinde, Sakarya, Nobel Akademik Yayıncılık, 2. Baskı.
- ULUKAVAK, M. ve ÖNDER, H.G. (2019). **Akıllı Kent**, Ö. Sezer ve A. Kayan (Ed.), Kent Tartışmaları ve Yeni Yaklaşımlar, Ankara, Orion Kitapevi.
- VELİBEYOĞLU, K., (2016). **Akıllı Kentler: Vaatler ve Ötesi**, S. Şanlısoy (Ed.), Yenilikçi Sürdürülebilir Gelişme Stratejileri Bağlamında Türkiye Ekonomisinin Geleceğine Yönelik Çözüm Arayışları (ss.176) içinde, İzmir, DEÜ Yayınları.
- WILKINSON, P. (2015). **Gerçekten Bilmeniz Gereken 50 Mimarlık Fikri**, Çev. V. Atmaca, Domingo Yayınevi.
- YILMAZ, M. (2022). **Endüstri 4.0: Platform Tabanlı Akıllı İşletme Modeline Geçiş**, S. Çiğdem ve A. Boztaş (Ed.), Endüstri 4.0'dan Toplum 5.0'a Güncel Yaklaşımlar (ss.29-45) içinde, Sakarya, Nobel Akademik Yayıncılık, 2. Baskı.

MAKALELER

- AKSOY, S. (2017). “Değişen Teknolojiler ve Endüstri 4.0: Endüstri 4.0’ı Anlamaya Dair Bir Giriş”, **Sav Katkı**, sayı 4, ss.34-44.

- AKYÜREK, Y. ve PEKİŞİK, G. (2001). “Gelişim Mimarlık ve Cam”, **Ege Mimarlık**, sayı 37, ss.19- 21.
- ALÇİN, S. (2016). “Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0”, **Journal of life Economics**, cilt 3, sayı 2, ss.19-30.
- ALKAN, T. (2015). “Akıllı Kentler ya da 21. Yüzyıl Şehirleri”, **Bilişim Dergisi**, sayı 182, ss.70-77.
- ALRESHİDİ, E., MOURSHED, M. ve REZGUİ, Y. (2016). “Cloud-Based BIM Governance Platform Requirements and Specifications: Software Engineering Approach Using BPMN and UML”, **Journal of Computing in Civil Engineering**, cilt 30, sayı 4, 04015063.
- ASHTON, K. (2009). “That ‘İnternet of Things’ Thing”, **RFID Journal**, cilt 22, sayı 7, ss.97-114.
- AVCI, İ. (2022). “Akıllı Evlerde IoT Teknolojileri ve Siber Güvenlik”, **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, sayı 34, ss.226-233.
- AYRES, R. U. (1990). “Technological Transformations and Long Waves Part I”, **Technological Forecasting And Social Change**, cilt 37, sayı 1, ss.1-37.
- BAAZİZ A. ve QUONIAM L. (2013). “How to Use Big Data Technologies to Optimize Operations in Upstream Petroleum Industry”, **International Journal of Innovation (IJI)**, cilt 1 sayı. 1, ss.19-25.
- BAENA, F., GUARİN, A., MORA, J., SAUZA, J. ve RETAT, S. (2017). “Learning Factory: The Path to İndustry 4.0”, **Procedia Manufacturing**, cilt 9, ss.73-80.
- BAŞ, G. Y. ve VURAL, N. (2019). “Prefabrike Beton Panel Sistemlerin Konut Üretiminde Kullanım Olanakları”, **Online Journal of Art and Design**, cilt 7, sayı 4, ss.124-133.
- BATAL, S. ve TUĞLU, K. (2018). “Endüstri 4.0 ve Yeni Teknolojiler Karşısında Yerel Yönetimlerde Yaşanan Değişimler”. **Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi**, cilt 6, sayı 14, ss.216-232.
- BİNGÖL, B. (2018). “Yeni Bir Yaşam Biçimi: Artırılmış Gerçeklik (AG)”, **Etkileşim**, sayı 1, ss.44-55.

- BİROL, G. (2016). “Modern Mimarlığın Ortaya Çıkışı ve Gelişimi”, **Megaron**, ss.3-16.
- CRAVEIROA, F., DUARTEC, J. P., BARTOLOA, H. ve BARTOLOD, P. J. (2019). “Additive Manufacturing as An Enabling Technology for Digital Construction: A Perspective on Construction 4.0”, **Sustain. Dev**, cilt 4, sayı 6, ss.251-267.
- ÇAKMAK, A. (2021). “Yapı Malzemesinin Tarihsel Gelişimi ve Mimarlığa Etkileri”, **ATA Planlama ve Tasarım Dergisi**, cilt 5, sayı 1, ss.41-54.
- ÇERÇEVİK, A. E., TOKLU, Y. C., KANDEMİR, S. Y. ve YAYLI, M. Ö. (2018). “3d Baskı Teknolojisi Kullanarak Yapı Üretiminin Son Dönem Yeniliklerinin Araştırılması”, **International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry**, cilt 2, sayı 2, ss.116-122.
- DALBAY, S. (2019). “Liberal Politikalardan Neoliberal Politikalara: Sosyal Devletin Dönüşümü”, **Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi**, sayı 74, ss.46-68.
- DUMAN, M. Z. (2008). “Fransız Devrimi'nin Politik Sonuçları ve Tocqueville'nin Devrime İlişkin Görüşleri”, **Sosyoloji Dergisi**, sayı 19, ss.103-119.
- ELVAN, L. (2017), “Akıllı Şehirler: Lüks Değil İhtiyaç”, **İTÜ Vakfı Dergisi**, sayı, 77, ss.6-9.
- ERTURAN, İ. E. ve ERGİN, E. (2017). “Muhasebe Denetiminde Nesnelerin İnterneti: Stok Döngüsü”, **Muhasebe ve Finansman Dergisi**, sayı 75, ss.13-30.
- FIRAT, O. Z. ve FIRAT, S. Ü. (2017). “Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar”, **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi**, cilt 46, sayı 2, ss.211-223.
- GHAFFARIANHOSEİNİ, A., BERARDİ, U., ALWAER, H., CHANG, S., HALAWA E., GHAFFARIANHOSEİNİ, A. ve CLEMENTSCROOME, D. (2016) “What Is An Intelligent Building? Analysis Of Recent Interpretations From An International Perspective”, **Architectural Science Review**, cilt 59, sayı 5, ss.338-357.

- GİFFİNGER, R. ve GUDRUN, H. (2010). “Smart Cities Ranking: An Effective Instrument For The Positioning Of The Cities?”, **ACE: Architecture, City And Environment**, cilt 4, sayı 12, ss.7-26.
- GÖNEN, S., YILMAZ, E. N., ŞANOĞLU, S., KARACAYILMAZ, G., ve ÖZBİRİNCİ, Ö. (2021). “Endüstri 4.0’ın Gelişim Sürecinde Unutulan Bileşen: Siber Güvenlik”, **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, cilt 9, sayı 4, ss.1142-1158.
- GÜLER, H. ve İKİEL, C. (2022). “Akıllı Şehirler Kavramı ve Ankara Örneğinde Yapılan Çalışmalar”, **Anadolu Kültürel Araştırmalar Dergisi**, cilt 6, sayı 1, ss.44-58.
- GÜNAY, D. (2002). “Sanayi ve Sanayi Tarihi”, **Mimar ve Mühendis Dergisi**, cilt 31, ss.8-14.
- GÜNDÜZ, M. Z. ve DAŞ, R. (2018). “Nesnelerin İnterneti: Gelişimi, Bileşenleri ve Uygulama Alanları”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, cilt 24, sayı 2, ss.327-335.
- GÜRGÖZE, G. ve TÜRKOĞLU, İ. (2019). “Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması”, **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, cilt 31, sayı 1, ss.53-66.
- HOFMANN, E. ve RÜSCH, M. (2017). “Industry 4.0 and The Current Status as Well as Future Prospects on Logistics”, **Computers in Industry**, cilt 89, ss.23-34.
- HOSSAİN, M. A. ve NADEEM, A. (2019). “Towards Digitizing the Construction Industry: State of the Art of Construction 4.0”, **Proceedings of the ISEC**, cilt 10, ss. 1-6.
- İÇTEN, T. ve BAL, G. (2017). “Artırılmış Gerçeklik Üzerine Son Gelişmelerin ve Uygulamaların İncelenmesi”, **Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology**, cilt 5 sayı 2, ss.111-136.
- KAÇMAZ, Ş. (2019). “Parametrik Tasarım ve BIM”, **Yapı Bilgi Modelleme**, cilt 1, sayı 1, ss.3-9.
- KARAKÖSE, M. ve YETİŞ, H. (2017), “A Cyberphysical System Based Mass-Customization Approach with Integration of Industry 4.0 and Smart City”, **Wireless Communications and Mobile Computing**, ss.1-9.

- KARAYILMAZ, C. ve ÖZKER, A. N. (2020). “Kamusal Nitelikli Özel Malların Sunumunda Akıllı Şehirler Olgusu: Akıllı Şehir Uygulamalarında Küresel Değişimler”, **KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi**, cilt 22, sayı 38, ss.82-100.
- KAYAPINAR, Y. E. (2017). “Akıllı Şehirler ve Uygulama Örnekleri”, **İTÜ Vakfı Dergisi**, sayı 77, ss.14-19.
- KAYPAK, Ş. (2011). “Bilgi Toplumu Olma Yolunda Kentsel Değişim ve Bilgi Kentleri”, **Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi**, cilt 6, sayı 1, ss.117-130.
- KLİNC, R., ve TURK, Ž. (2019). “Construction 4.0–Digital Transformation of One of the Oldest Industries”, **Economic and Business Review**, cilt 21, sayı 3, ss.393-410.
- KORKMAZ, B. (2016). "3B Yazıcı: Atlantik ve Avrasya Rekabetinde Yeni Bir Faktör", **International Journal of Social Inquiry**, cilt 7 sayı 2, ss.17-30.
- KÖSE, H. Ö. (2004). “Küreselleşme Sürecinde Devletin Yapısal ve İşlevsel Dönüşüm”, **Sayıstay Dergisi**, sayı 49, ss.3-46.
- KÖSEOĞLU, Ö. ve DEMİRCİ, Y. (2018). “Akıllı Şehirler ve Yerel Sorunların Çözümünde Yenilikçi Teknolojilerin Kullanımı”, **Uluslararası Politik Araştırmalar Dergisi**, cilt 4, sayı 2, ss.40-57.
- KUZU DEMİR, E.B., DEMİR, K., ÇAKA, C., TUĞTEKİN, U., İSLAMOĞLU, H. ve KUZU, A. (2016). “Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojilerinin Eğitim Alanında Kullanımı: Türkiye’deki Uygulamalar”, **Ege Eğitim Dergisi**, cilt 17, sayı 2, ss.481-503.
- LİU, C. ve XU, X. (2017). “Cyber-Physical Machine Tool – The Era of Machine Tool 4.0”, **Procedia CIRP**, cilt 63, ss.70-75.
- NEİROTTİ, P., DE MARCO, A., CAGLIANO, A. C., MANGANO, G. ve SCORRANO, F. (2014). “Current Trends in Smart City Initiatives: Some Stylised Facts”, **Cities**, cilt 38, ss. 25-36.
- NEW, C. (1998). “The State Of Operations Management İn The UK - A Personal View ”, **International Journal of Operations & Production Management**, cilt 18 sayı 7, ss.675-677.

- OESTERREICH, T. D. ve TEUTEBERG, F. (2016). "Understanding the Implications of Digitisation And Automation in the Context Of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of A Research Agenda for the Construction Industry", **Computers in industry**, cilt 83, ss.121-139.
- OLGUN, H. (2010). "Ütopya'dan Distopya'ya: "Modern şehircilik" ve Kritiği", **İDEALKENT**, cilt 1, sayı 1, ss.96-111.
- ÖLÇER, B. (2019). "İklim Krizinde BİM'in Üstleneceği Rol", **Yapı Bilgi Modelleme**, cilt 2, sayı 1, ss.19-29.
- ÖRSELLİ, E. ve DİNÇER, S. (2019). "Akıllı kentleri anlamak: Konya ve Barcelona Üzerinden Bir Değerlendirme", **Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi**, cilt 2, sayı 1, ss.90-110.
- PRİETO, R. (2021). "Construction 4.0", **Nac Executive Insights**, ss.1-8.
- RÜBMANN, M., LORENZ, M., GERBERT, P., WALDNER, M., JUSTUS, J., ENGEL, P. ve HARNİSCH, M. (2015). "Industry 4.0: The Future Of Productivity and Growth in Manufacturing Industries", **Boston Consulting Group**, cilt 9, sayı 1, ss.54-89.
- SORGUÇ, A. ve KRUŞA YEMİŞCİOĞLU, M. (2020). "Mimarlıkta Fabrikasyon Teknolojileri ve Endüstri/Mimarlık 4.0", **Gelecek, Teknoloji ve Mimarlık**, ss.6-15.
- STOCK, T. ve SELİGER, G. (2016). "Opportunities Of Sustainable Manufacturing In Industry 4.0", **Procedia CIRP**, cilt 40, ss.536-541.
- SÜRMEH, H. K. (2019). "Eklemeli İmalat (3b Baskı): Teknolojiler ve Uygulamalar", **Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi**, cilt 24, sayı 2, ss.373-392.
- ŞAHİN, Ç. (2020). "Kapitalizm-Mekân İlişkisi: Fordist 'Sanayi/İşçi' Kenti ile Post-Fordist 'Küresel/Hizmet' Kenti Karşılaştırması Üzerinden Bir Değerlendirme", **Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi**, sayı 79, ss.237-275.
- ŞAHİN, K., ve TURAN, B.O. (2018). "Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Analizi", **Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi**, cilt 2, sayı 2, ss.97-116.

- ŞENSES, F. (2004). “Neoliberal Küreselleşme Kalkınma İçin Bir Fırsat mı, Engel mi?”, **Kalkınma ve Küreselleşme**, cilt 1, ss.13-54
- TAHER, G. (2021). “Industrial Revolution 4.0 in the Construction Industry: Challenges and Opportunities”, **Management Studies and Economic Systems**, cilt 6, sayı 3/4, ss.109-127.
- TAŞ, H. Y. (2018). “Dördüncü Sanayi Devrimi’nin (Endüstri 4.0) Çalışma Hayatına ve İstihdama Muhtemel Etkileri”, **OPUS International Journal of Society Researches**, cilt 9, sayı 16, ss.1817-1836.
- TURAN, M. ve YAVUZ, A. Ö. (2022). “Kavramsal Tasarımda Yapı Bilgi Modellemesi ile Tasarım Süreci Üzerine Düşünmek”, **International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry**, cilt 6, sayı 1, ss.40-53.
- TÜRKMEN, S. N. ve TEKKANAT, S. S. (2018). “Tarih Boyunca Kent Formlarının Biçimlenişi Üzerine Bir İnceleme”, **Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, cilt 10, sayı 4, ss.107-124.
- UYGUNOĞLU, T., ÖZGÜVEN, S. ve TOPÇU, İ. B. (2019). “3d Teknolojisi ile Yapı Malzemesi Üretimindeki Gelişmeler”, **International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry**, cilt 3, sayı 3, ss.279-288.
- ÜNVER, B. (2020). “Distopik Bilim Kurgu Sinemasında Gelecek Mekânları ve Mimari Öngörüler”, **Yedi**, sayı 24, ss.95-111.
- VRCHOTA, J., MAŘIKOVÁ, M., ŘEHOŘ, P., ROLÍNEK, L. ve TOUŠEK, R. (2020). “Human Resources Readiness For Industry 4.0”. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, cilt 6, sayı 3, ss.1-20.
- YILDIZ, B. ve SEÇKİN, N. P. (2019). “Mimaride Malzemelerin Algısal Farklılıklarının Değerlendirilmesi”, **İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (İZÜFBED)**, cilt 1, sayı özel 1, ss.6-14.
- ZHANG, J. ve KHOSHNEVİS, B. (2013). “Optimal Machine Operation Planning For Construction By Contour Crafting”, **Automation in Construction**, sayı, 29, ss.50-67.

ELEKTRONİK KAYNAKLAR

- ARIT, S. “Geleceğin Kentleri”, Erişim Adresi: <https://e-dergi.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=8kpaGTCxMeJQQ-03npfq6o1H?dergiKodu=4&cilt=31&sayi=362&sayfa=58&yaziid=10354>, (Erişim Tarihi: 5 Şubat 2023).
- AVCI, H., “Paris ve Haussmann”, Arkitera, <https://www.arkitera.com/haber/paris-ve-haussmann/>, (Erişim Tarihi: 15 Şubat 2023)
- ÇELEBİ, A., “Gelecekte Ulaşım Nasıl Olacak”, Media Trend, <https://mediatrend.mediamarkt.com.tr/gelecekte-ulasim-nasil-olacak/>, (Erişim Tarihi: 2 Şubat 2023)
- GÖKÇELİ, R., “4. Endüstriyel Devrim ve Mimarlık”, Mimdap, <http://mimdap.org/2019/12/4-endustriyel-devrim-ve-mimarlyk-kriz-yok-donuthum-var/>, (Erişim Tarihi 15 Nisan 2023)
- HASOL, D., “Mimari ve Malzeme”, Doğan Hasol Resmî Web Sitesi, <http://www.doganhasol.net/mimari-ve-malzeme-2.html>, (Erişim Tarihi: 7 Şubat 2023)
- KAPLAN, O. B., “Sanayi Devrimi’nin İtici Gücü: Watt’ın Buhar Makinesi”, Bilim Genç Tubitak, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/sanayi-devriminin-itici-gucu-wattin-buhar-makinesi>, (Erişim Tarihi: 3 Ocak 2023)
- KARAKOÇ, N., “HTA Design, Croydon’da Dünyanın En Yüksek Modüler Konut Projesini Tasarladı”, Arkitera, <https://www.arkitera.com/haber/hta-design-croydonda-dunyanin-en-yukse-moduler-konut-projesini-tasarladi/>, (Erişim Tarihi: 5 Haziran 2023)
- MOLNAR, M., “Art Station”, <https://www.artstation.com/artwork/bwonv>, (Erişim Tarihi: 10 Mart 2023)
- ÖZDAMAR, N., “Le Corbusier'in Ütopyası: Ville Radieuse Kent Planı”, Arkitekt, <https://www.gzt.com/arkitekt/le-corbusierin-utopyasi-ville-radieuse-kent-plani-3567697>, (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- TEKİN, Ç., “Değişim”, Yapı Dergisi, <https://yapidergisi.com/degisim/>, (Erişim Tarihi: 4 Ocak, 2023)

- URL-1 “Güncel Türkçe Sözlük”, Türk Dil Kurumu Sözlükleri, <https://sozluk.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2013)
- URL-2 “Sanayi Devrimi”, Tarihi Olaylar, <https://www.tarihiolaylar.com/tarihi-olaylar/sanayi-devrimi-1107>, (Erişim Tarihi: 2 Ocak 2013)
- URL-3 “1 Aralık 1913-Endüstride Bugün-İlk Hareketli Montaj Hattı”, Maki Industrial Solutions, <https://www.makiindustrial.com/maki-endustriyel-haber-detay.asp?lng=TRK&hid=52>, (Erişim Tarihi: 2 Ocak 2023)
- URL-4 “Kristal Saray”, Arkitektuel, <https://www.arkitektuel.com/kristal-saray/>, (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- URL-5 “Steiner Evi”, Architectuul, <https://architectuul.com/architecture/steiner-house>, (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- URL-6 “Villa Savoye”, Arkitektuel, <https://www.arkitektuel.com/villa-savoye-2/>, (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2023)
- URL-7 “Endüstri 4.0 Yolunda”, SIEMENS, Erişim Adresi: <https://siemens.e-dergi.com/pubs/Endustri40/Endustri40/Default.html#p=16>, (Erişim Tarihi: 22 Ekim 2022)
- URL-8 “Robot Tanımları”, TÜBİTAK Bilim ve Teknik, <http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/bilgipaket/robotik/tanimlar.html>, (Erişim Tarihi: 22 Ekim 2022)
- URL-9 “Dünyanın ilk 3D Binası”, Aljazeera Turk, <https://www.aljazeera.com.tr/haber/dunyanin-ilk-3d-binasi>, (Erişim Tarihi: 18 Mart 2023).
- URL-10 “500 Şirket Hacklendi”, Hürriyet, <https://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/500-sirket-hacklendi-30383340>, (Erişim Tarihi: 22 Ekim 2022)
- URL-11 “Urban Population (% of Total Population)”, The World Bank, https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?contextual=default.&end=2021&most_recent_year_desc=false&start=1960, (Erişim Tarihi: 4.Kasım 2022)
- URL-12 “Goal 11: Make Cities Inclusive, Safe, Resilient And Sustainable”, United Nations, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>, (Erişim Tarihi: 4.Kasım 2022)

- URL-13 “1.2 Kentsel- Kırsal Nüfus Oranı”, Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kentsel---kirsal-nufus-orani-i-85670>, (Erişim Tarihi: 10 Mart 2022).
- URL-14 “Dijital Bir Yaklaşım: Parametrik Tasarım”, Genç Mimarlar Derneği, <https://www.gencmimarlar.com/post/dijital-bir-yakla%C5%9F%C4%B1m-parametrik-tasar%C4%B1m>, (Erişim Tarihi: 3 Haziran 2023)
- URL-15 “What is Intelligent Building”, IGI Global, <https://www.igi-global.com/dictionary/gesture-driven-system-for-intelligent-building-control/15019>, (Erişim Tarihi: 25 Mart 2023)
- URL-16 “Modular Building Rises High with 19-Story Dorm in UK”, Modular Building Institute, http://www.modular.org/HtmlPage.aspx?name=19_Story_Dorm_UK, (Erişim Tarihi: 16 Nisan 2022)
- URL-17 “Victoria Hall”, Peterdann Consulting Engineers Wembley, <https://www.peterdann.com/portfolio/victoria-hall-wembley-modular/>, (Erişim Tarihi: 27 Mart 2023).
- URL-18 “Habitat 67”, Arkitektuel, <https://www.arkitektuel.com/habitat-67/>, (Erişim Tarihi: 6 Haziran 2023)
- URL-19 “NASA's Plan To Build Homes On The Moon: Space Agency Backs 3D Print Technology Which Could Build Base”, Mail Online, <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2539857/How-3D-printing-help-colonise-moon-Contour-Crafting-technique-build-lunar-bases-astronauts-just-24-hours.html>, (Erişim Tarihi: 18 Mart 2023).
- URL-20 “Offering Automated Construction of Various Types of Structures”, Contour Crafting, <https://www.contourcrafting.com/building-construction>, (Erişim Tarihi: 18 Mart 2023).
- URL-21 “Dünyanın İlk İnsansız, Robot Fabrikası Çin’de Kuruldu”, Milliyet, <https://www.milliyet.com.tr/teknoloji/dunyanin-ilk-insansiz-robot-fabrikasi-cin-de-kuruldu-2097553>, (Erişim Tarihi: 22.Ekim 2022)
- URL-22 “Dutch Open ’World’s First 3D-Printed Bridge”, Viet Nam News, <https://vietnamnews.vn/life-style/405822/dutch-open-worlds-first-3D->

- printed-bridge.html#yO5dWdFKQm6119ef.97, (Erişim Tarihi: 18 Mart 2023)
- URL-23 “VULCAN: The World's Largest 3D-Printed Architectural Pavilion”, <https://www.designboom.com/architecture/vulcan-beijing-design-week-bjdw-largest-3d-printed-architectural-pavilion-parkview-green-10-07-2015>, (Erişim Tarihi: 20 Mart 2023)
- URL-24 “Tuğla Döşeyen Bu Robot İnşaatın Geleceğini Değiştiriyor”, Redshift, <https://redshift.autodesk.com.tr/tugla-doseyen-robot/>, (Erişim Tarihi: 25 Mart 2023)
- URL-25 “Rugged Robotics”, <https://www.rugged-robotics.com/index.html>, (Erişim Tarihi: 17 Nisan 2023)
- URL-26 “Robotlar ve Mimarlık Üzerine Düşündüren Yapı Anatomisi Enstalasyonu”, Ekoayapı Dergisi, <https://www.ekoyapidergisi.org/robotlar-ve-mimarlik-uzerine-dusunduren-yapi-anatomisi-enstalasyonu>, (Erişim Tarihi: 5 Haziran 2023)
- URL-27 “Landesgartenschau Exhibition Hall / ICD/ITKE/IIGS University of Stuttgart”, Archdaily, <https://www.archdaily.com/520897/landesgartenschau-exhibition-hall-icd-itke-iigs-university-of-stuttgart>, (Erişim Tarihi: 5 Haziran 2023)
- URL-28 “Mimari ve Tasarımda En İyi 5 Robot Yapımı Proje”, Ekoyapı Dergisi, <https://www.ekoyapidergisi.org/mimari-ve-tasarimda-en-iyi-5-robot-yapimi-proje>, (Erişim Tarihi: 5 Haziran 2023)

TEZLER

- AKTAN, E. Ö. A. (2006). “Kent Biçimi – Ulaşım Etkileşimine İlişkin (Tarihsel ve Güncel) Yaklaşımlar ve İstanbul Örneği”, (Yayımlanmamış doktora tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- ARAR, E. (2018). “Yeşil Bina Projelerinde İleri Yapım Teknolojilerinin Kullanımı Üzerine Bir Araştırma: Prefabrikasyonun Sürdürülebilirliğe Katkıları”, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- CİVAN, U. (2006). “Akıllı Binaların Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi”, (Yayımlanmamış doktora tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

- ÇORBACI, F. (2015). “Yapı Malzemelerinin Kullanımında Mimari Faktörler”, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Haliç Üniversitesi.
- DİLER, T. (1996). “Modernist ve Postmodernist Yaklaşımların Toplu Konut Yerleşimleri Tasarımını Etkisi”, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- ERDOĞAN, G. (2015). “Kent Makroformlarının Mekanı Kullanma Verimliliklerinin Fraktal Boyut ile İncelenmesi”, (Yayımlanmamış doktora tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- GÜRKAN, A. (2019). “İnşaat 4.0 Kavramı ve Türk İnşaat Firmalarının Yeni Teknolojik Gelişmelere Yaklaşımı Üzerine Bir İnceleme” (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- KAYA, G. (2019). “Çorum Kent Morfolojisi”, (Yayımlanmamış doktora tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi.
- MENGA, L. (2019). “Le Corbusier'in Modern Mimari Yapılarından “Serbest Plan” Şema İlkesinden Uygulanmış Örneklerinden İnceleme”, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi.
- ÖZKAN, T. Ö. (2019). “A Contemporary Analysis Of Industry 4.0 For Logistics, Supply – Chain Management And Transportation”, (Unpublished master's thesis), Bahçeşehir University.
- SARIKULAK, Ö. (2008). “Endüstri Devrimlerinin Performans Göstergelerine Etkilerinin İncelenmesi ile Endüstri 4.0 Analizi”, (Yüksek lisans tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi.
- SEVLİ, O. (2011). “Bulut Bilişim ve Eğitim Alanında Örnek Bir Uygulama”, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- TUNCEL, F. (2023). “Türkiye’de Endüstri 4.0’ın Ekonomik Büyüme ve Kalkınmaya Etkisi”, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi.

- YAPICI, K. O. (2008). “14 Serbestlik Dereceli İki Ayaklı Bir Robotun Dinamik Yürüme Hareketinin Kontrolü”, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- YAZGI, B. (2006). “İstanbul’da Kent Formunun Mekansal Analizi”, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- YENİCE, M. S. (2005). “Kentsel Planlama Sürecinde Konya Kent Formunun Gelişimi Üzerine Bir Araştırma” (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi.

DİĞER KAYNAKLAR

- AKMAN, M. S. (2003). Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi, İMO, Erişim Adresi: <https://eskisakarya.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/241.pdf>, (Erişim Tarihi: 7 Şubat, 2023).
- AYALP, E. Geleceğin Kentleri, Erişim Adresi: https://www.academia.edu/43753879/Gelece%C4%9Fin_Kentleri, (Erişim Tarihi: 5 Şubat 2023).
- CAN, R. S. (2021). İnşaat Sektörünün Geleceği, Bitirme Projesi, MEF Üniversitesi.
- COLLİN, M. N., CARAMAZANA, D. L. ve HABEAU, J. F. (2016). The Impact of Smart Technologies in the Municipal Budget: Increased Revenue and Reduced Expenses for Better Services, In Uraía Workshop, Lefkoşa.
- ÇAĞLAR, B. ve VURAL, S. (2020). “Mimarlığın Geleceğinde Robotların Rollerini Üzerine Bir Okuma”, 14. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu, Trabzon, Türkiye, 24 Ekim, ss.250-261.
- ÇELİKYAY, H. H. (2013). “Teknoloji Girdabından Akıllı Şehre Dönüştürme: İstanbul Örneği”, Türkiye Lisansüstü Eğitim Kongresi, Bursa, Türkiye, Mayıs, ss.1316.
- ÇETİNER, O. (2010). “Mimarlıkta Yapı Bilgi Modelleme ve Örnekler”, Akademik Bilişim’10-XII Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Muğla Üniversitesi, 10-12 Şubat, ss.549-556.
- ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI (2019), 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı, Erişim Adresi:

<https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf>,
(Erişim Tarihi: 6 Kasım 2022).

DEGRYSE, C. (2016). “Digitalisation Of The Economy And Its Impact On Labour Markets”, ETUI research paper-working paper 2016.02, European Trade Union İntitute.

DUMAN, ř. (2018). Mekan Kavramı ve Mekan Organizasyonu, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Yüksek Lisans Programı, Erişim Adresi: https://www.academia.edu/37991471/MEKAN_KAVRAMI_VE_MEKAN_ORGAN%C4%B0ZASYONU, (Erişim Tarihi: 9 Nisan 2023).

DÜZGÜN, D. E., KAYHAN, Y. ve ÇETİNKAYA, K. (2019). “Simülasyondan Arttırılmış Gerçekliğe”, 4th International Congress On 3d Printing (Additive Manufacturing) Technologies And Digital Industry, Antalya, Türkiye, ss.1256-1272.

EC–EUROPEAN COMMISSION. (2012). Unleashing The Potential Of Cloud Computing İn Europe, European Commission, Brussels.

EGE BÖLGESİ SANAYİ ODASI (2015). Sanayi 4.0, Ege Bölgesi Sanayi Odası Araştırma Müdürlüğü.

ERDOĞAN, S. T. ve ERDOĞAN, T. Y. (2010). Portland Çimentosunun Joseph Aspdın Tarafından İcadı ve Çimento Üretiminde Aspdın Ailesinin Rolü, As-Beton, Erişim Adresi: http://www.as-beton.com/pdf/portland_cimentosunun_icadi.pdf, (Erişim Tarihi: 7 Şubat 2023).

GÜNDÜZ, N. (2013). Bir Modern Mimarlık Anlatısı Çabası, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Programı, Erişim Adresi: <https://architecturedesigntheory.files.wordpress.com/2013/05/bir-modern-mimarlc4b1k-anlatc4b1sc4b1-c3a7abasc4b1-nisagc3bcndc3bcz1.pdf> (Erişim Tarihi: 5 Şubat 2023).

İHLAS HABER AJANSI (2017). THY Pilotları Böyle Eğitiliyor [Video], Youtube, <https://www.youtube.com/watch?v=g7N1SMMreBE>, (Erişim Tarihi: 7 Haziran 2022).

- KOYUNCU, M. (2011) Bilişimde Yeni Trend: Bulut Bilişim, Erişim Adresi: acikarsiv.atilim.edu.tr/browse/503/17.pdf(20.10.2013), (Erişim Tarihi: 5 Haziran 2022).
- LİM, S., BUSWELL, R., LE, T., WACKROW, R., AUSTİN, S. A., GİBB, A. ve THORPE, T. (2011). “Development of A Viable Concrete Printing Process”. In: 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC2011), Seoul, South Korea, 29 Jun- 2 Jul 2011, ss.665–670.
- MELL, P. ve GRANCE, T. (2011). The NIST Definition Of Cloud Computing, NIST Special Publication 800-145.
- NARAXR (2016). Eğitimde Arttırılmış Gerçeklik Uygulamaları [Video], Youtube, <https://www.youtube.com/watch?v=AudZ5K5tgH4>, (Erişim Tarihi: 7 Haziran 2022).
- ÖZCAN, U. ve EROL, İ. (2018) “Sürdürülebilir Tasarımda Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)”. In International Congress on Engineering And Architecture, Alanya, Türkiye, Kasım 14-16.
- PARDO, T.A. ve NAM, T. (2011). “Smart City As Urban Innovation: Focusing On Management Policy And Context”, ICEGOV 2011, Proceedings of the 5th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, Tallinn, Estonia, September 26-28, ss.185-194.
- SMART CITIES COUNCIL (SCC) (2014). Smart Cities Readiness Guide, Erişim Adresi: <https://kenosha.extension.wisc.edu/files/2013/11/SmartCitiesCouncil-READINESSGUIDEV1.5-7.17.14.pdf>, (Erişim Tarihi: 6 Kasım 2022).
- TOĞAY, A. ve SAĞIROĞLU, Ö. (2019). “3 Boyutlu Baskı Teknolojilerinin Mimarlık ve İnşaat Alanında Kullanımında Mevcut Durum Değerlendirmesi”. 4th International Congress On 3d Printing (Additive Manufacturing) Technologies And Digital Industry, Antalya, Türkiye, 11-14 Nisan, ss.1327-1335.
- TÜRKİYE BİLİŞİM VAKFI (2016). Türkiye’de Akıllı Şehirler Değerlendirme Raporu.

- UTKUTUĞ, G. (2000a). “Yirmi birinci Yüzyıla Girerken Sürdürülebilir Bir Gelecek için Ekolojik ve Enerji Etkin Hedefler ile Bina Tasarımı ve İşletimi”, In Congress of Ministry of Energy and Sources, Ankara, Turkey.
- UTKUTUĞ, G. (2000b). “Yeni Yüzyıla Girerken Bina Tasarımı Ekoloji/Enerji Etkin/Akıllı Bina”, 4. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilim ve Teknoloji Sempozyumu.
- WIERZBICKI, M., DE SILVA, C. W. ve KRUG, D. H. (2011). “BIM–history and trends”, In 11th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, Bauhaus-Universität, Weimar, Germany, November, ss.3-4.
- WORLD ECONOMIC FORUM (WEF), (2016). “The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution”, Global Challenge Insight Report.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Semina AKYAPI

ÖĞRENİM DURUMU

- **Lise** : Vali Muammer Güler Anadolu öğretmen Lisesi (2015), Özel Silivri Sınav Fen Lisesi (2016)
- **Lisans** : İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü (2020)
- **Yüksek Lisans** : İstanbul Aydın Üniversitesi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Mimarlık Programı (2023)

