

MEF ÜNİVERSİTESİ

İNŞAAT SEKTÖRÜNÜN GELECEĞİ

Bitirme Projesi

Rengin Su Can

İSTANBUL, 2021

MEF ÜNİVERSİTESİ

İNŞAAT SEKTÖRÜNÜN GELECEĞİ

Bitirme Projesi

Rengin Su Can

Bitirme Projesi Danışmanı: Prof. Dr. S. Ümit Dikmen

İSTANBUL, 2021

MEF UNİVERSİTESİ

Projenin Adı: İnşaat Sektörünün Geleceği
Öğrencinin İsmi ve Soyadı: Rengin Su Can
Proje Teslimat Gün: 01/02/2021

Rengin Su Can tarafından hazırlanan mezuniyet projesinin benim denetimim altında tamamlandığını beyan ederim. Yapılan bu projeyi “Mezuniyet Projesi” olarak kabul ediyorum.

01/02/2021
Bitirme Projesi Danışmanı
Prof. Dr. S. Ümit Dikmen

Danışmanı Prof. Dr. Seyit Ümit Dikmen tarafından kabul edilen Rengin Su Can’a ait bu bitirme projesini inceledim. Bu çalışmanın mezuniyet projesi olarak kabul edilebilir olduğunu ve öğrencinin mezuniyet projesi sınavına girmeye hak kazandığını beyan ederim.

01/02/2021
Dr. Öğr. Üyesi Gökçe Tönük
İnşaat Proje Yönetimi
Yüksek Lisans Programı Koordinatörü

Rengin Su Can mezuniyet sınavına girdiğini ve mezuniyet için tüm şartları yerine getirdiğini kabul ettiğimizi beyan ederiz.

MEZUNİYET KURULU

Komite Üyeleri	İmza/Tarih
1. Prof. Dr. S. Ümit Dikmen
2. Dr. Öğr. Üyesi Gökçe Tönük

Akademik Dürüstlük Sözü

Bu bitirme projesi kapsamında kimseyle işbirliği yapmamaya, dış yardım aramamaya veya kabul etmemeye ve başkalarına yardım etmemeye söz veriyorum.

Basılı veya web'deki tüm kaynakların açıkça belirtilmesi ve referans verilmesi gerektiğini biliyorum.

MEF Üniversitesi'nin ideallerine uygun olarak, bu çalışmanın benim olduğunu ve hazırlanmasında uygunsuz bir yardım almadığım konusunda söz veriyorum.

İsim	Tarih	İmza
Rengin Su Can	01.02.2021	

ÖZET

İNŞAAT SEKTÖRÜNÜN GELECEĞİ

Rengin Su Can

Proje Danışmanı: Prof. Dr. Seyit Ümit Dikmen

OCAK, 2021, 65 Sayfa

İnşaat Endüstrisi, bir ülkenin ekonomik büyümesine büyük katkı sağlayan dünyanın temel endüstrilerinden biridir. Bu çalışma, İnşaat Sektörünün geçmişten bugüne nasıl geldiğini, Koronavirüs'ün yarattığı pandemi sürecinin gelişen sektör üzerinde nasıl bir rol oynadığını ve yeni teknolojilerin bir arada kullanımlarından doğan potansiyel değişimlerin nasıl olacağını görmek amacıyla hazırlanmıştır.

Rapor içerisinde, İnşaat sektöründe günümüzde de kullanılan bazı yöntemlerin nereden geldiklerine, İnşaat sektörünün ilerleyebilmesi için yapılması gereken incelemelerin önemine, günümüz teknolojilerinin neler olduğuna, COVID-19 pandemi sürecinin inşaat sektörünü nasıl etkilediğine ve gelecekte inşaat sektörünün planlanan gelişmeler doğrultusunda nereye gelebileceğine değinilmiştir.

İnşaat sektörü ne kadar insan merkezci bir sektörde olsa diğer sektörlerde ilerlenen gelişmelerden yararlanmanın yanı sıra kendi gelişimine de öncülük edecek potansiyele sahiptir. Yeni teknolojilerin doğru entegrasyonu yapılabildiği ve değişime açık olabildiği sürece sektör tahmin edilenden daha hızlı ilerleyebilecektir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat Sektörü, Gelişen yeni teknoloji, COVID-19, Sürdürülebilirlik,

EXECUTIVE SUMMARY

FUTURE OF CONSTRUCTION

Rengin Su Can

Advisor: Prof. Dr. Seyit Ümit Dikmen

JANUARY, 2021, 65 pages

The Construction Industry is one of the main industries in the world that contributes greatly to a country's economic growth. This study has been prepared in order to see how the Construction Sector has come from the past to the present, what role the pandemic process created by the coronavirus plays on the developing sector and how the potential changes arising from the use of new technologies will be.

In the report, it was mentioned where some of the methods used in the construction industry today came from, the importance of the investigations that need to be done for the progress of the construction industry, what are today's technologies, how the COVID-19 pandemic process affects the construction industry, and where the construction industry can come in line with the planned developments.

Although the construction sector is in a human-centric sector, it has the potential to lead its own development as well as benefiting from the developments in other sectors. As long as new technologies can be correctly integrated and open to change, the industry will be able to progress faster than expected.

Key Words: Construction Sector, New Technologies, COVID_19, Sustainability

İÇİNDEKİLER

Akademik Dürüstlük Sözü.....	v
ÖZET	vi
EXECUTIVE SUMMARY	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
RESİM LİSTESİ.....	xii
TABLO LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. İNŞAAT SEKTÖRÜNE GİRİŞ.....	2
2.1. İnşaat Sektörünün Tarihi.....	2
3. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE GELİŞME.....	7
3.1. COVID-19: Koronavirüs'ün İnşaat Sektörü Üzerine Etkisi.....	8
3.2. İnşaat Sektörünün Güncel Durumu.....	10
4. İNŞAAT SEKTÖRÜNÜN GELECEĞİ	26
4.1. Güncel Yöntemler Ne Hale Gelecek	26
4.1.1. İnternet Hizmetleri	27
4.1.2. Elektronik İhale.....	28
4.1.3. Prefabrikasyon ve Modüler Sistemler.....	28
4.1.4. Robotik.....	29
4.1.5. Dronlar	31
4.1.6. Otonom Araçlar	34
4.1.7. LiDAR	36
4.1.8. 3B Yazıcılar (veya baskı)	38
4.1.9. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM).....	39
4.1.10 Sürdürülebilir İnşaat	41
4.2. Yeni Teknoloji ve Güncel Teknolojinin Birleşimi	42
4.2.1. Arttırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik (AR/VR)	42
4.2.2. Nesnelerin İnterneti (IoT)	44
4.2.3. Yapay Zeka (AI) ve Makine Öğrenimi (ML)	46
4.2.4. Bulut ve Büyük Veri	48

4.2.5. Akıllı Bina.....	49
4.2.6. Yeşil Binalar	52
4.2.7. Akıllı Malzemeler	54
4.3. İnşaatın Geleceği.....	57
4.3.1. Gelecekte Beş Yıl:	57
4.3.2. Gelecekte On Yıl	58
5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	59
5.1. Değerlendirme	59
5.2. Sonuç	61
KAYNAKÇA.....	62

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: Elektronik ihalenin işleyiş şekli.....	12
Şekil 2: LİDAR denetimleri (by Landpoint, 2015).....	17
Şekil 3: Büyük Veri ve Bulut Bilişim Sistemi.....	19
Şekil 4: BIGRENTZ Sabit kanatlı ve Döner kanatlı Dron modeli	32
Şekil 5: Akıllı bina konsepti KNX Sistemi.....	50
Şekil 6: Akıllı Bina Yönetimi - Akıllı Şebekem.com.....	52

RESİM LİSTESİ

Resim 1: Tread Mill Crane	2
Resim 2: MÖ 1. yüzyılda inşa edilen Tivoli'deki Sybil Tapınağı (Gilian,2012).....	3
Resim 3: Pantheon tapınağı, Pantheon kilisesi	4
Resim 4: Sahada aktif Dron kullanımı.....	10
Resim 5: Giyilebilir Teknoloj - Akıllı Baret.....	12
Resim 6: Modüler yapı örneği (Nejatian, 2020).....	13
Resim 7: İnşaat sektöründe Robotik	14
Resim 8: 3B Yazıcının İnşaat sektöründe kullanımı	16
Resim 9: İnşaatın geleceği yapay zeka	21
Resim 10: Yeşil Bina Örneği: JHmraD Company (2016).....	24
Resim 11: Prefabrik ve Modüler ev örnekleri	29
Resim 12: İnşaat robotları (Robotics Online Marketing Team)	30
Resim 13: Sabit kanatlı insansız hava araçları, daha büyük, daha geniş şantiyelerin haritasını çıkarmak için kullanılıyor	33
Resim 14: İnşaatta otonom Araç kullanımı örnekleri (komatsu,2019).....	35
Resim 15: LiDAR yapısı (Teledyne SP device).....	37
Resim 16: PERI 3B inşaat Baskısı BOD2	39
Resim 17: İnşaat sektöründe yeşil binalardan yararlanmak.....	41
Resim 18: Şantiyede AR kullanımı.....	44
Resim 19: Üretimde yapay zeka	47
Resim 20: Yeşil Bina konseptleri (U.S. Environmental Protection Agency, 2017).....	54
Resim 21: Kendi çatlaklarını iyileştirmeden önce akıllı beton.....	55
Resim 22: Akıllı cam, iklime uyum için ışık iletimi üzerinde kontrol sağlar.....	56
Resim 23: Kendiliğinden onarılan kaplama şematiği (Adolphe Merkle Enstitüsü, Case Western Reserve Üniversitesi, ABD Ordusu Araştırma Laboratuvarı/Marc Pauchard)	56
Resim 24: Şekil değiştirebilen metal (DS Drones).....	57

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: İnşaat Sektörü SWOT analizi	5
--	---

1. GİRİŞ

İnşaat sektörü; yapıların, inşaat mühendisliği çalışmalarının, makine ve elektrik mühendisliğinin ve diğer benzer işlerin planlarını, tasarımını, inşasını, tadilatını, bakımını, onarımını ve nihayetinde yıkımını içeren geniş bir faaliyet yelpazesine sahip olan yüksek riskli bir endüstridir. İnşaat endüstrisi, diğer endüstriler tarafından ayrı ayrı paylaşılan, ancak kombinasyon halinde yalnızca inşaatта ortaya çıkan özelliklere sahiptir. [31]

İnşaat sektörü, çoğu yerde genel olarak ekonominin bir sektörü olarak tanımlanmaktadır fakat bundan önce, inşaat sektörü modernleşmenin ilk adımları ve insanların hayatta kalma ihtiyaçlarından doğan temel bir gelişmedir. Sektör, ülkenin ekonomik büyümesinde önemli bir rol oynamaktadır ama yaşanan sıkıntılar açısından incelenirse, gelişirken aynı zamanda proje hedefini ve ekonominin istikrarlı büyümesini etkileyen; doğrudan, dolaylı ve çevresel faaliyetler yoluyla da zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır.

İnşaat sorunları arasında işgücü hususları, güvenlik, zaman kısıtlamaları ve işin kendisinin değişen doğası yer almaktadır, bu durum da günden güne sektörün kendi içerisinde gelişmesine ve büyük çapta değişikliklere uğramasına yol açmaktadır. Tabii bu etmenlerin başında hızla gelişen teknoloji ve bu teknolojinin çevresel etmenlere karşı nasıl en doğru şekilde kullanılması gerektiği de büyük önem taşımaktadır. [26]

Bu makale İnşaat sektörünün ilerleyen zamana bağlı gelişimini konu almaktadır. Üç aşama içerisinde incelenecek olan bu gelişim, 2020 yılına damga vuran COVID-19 virüsünün İnşaat sektörüne olan etkilerini ve COVID-19'un sektör geleceğinde bir katalizör görevi oynaması durumunda halihazırda gelişmekte olan teknolojinin nerelere ulaşabileceğine, Son olarak da ortaya çıkan yeni teknolojilerin birlikte kullanılması ile elde edilebilecek gelişmelerin neler olabileceğine değinilecektir.

2. İNŞAAT SEKTÖRÜNE GİRİŞ

İlkel zamanlarda inşaat, çamur kulübeleri ve Stonehenge gibi taş monolitlerden oluşmaktadır. Zamanla insanlar inşaat uygulamalarını geliştirip daha kalıcı yapılar inşa etmeye başlamışlardır. Tarihçiler, geleneksel yapı olarak bilinen kabulün Eski Mısır ve Mezopotamya'da şekillenmeye başladığına inanmaktadır. İnsanlar göçebe hayatını terk ederken toplumlar kalıcı barınaklar inşa etmiştir. Mısır Piramitleri, büyük ölçekli kalıcı yapıların ilk örneklerinden bazılarıdır. [49]

Nüfus arttıkça ve kentleşme devraldıkça, inşaat hızla medeniyetin temelini oluşturmuştur. Bu tür inşaatlar, bugün gördüğümüz binalardan çok uzak olsa da, bu tür bir faaliyet çağdaş inşaatın temelini atmıştır.

İnşaat endüstrisi de işte, eski zamanlarda insanların etraflarında bulunan doğal kaynaklardan kulübe gibi kendi barınaklarını inşa etmeye başladıkları zaman başlamıştır. Endüstri o zamandan beri, özellikle modernleşmiş ekonomiye sahip ülkelerde çok gelişmiştir, ancak temeller hala aynı düşünce doğrultusundadır. İnşaat, hala insanlar için mevcut olan doğal kaynakları, özel barınaklar, yollar veya kendileri için faydalı olan kamu binaları gibi nesnelere inşa etmek için kullanılmaktadır. [61]



Resim 1: Tread Mill Crane

2.1. İnşaat Sektörünün Tarihi

İnşaat, insan varoluşunun başlangıcından beri hayatın bir parçası olmuştur. İlk binalar elle veya basit aletlerle inşa edilen kulübelere ve barınaklardır. Avrupa'da MÖ 12.000'den öncesine tarihlenen bir dizi alanda yapılan kazılar, bu tür barınakların bir

kısmını oluşturduğuna inanılan dairesel taş halkaları göstermektedir. Araştırmalara göre bu kulübeleri yapanlar bir ihtimal tahta direklerden yapılmış ham kulübeler veya duvarları birtakım ağırlıklar ile inşa edilmiş olabileceği düşünülmüştür ve hayvan derilerinden yapılmış çadırların, muhtemelen merkezi direklerle desteklendiği görülmüştür. [61]

Bronz Çağı boyunca şehirler büyüdükçe, duvarcı ustaları ve marangozlar gibi bir grup profesyonel zanaatkar meslek grupları ortaya çıkmıştır ama eski zamanlarda işçi sınıfı altında zaman zaman köleler inşaat işlerinde kullanılmıştır. Eski Mısır ve Mezopotamya'da M.Ö.4000-2000 yılları arasında insanların göçebe bir varoluşu terk etmeye başlamasıyla başlayan ve sığınak yapılması fikrinin oluşumu ile gelişen geleneksel inşaatın, aşamalar göz önünde bulundurulursa nispeten mantık çerçevesinde adımlarla ilerledikleri görülmüştür. [15]

Mısır'da Piramitlerin inşası (MÖ 2700-2500), büyük yapı inşaatının ilk örneği olarak düşünülebilmektedir. Diğer antik tarihi yapılar arasında Antik Yunanistan'da İktinos'un Parthenon'u (MÖ 447-438), Roma mühendisleri tarafından yapılan Apian Yolu (MÖ 312) ve Ch'in İmparatoru Shih'in emri altında General Ming T'ien'in Çin Seddi Huang Ti (yaklaşık MÖ 220) vardır. Benzer şekilde, Romalılar imparatorlukları boyunca su kemerleri, izolasyonlar, limanlar, köprüler, barajlar ve yollar dahil sivil yapılar geliştirmiştir. [15]

Betonun ilk kullanımı ile inşa edilmiş beton yapılar incelendiğinde, beton yapının hayatta kalan en eski örneklerinden biri, MÖ 1. yüzyılda inşa edilen Tivoli'deki Sybil



Resim 2: MÖ 1. yüzyılda inşa edilen Tivoli'deki Sybil Tapınağı (Gilian,2012)

Tapınağı (veya Vesta Tapınağı) olduğu görülmüştür. Bu tapınak, dışarıda taş sütunlar ve lentolardan oluşan bir peristil planına sahiptir, ancak dairesel cella'nın veya kutsal odanın iç duvarı betondan yapılmıştır – Bir başka deyişle yeni ve geleneksel yapı biçimlerinin basit bir birleşimidir. [12]

Roma'da tuğla kaplı betonun ise ilk büyük ölçekli örneği, Sejanus tarafından MS 21-23'te inşa edilen Praetorian Muhafız Kampı'nın düz dikdörtgen duvarlarıdır. Ancak, başlangıçta sıvı olan bu malzemenin önerdiği, plan ve kesitte kolayca kavisli şekiller alabilen plastik form olasılıkları, kısa süre sonra kubbeler veya tonozlarla yayılan ve kemersiz yapıların gerektirdiği sütunlarla karışık olmayan bir dizi dikkat çekici iç mekânın yaratılmasına yol açmıştır.



Resim 3: Pantheon tapınağı, Pantheon kilisesi

Bunlardan ilki, kubbenin tepesinde büyük dairesel bir açıklık ile yaklaşık 15 metre (50 fit) çapında olan Nero'nun Altın Evinin (MS 64–68) sekizgen kubbeli çeşme salonudur. Kubbeli form, bir dizi imparatorluk binasında hızla gelişip MS 118-128 yılları arasında İmparator Hadrianus'un Panteon'unda doruğa ulaşmıştır. Bu yapı sağlam bir şekilde yuvarlak kubbesinin çapı eşsiz olacak şekilde 19. yüzyıla kadar ayakta kalmıştır. [12] 19. yüzyılda, buharla çalışan makineler, vinçler, ekskavatörler ve buldozerler gibi dizel ve elektrikli araçlarda ortaya çıkmıştır.

Zaman ilerledikçe nüfus artışı ve kentleşme, barınak geliştirme ihtiyacının artmasına neden olup dikkati yerel yapı malzemeleri ve tekniklerinin önemi üzerinde yoğunlaştırmıştır. Buna bağlı olarak dünyanın birçok yerinde inşaat sektörü artan bir taleple büyümeye başlamıştır. Bu doğrultuda inşaat firmaları da tüm dünyada hızla büyümeye başlamıştır. İnşaat sektörünün bu gelişimi ve dolaylı olarak inşaat şirketlerinin büyümesi ise inşaatla ilgili sözleşme ilişkilerinde de bir yerden sonra görülmeye başlamıştır. Bu nedenle, bu tür sözleşme ilişkilerinin üstesinden gelmek için tutarlı ve verimli birtakım kurallara, yani bir diğer deyişle destekleyici bir yasaya, ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır.

Ülkemize gelince inşaat sektöründeki büyüme ve artan talep, dünya bazına benzer bir seyir izlemiştir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler içerisinde de bu büyümenin apaçık

görüldüğü birçok bölge vardır. Örnek verilmesi gerekirse inşaat, Etiyopya'da modernleşme ve sanayileşme yolunda öncü sektörlerden biridir. İnşaat piyasasında ilk 5'te 4. Sırada olan Etiyopya'da, genellikle dünyada inşaat sektörü, toplam sermayenin yaklaşık yüzde ellisinin gerçekleşmesine katkıda bulunmaktadır. Ülkedeki en büyük ikinci işveren olarak, aynı zamanda teknoloji, yenilikçilik ve genel kalkınma için bir motordur.

Etiyopya'daki inşaat sektörü, birçok ek sektörün büyümesine kapı açan bir sektördür. İnşaat işleri yüksek girdi gerektirir. Örneğin, farklı metal ürünler, kil işleri, çimento ve çimento ürünleri vb. gerektirmektedir. Bu nedenle, bu endüstrilerin büyümesi kesinlikle inşaat endüstrisinin büyümesini takip etmiştir. Benzer şekilde konut inşaatı ve tadilatı arttıkça ev mobilyalarına olan talep artmış; dolaylı olarak mobilya endüstrisinin büyümesine kapı açmaktadır. İnşaat Sektörü piyasasının ilk 3'ünü ise sırayla nüfuzlu ülkeler olan; Çin, ABD ve Hindistan yer almaktadır. [45]

Sonuç olarak inşaat sektörü, büyük mikro firmaları ağırlayabilecek, geniş emek temelli bir sektördür. Bütün bunlar dikkate alındığında, Federal Demokratik Etiyopya Cumhuriyeti'nin sanayi politikası, ülkenin inşaat sektörüne de özel bir ilgi gösterdiği ve bundan da kazançlı çıktığı görülmüştür. [61]

Tarih şeridi göz önünde bulundurulduğunda aslında İnşaat sektörü kendi kendine üç kategoriye ayrılmıştır:

1. Bina İnşaatı - Konut, çiftlik, endüstriyel, ticari veya diğer binalar,
2. Altyapı İnşaatı - Otoyollar ve yollar, köprüler, kanalizasyonlar, demiryolları, sulama projeleri, sel kontrol projeleri ve deniz inşaatı gibi ağır inşaatlar,
3. Özel Ticaret İnşaatı - Elektrik işleri, sıhhi tesisat, armatürler, resimler vb. Projeler.

Tablo 1: İnşaat Sektörü SWOT analizi

Güç	Fırsatlar
<ul style="list-style-type: none"> • İstihdam ve eğitim fırsatları • İnşaat talepleri - Özel sektör konutları ve ticari binalar • Ülkedeki ulaşım avantajları • Nitelikli işgücü kullanılabilirliği • Yeterli hammadde mevcudiyeti 	<ul style="list-style-type: none"> • Özel sektör binalarının sürekli artması inşaat fırsatları yaratacak • Kamu sektörü projeleri yeni fırsatlar getirecek • Mali destekler (kredi, sigorta) • Hükümet politikaları
Zayıflık	Tehditler
<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek fiyat • Yönetim zorlukları • Projeler ve iş arasındaki mesafe • Yatırım 	<ul style="list-style-type: none"> • Uzun vadeli piyasa istikrarsızlığı • Mevcut ekonomik durum • Siyasi isteklilik eksikliği • Sağlık ve güvenlik • Çevre düzenlemesi • Rakipler • Hükümet politikaları

Bu kategoriler kendi içlerinde incelendiğinde zamanın getirdiği ihtiyaç ve yönetim şekilleri teknolojinin ileri seviyede gelişme göstermesi için zemin hazırlamıştır. Gerekli teknolojik gelişim ve desteğin sağlanması ise eldeki verilerle oluşturulabilecek bir SWOT analizi ile de görülebilmektedir. Bu SWOT analizinin doğru yorumlanması da elde olan imkanları ve “Bu bilgilerle bir adım ileri nasıl gidilir?” Sorusuna verilebilecek cevaplara da ışık tutabilmektedir.

İnşaat Tarihi, mağara evlerinden nükleer güç istasyonlarına kadar insan faaliyetinin en erken belirtilerinden çok yakın geçmişe kadar tüm dönemleri kapsamaktadır. Açıkçası, bu dönemleri incelemek için kullanılan teknikler de yapılarla doğru orantılı olarak değişiklik göstermelidir ve SWOT analizi gibi yapılabilecek durum analizi de elde olan verilerin aynı koşullarda bir arada değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Maalesef ilk binalar yazılı kayıtlardan yoksundur, bu nedenle açıklamalar tamamen arkeolojik kayıtlara ve yorumlara bağlı olma eğilimindedir. Daha yakın dönemlerde, yapının nasıl bir araya getirildiğini gösteren çizimler, modeller ve fotoğraflar ile çok ayrıntılı anlatılar varlığını sürdürebilir ve bunlar üzerinde çalışanlardan sözlü tarihler de derlenebilecek durumdadır.

Genel olarak inşaat geçmişi, yapıları anlamak ve tarihlendirmek için çok önemlidir. Belli bir tekniğin belirli bir dönemde kullanıldığı gösterilebilirse, bu bilgi bir binanın inşası veya bir binaya yapılan sonraki eklemelerin/restorasyonların tarihlendirilebilmesi için büyük bir önem taşımaktadır. Yapıları tarihlendirebilmekse olası hataların tekerrürünü önlerken aynı zamanda adım adım ileri gidilmesine de olanak sağlamaktadır. Gün geçtikçe eskilere yeni binalar eklendiğinden, değişikliklerin ne zaman yapıldığını gösterebilmek ne kadar eski ve ne kadar önemli olduklarını anlamak gerekli bir unsurdur.

3. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE GELİŞME

İnşaat sektörü, her yıl inşaatla ilgili mal ve hizmetlere harcanan yaklaşık 10 trilyon dolar ile dünya ekonomisinin en büyüklerinden biridir. Küresel olarak incelendiğinde, inşaat sektöründe işgücü-verimlilik artışı, toplam dünya ekonomisi için yüzde 2,8 ve imalat için yüzde 3,6 iken, son yirmi yılda ortalama yüzde 1 artmıştır.

Analiz edilen ülkelerden herhangi birinin verileri ele alınırsa, inşaat firmalarının yüzde 25'inden daha azı, son on yılda çalıştıkları genel ekonomilerde elde edilen verimlilik artışıyla eşleşmiştir fakat değişimin olmaması, küresel altyapı ve konut ihtiyacının karşılanması konusunda problem yaratmıştır. İnşaat üretkenliği toplam ekonomiye yetiyecek olursa, sektörün katma değerinin yılda 1,6 trilyon dolar artması ihtimaller dahilindedir. Bu, dünyanın yıllık altyapı ihtiyaçlarının yaklaşık yarısını karşılayacak veya küresel GSYİH'yı yüzde 2 artıracaktır. Fırsatların üçte biri, 1945'ten beri imalat, perakende ve tarımda üretkenliğin yüzde 1.500'e kadar arttığı, ancak inşaatta üretkenliğin neredeyse hiç artmadığı Amerika Birleşik Devletleri'ndedir. [9]

Yeni MGI (McKinsey Global Institute) İnşaat Verimlilik Anketi, bu beklenilenin altında performansın birçok nedenini göstermektedir. Endüstri kapsamlı bir şekilde düzenlenmiştir, kamu sektörü talebine oldukça bağımlıdır ve devamlı bir döngü içerisindedir. Kayıt dışılık ve bazen yolsuzluk ise maalesef piyasayı bozmaktadır. Kontratların risk tahsisi ve ödülleri uyumsuzlukları vardır ve genellikle deneyimsiz mal sahipleri ve alıcılar bu denli göreceli ve belirsiz bir pazarda gezinmekte zorlanırlar. Sonuç, zayıf proje yönetimi ve uygulaması, yetersiz beceriler, yetersiz tasarım süreçleri ve beceri geliştirme, Ar-Ge ve yeniliğe yeterince yatırım yapılmamasıdır.

Küresel inşaatın verimlilik performansı tek tip değildir. Sektörde büyük bölgesel farklılıklar vardır. Sektör genel olarak ikiye ayrılır:

- 1) Sivil ve endüstriyel işlerde büyük ölçekli konutlar gibi ağır inşaatlarla uğraşan, hareket eden mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat işleri gibi parçalanmış özel ticaretle entegre edilmiş çok sayıda firma alt yükleniciler,
- 2) Tek ailelik konutların yenilenmesi gibi daha küçük projeler üzerinde çalışılması.

İlk grup, ikinciye göre yüzde 20 ila 40 daha yüksek üretkenliğe sahip olma eğilimindedir. Ancak bununla birlikte, daha üretken ağır inşaat sektöründe bile, potansiyel olarak yapısal ve çevresel zorluklar da vardır.

Günümüzde ise maalesef sektör zor bir durumdadır ve bunun kırılabilmesi için hızlı bir şekilde çözüm üretilmesi gerekmektedir. Çünkü bütün dünyanın COVID-19 virüsü ile uğraştığı gerçeğinden dolayı, global pandemi sürecinin sıradan tümseklerden biri olmadığı apaçık ortadadır.

3.1. COVID-19: Koronavirüs'ün İnşaat Sektörü Üzerine Etkisi

Uluslararası Para Fonu (IMF), gerçek Gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH: bir ülke sınırları içinde bir yıl içinde üretilen nihai mal ve hizmetlerin parasal değeridir) dünya çapında yaklaşık %3 oranında küçüleceğini ve 2019'da gördüğümüz%2,9 büyümeden 5,9 puan daha az büyüyeceğini tahmin etmektedir. Bununla birlikte, inşaat sektörü üzerindeki etki dünyanın farklı bölgelerinde değişiklik göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri, diğer birçok endüstride olduğu gibi inşaat sektöründe de toplu işten çıkarmalar görmekteyken, Güney Avrupa'daki inşaat faaliyetlerinin %60-70 oranında daralması beklenmektedir. Çin ekonomisi, inşaat sektörü de dahil olmak üzere, büyük ölçüde geri dönmüştür ve veriler, Mart / Nisan ayından bu yana orada bir iyileşme olduğunu göstermektedir.

Almanya muhtemelen Covid-19 krizinin etkisini bir bütün olarak küresel ekonomiden daha keskin hissetmektedir. Alman hükümetinin bahar tahminine göre, Almanya ekonomisi 2020'de %6,3 küçülüp 2019 büyüme oranının yaklaşık 6,9 puan altında olacaktır. Korona virüs krizi böylece on yıldan fazla bir süredir devam etmekte olan ekonomik büyümeyi sona erdirmiştir (GSYİH'daki son düşüş 2009'daki mali kriz sırasında gerçekleşmiştir). Covid-19, 1980'lerde ikinci petrol krizinin etkisinin ardından, yeniden birleşmeyi izleyen aşırı kapasitelerin on yıl boyunca azalması ve finansal kriz sırasında meydana gelen kısa düşüşün ardından, Alman inşaat endüstrisinin son 40 yılda dördüncü büyük krizi olmaktadır.

Ancak mevcut durum sebebi göze alındığında, ne yazık ki temelde farklı olduğundan ve inşaat sektörü bu krize çok daha güçlü bir şekilde girdiği için sektördeki daha önceki krizlerin hiçbiriyle karşılaştırılamamıştır. (Hem düşük faiz oranları gibi faaliyet gösterdiği genel ekonomik koşullar hem de sektörün kendi içindeki koşullar

açısından.) Bunlar içerisinde 10 yıldan uzun süren bir büyüme aşamasından çıkma, düşük ve hatta yetersiz kapasiteler ve 30 yılda görülmemiş bir hacim ve değerde bir sipariş birikimi oluşmuştur. Ancak Alman inşaat sektörü, Mart 2020'de, sektördeki yeni siparişlerin Mart 2019'da görülen hacimde %7'den fazla düşüş gösterdiği bir korona virüs yavaşlamasının ilk işaretlerini göstermiştir.

Almanya'nın inşaat sektörü gibi birçok ülke, korona virüs krizinin yatırımcı grupları üzerindeki etkisinden dolayı bir darbe hissedecektir. Özel konut yatırımları is en olası ihtimalle işsizlik (Nisan 2019'a kıyasla Nisan 2020'deki işsizlik %19 artmıştır.) ve kısa süreli çalışma ile ilgili artan belirsizlikten seviyesinden etkilenecektir. (Nisan sonunda 10 milyondan fazla çalışan yarı-zamanlı çalışan olarak işe alınmıştır.)

İngiltere'de mayıs ayı Nationwide konut fiyatı endeksi, fiyatların bir önceki aya göre %1,7 düştüğünü göstermiştir ve bu 11 yılın en büyük düşüşü olmuştur. İngiltere hükümeti, neredeyse bütün dünyada olduğu gibi, bilinçli olarak ekonominin çoğunu beklemeye almaya karar vermiştir. Bu, aynı zamanda, hane halklarını ve işyerlerini desteklemek için işçi geçiş planı gibi bir dizi önlemi yürürlüğe koymakla aynı zamanda olmuştur.

ABD'de konut fiyatları şu anda bile hala yükselmektedir. Özellikle ABD işsizlik oranı korona virüs kilitlenmesinden bu yana çok yüksek olmaya devam ederken Nisan ayındaki %14,7'den mayıs ayında %13,3'e gerilemiştir. [76]

Bununla birlikte, bu manşet rakamlarının arkasında, emlak sektöründe işleyen başka güçler de mevcuttur. Örneğin Pek çok insan aniden evden çalışabileceklerini, işe gidip gelmekten ve ofisten kaçınabileceklerini fark etmiştir ve bu sebepten ötürü de piyasanın stabile edilebilmesi bazı çözümler düşünölmeye çalışılmıştır fakat ABD gibi birçok ölkede düşük arz ve tarihsel olarak düşük ipotek oranlarının birleşimi, fiyatların nisan ve mayıs aylarında sabit kalmasına izin vermiştir. [24]

Planlama, onay, finansman ve uygulama aşamalarıyla birlikte inşaat projelerinin niteliği göz önüne alındığında, korona virüs krizinin tam etkisinin inşaat sektöründe diğer birçok sektörde olduğundan daha yavaş hissedileceğine inanılmaktadır. (Bu yılın sonuna veya gelecek yılın başlarına kadar normale dönüş olmayacağı anlamında). Dolayısıyla sektörün, ancak 2022'nin sonuna doğru kriz öncesi seviyelere yaklaşan bir seviyeye geri döneceği düşünölmektedir. [59]

3.2. İnşaat Sektörünün Güncel Durumu

Yukarıda da bahsedildiği gibi son birkaç yıl inşaat piyasasının ılımlı bir hızda büyüdüğü görülmüştür. Ancak 2019'daki hafif yavaşlama, COVID-19 salgını ile birleştiğinde 2020 için tahminleri olumsuz yönde etkilemiştir ve sonraki yıllar için belirsizlik seviyelerini arttırmıştır. Bütün sektörlerde olduğu gibi inşaat sektöründe de belirsizlikler ve bunlardan doğan karışıklıklar mevcuttur. Bu durumlara çözüm üretmek içinse her zaman olduğu gibi gelişen teknolojiye başvurulmuştur. Yeni inşaat teknolojisindeki gelişmelerin inşaatı ileriye taşıdığı görülmüştür, bu nedenle bu kadar çok şirketin yeni inşaat teknolojilerini benimsemekte yavaş olması, imkanların sınırlı olmasından kaynaklandığına inanılmaktadır. [7]

Örneğin, Dronlar şu anda bir inşaat firmasının sahip olabileceği en kullanışlı araçlardan biridir. Çeşitli gereksinimleri karşılamak için kullanılabildikleri gibi endüstrinin büyük bir bölümünün geleneksel olarak işleyiş şeklini de modernize etmektedir. En popüler kullanımlarından biri, daha fazla zaman alan önceki yöntemlerin yerini alarak doğru saha inceleme raporları ve arazi incelemeleri oluşturmaktır. Dronların inşaatта diğer kullanımları arasında bir sitenin drone görüntülerini almak ve daha sonra mimari planlarla karşılaştırılabilecek 3B çizimlere dönüştürmek veya alanlar, mesafeleri ve gerekli açıları ölçmek yer almaktadır. Bazı dronlar ayrıca endüstriyel amaçlar için özel olarak tasarlanmıştır, ancak basit, yüksek kaliteli dronlar çoğu inşaat şirketi için genellikle yeterli gelmektedir.



Resim 4: Sahada aktif Dron kullanımı

3B çizimlere dönüştürülmek dendiğinde ise akla, son zamanlarda en mükemmel şekilde entegre edilebilmesi ve kullanımını yaygınlaşması durumunda inşaat sektörünü temelden geliştirecek Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) gelmektedir. Bir proje yapılmadan önce bir plan üretilmesi ihtiyacının yerini alan Yapı Bilgi Modellemesi, şüphesiz son yıllarda inşaat sektöründeki en büyük gelişmelerden biridir. Projeye ilgili tüm gerekli bilgileri tek bir yerde bir araya getiren, fazlasıyla ayrıntılı ve interaktif bir varlığın 3 boyutlu modelinin üretilmesi olarak da tanımlanabilmektedir. Bu modelleme süreci, tek başına çalışan yüklenici ve müşteri sorununu ortadan kaldırırken tüm tarafların etkili bir şekilde işbirliği yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, BIM'in zaman, maliyet ve metraj yönetimi gibi özellikleri de dahil olmak üzere kademeli olarak 5B modellemeye geçeceği tahmin edilmektedir. Ancak şöyle bir husus söz konusudur ki, her işlemin gözlemlenebildiği BİM gibi bir platformun olması öncesindeki sistemlerin manuel olduğu anlamına gelmemektedir.

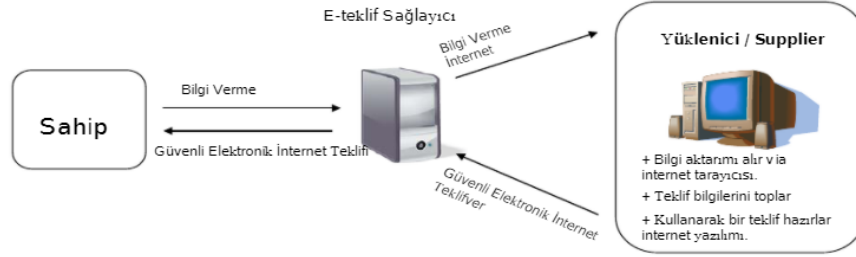
Küreselleşme; mimari, mühendislik ve inşaat (AEC) endüstrisinde bina bilgi modellemesinin (BIM) ve diğer teknolojilerin artan benimsenmesi, inşaat yönetimi mezunlarının mevcut iş olanakları için hazırlanma şeklini de değiştirmiştir. 2014 SmartMarket Raporuna göre, küresel yüklenicilerin%75'i, BIM'de olumlu bir yatırım getirisi bildirmektedir. Rapor edilen bir numaralı fayda, hata ve ihmallerin azalması, ikinci en yüksek bildirilen fayda ise mal sahipleri ve tasarım firmalarıyla işbirliği yapma becerisidir. [44] Bunun sonucunda, AEC firmaları giderek artan bir şekilde yeni iş alımlarının BIM teknolojileriyle çalışmaya hazır olmasını beklenmektedir. Ek olarak, gelişmiş işbirliği teknolojileri firmaların dünya çapındaki yeteneklere ulaşmasına izin verdiği için, AEC endüstrisindeki işbirliğinin çoğu dağıtılmış ekiplerde gerçekleşmektedir. [29]

Çizimlerin AutoCad veya BIM 'in başka alt programları sayesinde kolaylıkla çizilebilmesinden yola çıkılırsa aynı zamanda inşaat sürecinin bir başka aşaması olan ihale sürecinin de bu şekilde pratik bir yöntemi olduğu da bilinmektedir.

Geleneksel ihale süreci zaman alıcıdır ve önemli miktarda para ve insan kaynağı gerektirir. Bilgi ve İletişim Teknolojilerindeki (BİT) gelişmelerle birlikte, inşaat sektöründe çevrimiçi teklif verme (E-teklif veya E- İhale) sistemlerinin kullanımı giderek artmaktadır. Elektronik teklif verme sistemi, yüklenicilerin proje tekliflerini güvenli bir ağ üzerinden şifrelenmiş formatta elektronik olarak hazırlamasına ve sunmasına olanak

tanyarak önemli ölçüde zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki birçok müşteri kuruluşu, artık projeleri için çevrimiçi teklif vermenin kullanılmasını talep etmesi Elektronik İhalenin popülerliğinin arttığının da bir göstergesidir.

Geleneksel Çevrimiçi Teklif Verme (TOB) ve Ters Açık Artırma Teklifi (RAB) olmak üzere iki tür çevrimiçi teklif vardır. Geleneksel Çevrimiçi İhale (TOB), yüklenicilerin proje tekliflerini elektronik olarak şifrelenmiş formatta hazırlamasına ve sunmasına olanak tanıyan teklif çeşididir. Müteahhitler, çeşitli kalemlerin en son fiyatlarını dahil etmek için tekliflerini son ana kadar düzenleyebilmektedir ancak teklif fiyatı diğer teklif sahiplerine yalnızca teklif açılışı sırasında açıklanmaktadır. Ters Açık Artırma Teklifinde (RAB) ise, her teklif verenin fiyatı diğer teklif sahiplerine gösterildikten sonra teklif verenler, diğer teklif sahipleri tarafından sunulan fiyat tekliflerine göre tekliflerini değiştirebilmektedir. Fakat ikinci tür teklif çoğu teklif sahibi tarafından olumlu görülmemektedir. [4]



Şekil 1: Elektronik ihalenin işleyiş şekli

Daha basit yeniliklere değinilecek olursa, çok sayıda kullanımı kolay mobil uygulama mevcut olduğundan, akıllı telefonlar inşaat mühendisleri ve diğer çalışanlar tarafından günlük olarak kullanılmaktadır. İşçilerin sahadayken önemli proje bilgilerini belgelenmelerine, erişmelerine ve paylaşımlarına olanak tanıyarak verimliliği, doğruluğu ve proje tutarlılığını artırmaya yardımcı olmaktadır.



Resim 5: Giyilebilir Teknoloj - Akıllı Baret

Ayrıca, özellikle inşa etmek veya çizmek amacıyla tasarlanmış, sadece ekran kontrolü ile kullanılabilen cihazlar da vardır. Örneğin, bazı cihazlar sağlam görüntü Platformu içerir ve bazıları ise parlak gün ışığında görüntüleme için daha uygun ekranlara sahip olacak şekilde adapte edilmiştir. Sahada ölçüm için kullanılan Total Station da bunlardan bir tanesidir. Bu cihazlar genellikle dış mekân projelerinde çalışan mühendisler, haritacılar ya da müteahhit için idealdir. [10]

Teknoloji yalnızca verimliliği artırmak ve inşaat şirketlerinin yüksek kaliteli projeler sunmasına yardımcı olmakla kalmayıp, aynı zamanda sağlık ve güvenlik üzerinde de olumlu bir etkiye sahiptir. Işıklı baretler ve hızlı tepki verebilmeye imkân sağlayan korunaklı giysiler gibi yenilikçi ekipmanın ve malzemelerin kullanılması, tüm işletmelerin kolayca benimseyebileceği bir şeydir, ancak personelin refahını sağlamak düşüncesi de bu araçların kullanımında büyük rol oynamıştır. Giyilebilir cihazlar, şantiyeyi daha güvenli hale getirmek için çalışanları ve çevrelerini izlemek için bazı şirketlerde kullanılmaktadır. Giyilebilir teknoloji, baretler, eldivenler, güvenlik yelekleri ve iş botları gibi şantiyelerde halihazırda yaygın olan giyim ve kişisel koruyucu ekipmanlara (KKD) yerleştirilmektedir.



Resim 6: Modüler yapı örneği (Nejatian, 2020)

Dronlar ve BIM sistemi hariç, daha yaygın görülen telefon vb. araçların ve teknolojik giyilebilir ekipmanların aktif kullanımı dışında ilerleyen bu süreç, inşaat sektöründe farklı metot değişiklikleri için de imkân sağlamıştır. Bunlardan en yaygın olanı da Saha/Bina dışı (Offsite) inşaatıdır. Bina dışı inşaat genellikle apartmanlar, oteller, hastaneler, yatakhaneler, hapishaneler ve okullar gibi tasarımlarında tekrarlayan kat planları veya yerleşim planlarına sahip projelerde kullanılmaktadır. Offsite kontrollü bir ortamda gerçekleştirilmektedir ve bir otomobil üretim fabrikasına benzer bir sistem ile çalışmaktadır. Her istasyonda, çalışanlar, ister bir duvar çerçevesi inşa etmek, ister elektrik

kabloları kurmak olsun, görevlerini tutarlı bir şekilde yerine getirmek için tüm araçlara ve malzemelere sahiptir. Bu montaj tesisi süsünde yapım yöntemi, atıkları azaltıp işçilerin daha üretken olmasını sağlamaktadır.

Saha dışı inşaat tipik olarak iki biçimde gelmektedir: Modüler ve prefabrik. Modüler yapı ile, tüm odalar, kaplamalar ve halihazırda kurulmuş olan armatürlerle eksiksiz bir şekilde inşa edilebilmektedir. Bunlar banyo kadar küçük odalar olabildiği gibi apartman birimleri gibi daha geniş alanlar oluşturmak için yerinde modüller monte edilebilmektedir. Modüler üniteler şantiyeye taşınıp ardından yapısal çerçeveye yerleştirilip bağlanmaktadır.

Prefabrik yapıda ise, bina bileşenleri saha dışında inşa edilip ardından şantiyeye taşındıktan sonra monte edilip kurulmaktadır. Prefabrik bina bileşenleri, tüm kanal, kablo ve sıhhi tesisat, birlikte paketlenmiş paneller olan çerçeveleme, iç ve dış duvar panelleri, kapı ve pencere montajları, zemin sistemleri ve çoklu ticari raflara kadar her şeyi kapsamaktadır.



Resim 7: İnşaat sektöründe Robotik

İnşaat Sektöründe tekrar Dronlar gibi ileri teknoloji yardımıyla destek sağlayan gelişmelere dönülecek olursa akla bir de Robotik ve otonom araçlar gelmektedir. Robotik ve otonom araçlar için hala gerek kurulumu gerek kontrolü için insan gerekmektedir fakat bunun haricinde İşçileri değiştirmek yerine, çoğu inşaat robotu bir işçinin performansını artırmak ve daha üretken olmalarını sağlamak için kullanılmaktadır. Mevcut robotlar basit, tekrarlayan görevleri yapmakta iyidir, bu yüzden tuğla ören robotlar veya inşaat demiri bağlama robotları gibi şeyler bazı şantiyelerde görülmektedir. Bir kez insanlar tarafından kurulduktan sonra robotlar, mola vermeye veya bir gece uykusu için eve gitmeye gerek

kalmadan görevleri insan işçilerden daha hızlı tamamlamak için sürekli çalışabilmektedirler. Aynı şekilde yine bazı şantiyelerde kendi kendine giden otomobiller için benzer teknolojiyi kullanan ağır otonom ekipmanlar, kazı, sınıflandırma ve şantiye çalışmaları yapmak için kullanılmaktadır. Bu tür teknoloji, operatörlerin makineden tamamen çıkarılmasına olanak tanıyarak şirketlerin aynı miktarda işi daha az işçi ile yapabilemesine imkân sağlamaktadır. [34]

Dronlar, robotlar ve kendi kendini kontrol eden – otonom- ekipman gibi teknolojiyi benimsemenin faydası iki yönlüdür:

- 1) Önümüzdeki on yıl içinde, tüm yaşamları boyunca tabletler ve akıllı telefonlar kullanarak büyüyen işgücüne giren çalışanlar, bu tarz makineleri kullanmak onlar için ikinci doğa olacaktır.
- 2) Genç çalışanlar, hangi alana girerlerse girsinler, işlerini gerçekleştirmek için teknolojiyi kullanmayı bekleyeceklerdir ve bu şekilde de kullanılanın üzerine eklemeler yapabileceklerdir. [34]

Robotik alanı denmişken bir de sektörde adı çok da yeni duyulmamış olan fakat entegrasyon konusunda ülkemizde hala geliştirilmesi gerektiğinden İnşaat sektöründe daha beklenildiği kadar yaygın kullanılmayan 3 Boyutlu yazıcılar birçok konuda robotik alanının bilinen araçlardan biridir. 3-D baskı, nesnenin doğru bir kesitini oluşturan ve bunları tamamlanmış bir varlık haline getiren ince malzeme katmanlarını içeren bir araçtır. South Carolina Üniversitesi 2004 yılında 3D baskıyı kullanarak ilk duvarı ürettiğinden beri, birçok ülkede gözle görülür bir ilerleme kaydedilmiştir. Bu ilerlemelerden biri ele alınacak olursa bugün 24 saat içerisinde basit bir ev inşa edilebilmektedir, hatta bu tarz yapıların bazılarında herhangi bir demir ihtiyacı gütmeyen beton ve cam elyaf karışımı bir malzeme bile kullanılabilir. Azaltılmış malzeme gereksinimleri ile 3B yazıcıların sağladığı yüksek inşaat hızı, gelecekteki gelişmeler için muhtemelen ana itici güçler olacaktır.



Resim 8: 3B Yazıcının İnşaat sektöründe kullanımı

Bir inşaat projesi söz konusu olduğunda, güvenlik ve verimlilik kadar önemli birkaç şey vardır. Ve çoğu zaman, bu faktörler birbiriyle ilişkilidir. Verimli süreçlere sahip olmadığınız zaman, projenizin güvenliğini sağlamak zor olabilir ve güvenlik eksikliği, elde ettiğiniz tüm verimliliği hızlıca öldürecektir. Önemli bir zaman veya para yatırımı yapmadan inşaat projesi güvenliğini artırmanın yolları vardır. LiDAR denetimleri, inşaat projelerini iyileştirmenin uygun maliyetli ve eksiksiz bir yoludur. [54]

LiDAR yani Lazer Tabanlı Algılama, birçok robotik aracılığıyla da etkili bir şekilde yararlanılabilen lazer teknolojisini kullanarak araziyi haritalama yöntemidir. LiDAR kameralarla donatılmış dronlar, bir alan üzerinden uçarak yere kadar inerek arazinin haritasını çıkarabilirken, çalı ve sığ su gibi şeyleri de kesebilmektedir. Bu yöntem veriler toplandıktan sonra, mevcut arazinin tam bir 3B modelini oluşturmak için analiz edilebilmektedir.

LiDAR, inşaat projelerine doğru kullanımıyla şu şekilde fayda sağlayabilmektedir:

1. Projenin başında hızlı ve doğru analizler sunmak.
2. Projeyi geliştirirken simülasyon ve analiz için bilgi sağlamak.
3. Gerekli olduğu gibi projede bakım ve onarım gereksinimlerinin belirlenmesini sağlamak.

Dronlar, bir siteyi hızlı bir şekilde araştırmanın hızlı ve doğru bir yöntemidir ve sonuç olarak tüm proje boyunca kullanılabilir. LiDAR teknolojisi helikopterlerde ve uçaklarda kullanılsa da insansız hava araçları olan dronlarda fiziksel olarak bir insana ihtiyaç yoktur ve bu nedenle daha güvenlidir.

Bir inşaat projesinin başlangıcında bir saha incelemesi gereklidir. LiDAR denetimleri, arazinin nasıl değiştirilmesi ve tesviye edilmesi gerektiğini belirlemek için

projenin üzerine inşa edileceği araziye de inceleyebilmektedir. Bu inceleme ne kadar doğru olursa, proje için gelecek planları o kadar doğru olacaktır.

LiDAR, geleneksel fotogrametrik teknolojiden daha doğru okumalar sağlamaktadır. Fotogrametrik teknoloji, çok sayıda fotoğraf çekerek ve bunları birleştirmek için bir algoritma kullanarak taramalar üretirken, LiDAR zeminin hassas lazer nokta bulutu ölçümlerini alır. Bu nedenle, fotogrametrik görüntüleme bazı amaçlar için yeterli olsa da, LiDAR kadar doğru değildir. Aynı zamanda proje esnasında, LiDAR taramalarının güvenlik sorunlarını belirlemek için de kullanılabilmesi inşaat güvenliğini artıracaktır. LiDAR taramaları, denetçilerin sahada yürümesini gerektirmediğinden, doğası gereği manuel incelemelerden daha güvenlidir.

LiDAR, sürekli gelişen bir teknolojidir ve inşaat şirketleri, dronları her zaman kullanmanın benzersiz yollarını bulmaktadır. İnşaat şirketleri, LiDAR ve dronlar gibi kaynaklardan yararlanarak daha tutarlı bir şekilde bütçelerini kontrol ederken aynı zamanda yüksek risk sorunlarından da kaçınabilecektir.



Şekil 2: LiDAR denetimleri (by Landpoint, 2015)

Bu tarz sistemlerin birbirlerinden faydalanabilmelerine zemin hazırlayan en etkin platform IoT yani nesnelerin interneti tarafından sağlanmaktadır. Ama fizibil olmasa da bu şekilde teknolojilerin birbirleri ile bağlantısını sağlayacak gelişmeler de mevcuttur. Bunların başını, Büyük Veri ve Bulut bilişim Sistemleri çekmektedir.

Öncelikle bulut bilişim sistemlerinden bahsedilecek olursa, bulut bilişim sistemi son zamanlarda en çok kullanılan sistemlerden biridir. Kullanılan cep telefonlarından arabaların teyp sistemlerine kadar bulut sistemi neredeyse her yerde kullanılmaya başlanmıştır.

Örtüşme olmasına rağmen, düz mobil uygulamalar ile bulut tabanlı proje yönetimi uygulamaları birbirinden tamamen farklıdır ve günümüzde inşaat uzmanları yalnızca bulutun sunabileceği benzersiz şantiye avantajları bulmaktadır. Ancak iki farklı teknoloji türü olsalar da birlikte kullanıldıklarında ihtiyacınız olan verilere her yerden erişmenizi sağlayacaklardır. İkisini birbirinden ayırmanın en kolay yolu ise, iletişimde oynadıkları roldür:

- a) Mobil bilgi işlem, internete erişmek için kullandığımız cihazları içerir. Bu bir telefon, tablet veya dizüstü bilgisayar olabilir.
- b) Bulut bilgi işlem, uygulamalarınızı, dosyalarınızı ve verilerinizi tutan ve gerektiğinde bunlara güvenli bir şekilde erişmenizi sağlayan sanal depolama alanıdır.

Bulut projeleriniz için bir inşaat uygulaması seçmek, mesele bulut yerine mobil seçmek veya tam tersi olmaktan ibaret değildir. Esas nokta, bu iki teknolojinin kombinasyonunu içerir: mobil bulut bilgi işlem (MCC).

Bir mobil bulut bilişim sisteminin kullanıcılar ve kuruluşlar için birçok avantajı vardır ve bu da farklı konumlardaki ekiplerin işbirliği yapmasını kolaylaştırır. Bir işi gerçekleştirmek veya bir proje üzerinde çalışmak için gereken tüm veri ve dosyaların tümü merkezi bir konumda saklanır; çalışanlar daha sonra dosyalara veya uygulamalara erişmek için mobil cihazlarını kullanabilir işi tamamlamak için yapmaları gereken görevleri gerçekleştirebilmektedir.

Bulut tabanlı proje yönetim sistemlerinin pek çok faydası vardır [21], örneğin:

- Gelişmiş erişilebilirlik: Bulut uygulamalarınıza, dosyalarınıza, belgelerinize ve projelerinize eviniz, iş sahaları ve müşteri ofisleri dahil her yerden erişebilmek mümkündür. Bulut tabanlı bir sistem, ekip genelinde erişilebilirliği de iyileştirir. Herkes proje genelinde işin durumunu görebilir.
- Manuel güncelleme gerekmemesi: Bulut tabanlı inşaat yönetimi uygulamaları otomatik olarak güncellenir. Bilgiler ayrıca gerçek zamanlı olarak buluta aktarılır ve ekibinizin hiçbir önemli bilgiyi, değişikliği veya güncellemeyi kaçırmamasını sağlar.
- İyileştirilmiş işbirliği: Bir dosyaya eriştiğinizde ve bir değişiklik yaptığınızda, ekibin her üyesi güncellenen dosyayı anında görebilir. Ekran paylaşımı ve sanal

çalışma odaları gibi özellikler, işbirliği yeteneklerini daha da geliştirir ve ekip olarak çalışmayı zahmetsiz hale getirir.

- Tek doğruluk kaynağı: Bulut tabanlı bir inşaat yönetim sistemi, bir projede tek bir doğruluk kaynağı oluşturmaya yardımcı olur. Bu şekilde, tüm ekibin güvenebileceği tek bir güvenilir veri ve bilgi kaynağı vardır ve bu da proje boyunca tutarlılığı ve kaliteyi artırır.
- Ek güvenlik: Telefonunuzu veya dizüstü bilgisayarınızı kaybedebilirsiniz, ancak verilerinize erişmek için kullandığınız fiziksel mobil cihazı kaybetmeniz bile, dosyalarınız ihtiyacınız olana kadar bulut depolama alanında güvenli bir şekilde tutulur.

Bulut sistemi gibi bir diğer kullanılan sistemde büyük veri (Big Data) 'dır. Hizmet Olarak Yazılım (yani SaaS) giderek daha popüler hale gelirken, bulut altyapısı en iyi uygulamaları ve büyük miktarlarda depolanabilecek veri türleri konusunda güncel bilgilere sahip olmak çok önemlidir. Bulut bilişim ile büyük veri arasındaki farklar ve aralarındaki ilişki bu ikiliden iyi bir eşleşme oluşmasını sağlamıştır ve bu eşleşme Yapay Zeka (AI) gibi bir çok yeni teknolojinin ortaya çıkmasına öncülük de yapmıştır.



Şekil 3: Büyük Veri ve Bulut Bilişim

Teknik olarak "Büyük Veri" ve "Bulut Bilişim" birbirlerinden farklı terimler olmalarına rağmen, birbirleriyle sinerjik bir şekilde etkileşime girdikleri için literatürde sıklıkla birlikte görülmektedirler. Büyük Veri, çeşitli programlar tarafından üretilen çok büyük veri kümelerini ifade etmektedir. Çok çeşitli veri türlerinden herhangi birine başvurabilir, ancak veri kümeleri genellikle normal bir bilgisayarda incelenmek veya sorgulanmak için çok büyüktür.

Yani aslında inşaat sektöründe de diğer sektörlerde olduğu gibi, büyük veri, geçmişte depolanmış ve bugün de elde edilmeye devam eden büyük miktarlardaki bilgiyi ifade etmektedir. Büyük veriler insanlardan, bilgisayarlardan, makinelerden, sensörlerden ve diğer veri üreten cihazlar aracılığı ile gelebilmektedir. Doğal olarak, onu büyük yapan şey de budur.

İnşaat ve büyük veri oluşturma, şimdiye kadar yapılmış herhangi bir şeyin tüm planlarında ve kayıtlarında zaten mevcuttur. Ayrıca, saha çalışanları, vinçler, hafriyat makineleri, malzeme tedarik zincirleri ve hatta binaların kendileri gibi çeşitli kaynaklardan gelen ek girdilerle de sürekli olarak artmaktadır. [11]

Bir üst bölümde bahsedilen Bulut Bilişim ise, Büyük Veri Analitiği dahil her şeyin "bulut" üzerinde işlenmesini ifade etmektedir. "Bulut", birçok sağlayıcıdan birinin sunduğu yüksek güçlü sunucular kümesidir. Genellikle büyük veri kümelerini standart bir bilgisayarın yapabileceğinden çok daha hızlı görüntüleyip sorgulayabilmektedir.

Yani esasen, "Büyük Veri" adı üzerinde toplanan büyük veri kümelerini ifade ederken, "Bulut Bilişim" bu verileri uzaktan alan ve bu veriler üzerinde belirtilen işlemleri gerçekleştiren mekanizmayı ifade etmektedir.

Bulut Bilişim sağlayıcıları, müşterilerin verileri kolayca işlemesine olanak sağlamak için genellikle bir "hizmet olarak yazılım" modelini kullanmaktadır. Tipik olarak, özel komutları ve parametreleri alabilen bir konsol mevcuttur, ancak her şey sitenin kullanıcı ara yüzünden de yapılabilir. Genellikle bu paketin bir parçası olan bazı ürünler arasında veri tabanı yönetim sistemleri, bulut tabanlı sanal makineler ve konteynerler, kimlik yönetimi sistemleri, makine öğrenimi yetenekleri ve daha fazlası bulunmaktadır.

Buna karşılık, Büyük Veri genellikle büyük, ağ tabanlı sistemler tarafından oluşturulmaktadır. Standart veya standart olmayan bir formatta olabilmektedir. Veriler standart olmayan bir formattaysa, verileri standartlaştırmak için makine öğrenmesine ek olarak Bulut Bilişim sağlayıcısından gelen yapay zekâ kullanılabilir. Buradan da veriler Bulut Bilişim platformu aracılığıyla kullanılabilir ve çeşitli şekillerde kullanılabilir imkanına sahiptir. Örneğin, aranabilir, düzenlenebilir ve gelecekteki görüşler için kullanılabilir. Bu bulut altyapısı, Büyük Verilerin gerçek zamanlı işlenmesine olanak tanımaktadır, bir diğer deyişle yoğun sistemlerden çok büyük veri "patlamaları" alabilmekte ve bunları gerçek zamanlı olarak yorumlayabilmektedir. Büyük

Veri ve Bulut Bilişim arasındaki diğer bir ortak ilişki, bulutun gücünün Büyük Veri analitiğinin eskisinden çok daha kısa sürede gerçekleşmesine izin vermesidir. [60]

Günümüzde gelişmekte olan ve sektöre girdikleri anda farklarını hissettiren bütün bu teknolojilerin yanı sıra bir de geleceğin teknoloji dendiği zaman ilk akla gelen Yapay Zekâ (AI) birçok sektöre şimdiden damga vurmuştur. Cep telefonlarının içerisinde bulunan Siri'den, çoğu ülkede kullanılan ses komutlu yardımcı Alexa'ya kadar yapay zekâ birçok teknolojinin içerisinde bulunduğu gibi bu teknolojilerin bir araya getirilmeleriyle elde edilen yeni teknolojilerde de yer alabilecek potansiyele sahiptir.

Robotların ve yapay zekanın, geç ve bütçeyi aşan inşaat projelerini çözmenin anahtarı olduğu vaadiyle 2018'de bir Yapay zekâ girişimi oluşturulmuştur. Şirket, inşaat sahalarının 3B taramalarını bağımsız olarak yakalamak için robotlar kullanarak bu verileri, farklı alt projelerin ne kadar ilerlediğini sınıflandıran derin bir sinir ağına beslemektedir. Bu şekilde işlerin yolunda gitmediği durumlarda, yönetim ekibi küçük sorunlar büyük sorunlar haline gelmeden ilgilenebilmiştir. [71]

Zen Internet'in Tuğla, Harç ve Dijital Dönüşüm raporuna göre, inşaat sektöründeki 100'den fazla BT (Bilişim Teknolojisi) karar vericisi, yapay zekanın artık inşaatın temelini oluşturduğunu, ancak kültürel değişimin dijital dönüşümün önünde bir engel olmaya devam ettiğini belirtmiştir.

Rapordaki rakamlar, büyük inşaat firmalarının yarısından fazlasının (%55) ve daha küçük kuruluşların üçte birinden biraz fazlasının (%28) artık yapay zekâ kullandığını, ancak ankete katılan tüm inşaat şirketlerinin %86'sının bir teknoloji ortağının önemini gözden kaçırdığını göstermiştir.

Bunun nedeninin, ankete katılan inşaat firmalarının yarısından fazlasının (%51) bir kültürel değişimi dijital dönüşüm projesinin empoze edilmesi için aşılması gereken bir engel olarak gördüğünden dolayı ortaya çıkması olası bir ihtimal olarak görülmüştür. Ancak kültürel engel, yalnızca dijital dönüşümün değerini kilit karar vericilere (%62) doğru bir şekilde iletilmesiyle aşılabilmektedir.

Ankete katılan tüm şirketlerin %83'ü dijital dönüşüm projesini tamamladıklarını veya halihazırda devam etmekte olan bir dijital dönüşüm projesine sahip olduklarını, %61'inin verimliliğin arttığını ve %58'inin işletme maliyetlerinin azaldığını belirtmiştir. [59]



Resim 9: İnşaatın geleceği yapay zeka

Zen Ağ ve İletişim Genel Müdürü James Albiges'e göre eğitim ve beceri geliştirme gibi girişimler, bir işletme içindeki kültürel değişimin üstesinden gelmeye yardımcı olacaktır ve net hedefler, formüle edilmiş bir strateji ile birleştğinde, bir dijital dönüşüm projesi başarıya ulaştırmada uzun bir yol kat edecektir. Ancak dijital dönüşümün sadece bir amaca yönelik bir araç olmadığını belirtmek önemlidir. Etrafımızdaki dünyanın çoğunu temelden değiştirerek köklü bir yenilik sağlamak için sürekli gelişen bir süreçtir. Her boyut ve şekildeki inşaat organizasyonlarının, dijital dönüşümün ne olduğunu ve bir işletmenin bundan nasıl yararlanabileceğini anlaması önemlidir. [2]

Günümüzde inşaat sektörü, gelecekte sanal gerçeklik (%28), bulut bilişim (%24), yazılım tanımlı ağ oluşturma (%20), blok zinciri (%19) ve Nesnelerin İnterneti (%17) ile hangi teknolojilerin kendilerine yardımcı olacak ve bunların tümü büyük firmalarda BT karar vericilerinin gelecekteki gelişimi için bir anahtar olabileceğini düşünmektedir. [59]

İnşaat sektörü için bahsedilen bu teknolojilerin yaygın kullanımının faydalarının yanı sıra bu faydalara neden ihtiyacımız olduğunun temeline inilirse, bu bize projelerimizin her aşamasında kolaylık ve güven sağlamak olduğunu göstermektedir. Ancak istenen güven nasıl çalışanlar ve yapıyı kullanacak olanlar için önem teşkil etse de bu yapıdan dolayı yoldan etkilenebilecek insanlar de hesaba katılmalıdır. Küresel Isınma, Ozon tabakasının incilmesi, Orman yangınları ve hatta Koronavirüs dahil bütün problemler insan faktörünün yaratabileceği sorunların ne denli kontrol altına alınması gerektiğinin bir göstergesidir.

İnşaat endüstrisi bu fikirden yola çıkarak uzun zamandır sürdürülebilir yapılar veya Yeşil yapılar üzerine çalışmaktadır. Sürdürülebilir inşaat, ekolojik ilkelere dayalı sağlıklı bir çevre yaratma uygulamasıdır. Profesör Charles J. Kibert'e göre, sürdürülebilir inşaat altı ilkeye odaklanmaktadır: Koruma, yeniden kullanma, geri dönüştürme / yenileme, doğayı koruma, toksin olmama ve yüksek kalite sağlamaktır. [75]

Bu altı ilkedeki amaç, sürdürülebilir kalkınma uygulamalarını kullanarak, enerji verimliliğini kullanarak ve yeşil teknolojiden yararlanarak endüstrinin çevre üzerindeki etkisini azaltmaktır. Amaç, sürdürülebilir kalkınma uygulamalarını kullanarak, enerji verimliliğini kullanarak ve yeşil teknolojiden yararlanarak endüstrinin çevre üzerindeki etkisini azaltmaktır. Pek çok farklı iş sektörü daha sürdürülebilir olmak için ellerinden geleni yapıyor olsa da inşaat sektörü hepsinden farklıdır, çünkü bu uygulamaların uygulanma şeklini önemli ölçüde etkileme şansı vardır. Bunun nedeni, endüstrinin kullandığı büyük miktarda malzeme ve enerjidir.

İnşaat teknikleri, kaynakları ve bina uygulamaları yıllar içinde gelişmiştir, sürdürülebilirlik ve enerji tasarrufuna olan ilginin artmasıyla, sürdürülebilirliğe odaklanan yeni inşaat yöntemleri geliştirilmiştir. Bu süreçte şu fark edilmiştir ki, sürdürülebilir yapıya giden iki şey vardır: kullanılan malzemeler ve kullanılan yöntemler. [75]

Malzemeler unsuru ele alınırsa, İnşaatta sürdürülebilirliği uygulamanın en iyi yollarından biri kullanılan malzemelerdir. Yeni nesil, daha güçlü, daha hafif ve daha sürdürülebilir yapı malzemeleri, sektördeki birçok sorunun çözülmesine yardımcı olabilir ve mevcut uygulamaları daha sürdürülebilir hale getirebilecektir. Bu malzemeler, malzemeleri kullanan binaların karbon ayak izini azaltarak çevreyi koruma avantajına sahiptir. Daha temiz bir Dünya'yı ve sürdürülebilir bir geleceği desteklerken, aynı zamanda estetik açıdan çekici ve çok daha verimli olmaktadır. Tabii sürdürülebilir inşaat sadece en yeni malzemeleri kullanmaktan ibaret değildir; aynı zamanda yenilenebilir ve sürdürülebilir çabaları geliştiren inşaat yöntemlerini kullanmakla da ilgilidir. [75]

Mesela:

- İsrafi azaltmak için malzemeleri hassas şekilde kesmek,
- Atıkların ayrılması ve geri dönüştürülmesi gibi atık yönetiminin kontrolü,
- Yeşil binalar inşa etmek,
- Eski binaları dönüştüren uyarlanabilir yeniden kullanım projeleri,
- Çevreyi iyileştirmek için şantiyelerin yönetimi,
- Enerji tasarrufu,
- Sürdürülebilir ve geri dönüştürülmüş malzemeleri seçme,

Gibi unsurlar bu yöntemler arasında vardır. Aralarında gelecekte en çok görülmesi beklenen ise Yeşil Binalardır.



Resim 10: Yeşil Bina Örneği: JHmraD Company (2016)

Yeşil inşaat teknolojisi 20. yüzyılın sonlarında, Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi (USGBC), dayanıklılık, fayda, ekonomi ve konfor ile ilgili endişelerle sorumlu tasarım konseptlerini teşvik etmek için bir bina derecelendirme sistemi geliştirmiştir. Programa Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik (LEED) adını almıştır ve bu, orijinal geliştiricilerin hayal ettiklerinin çok ötesinde bir başarı olmuştur.

Bugün, LEED sertifikası yeşil mükemmelliğin bir işaretidir. Dünya çapındaki program, tasarım, yapım teknikleri, enerji verimli malzemeler, devam eden işletme maliyetleri ve bakım gereksinimlerinde yeşil ilkeleri içeren yedi uyum düzeyi öngörmektedir. LEED sertifikası, bina operatörlerinin ve sahiplerinin kaynakları verimli bir şekilde kullanmalarına ve bir binanın ömrü boyunca çevreye duyarlı olmalarına yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

Küresel olarak binalar, gelişmiş ülkelerde enerji kullanımının% 40'ını, sera gazı emisyonlarının% 38'ini, içme suyunun% 12'sini ve katı atık akımlarının% 20'sini oluşturmaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, binaları sera gazı emisyonlarını azaltmanın ve iklim değişikliğini ele almanın en büyük etkisi, en az maliyetli yolu olarak tanımladı. Yeşil binalar, emisyon azaltma ve çevre korumanın ötesinde, maliyet tasarrufu, istihdam yaratma ve iyileştirilmiş insan sağlığı ve üretkenliği gibi kapsamlı yan faydalara sahiptir.

Binalar aynı zamanda dirençli toplulukların sağlanmasında çok önemli bir role sahiptir ve birçok yeşil bina stratejisi ve yatırım yoluyla iklim değişikliğini azaltma ve adaptasyonu ele almak için benzersiz bir şekilde konumlandırılmıştır. Bina sektörünün

iklim değişikliği üzerindeki büyük etkisine rağmen, binalar bugüne kadar yapılan müzakerelerin önemli bir odak noktası olmamıştır. [14]

Aşırı hava olaylarının sıklığı ve yoğunluğu arttıkça, hükümetler binalarının ve altyapılarının dayanıklılığını sağlamalıdır. Bina ve enerji sektörlerinde sürdürülebilirliği teşvik etmeye yönelik stratejik kararlar, hayati çevresel, mali ve insan sağlığı ortak faydaları sağlayacaktır.

Bir ev için yeşil bir bina seçmek sadece bir seçenek değil, aynı zamanda doğal, sürdürülebilir yaşamın erdemlerini sürdürmek için ömür boyu sürecek bir taahhüttür. Yeşil bina için iyi bir tasarım gerekiyken, binanın fiili işletimi, bakımı ve nihai olarak bertaraf edilmesi veya yıkımı da binaların genel çevresel etkisi üzerinde çok önemli etkilere sahiptir. [72]

4. İNŞAAT SEKTÖRÜNÜN GELECEĞİ

Teknoloji hayatımız için önemli bir araçtır. İnsanların iletişim kurma, öğrenme, çalışma vb. yaşamlarının her alanında yaptıkları günlük aktivitelerini büyük ölçüde etkilemiştir. Birçok mühendislik endüstrisi de gelişen teknolojiyi etkin bir şekilde kendi alanlarında kullanmaktadır. Bunların arasında olan inşaat endüstrisi, gelişen teknolojiyi iş alanlarına entegre edebildiğinde, projelerinin teslimlerinde veya çok daha öncesinde büyük kazanç elde edebilmektedir. Teknolojik gelişmeler, şirketlerin projelerinin kalitesini iyileştirmesine, verimliliğin artırmasına ve maliyetlerin düşmesine yardımcı olmuştur. Gelişen teknolojinin ticaretin geleceği olduğu ve muhtemelen proje uygulaması için yeni normal haline geleceği sektördeki profesyoneller tarafından çokça dile getirilmiştir.

1 İnşaat Danışmanlık Kurucusu Cem Kafadar'ın Şantiye dergisinin Eylül-Ekim 2020 sayısında verdiği bir röportajında inşaat sektörünü, endüstri sektöründe olduğu gibi İnşaat 1.0, 2.0, 3.0 ve 4.0 olmak üzere kısımlara ayrılıp incelenmiştir. Değerlendirmelere göre bu sıralamada ülkemizin daha İnşaat 3.0 evresinde olduğunu düşünmektedir ve bu durumda geriye “Peki İnşaat 4.0” da yani gelecekte inşaat sektörünün nasıl olacağı sorusu gelmektedir. [35]

Geleceğin şu andan 180 derece farklı olacağını düşünsük de aslında görülecek her yenilik eskilerin üzerine bir şeyler konmasıyla oluşacaktır. Bu sebepten dolayı da aslında geleceğin temellerini şimdiden de atabilmek mümkündür.

4.1. Güncel Yöntemler Ne Hale Gelecek

Analog ve Dijitalin birleşip yürüdüğü bugün de kullanılan bazı metotlar eskiden daha farklıken zamanla yerini daha kullanışlı versiyonlarına veya muadillerine bırakmıştır. Örnek vermek gerekirse eskiden insanlar ateş yakmak için taşları birbirine vururken şu anda bu yöntem yerine çok daha pratik olan çakmak kullanılmaktadır. Taşları birbirine vurmak bu yetisini yitirmemiştir ancak daha pratik ve daha kesin bir yöntem kullanılabilecekken bu yöntemi kullanmak zaman kaybı olarak görülebilmektedir. Fakat yeniliklerin oluşma şekli her zaman daha iyisini bulmaktan değil de bazen, elde olan başka ne işe yarayabilir? Fikrinden gelebilir. Bu duruma örnek olarak çakmanın kullanılmasıyla artık taştan tamamen vazgeçilmemesi, taşın yararlı olacağı başka alanlar bulunması verilebilir. Hatta bu başka alanlardan biri de inşaat sektörüdür. Gelecekte de, inşaat sektöründe kullanılan bir çok yöntemin farklı kullanım alanları olabileceği gibi

kullanım alanların daha da genişleyeceği veya kullanımının daha çok alanda yaygınlaşacağı düşünülmektedir. İnşaat sektöründeki bu yenilikler daha ayrıntılı incelenecek olursa şu şekilde ele alınabilir:

4.1.1. İnternet Hizmetleri

İnternetin icadından beri iş, eğitim veya eğlence olsun birçok alanda kullanılan internet insanların hayatına kolaylık ve hız katmıştır. Ancak maalesef, Koronavirüs'ün yarattığı değişikliklerin en temelinde insanların birçok işi evlerinden halletmek zorunda kalması gerçeği de vardır. Bundan dolayı normalde şehirler veya ülkeler arası tercih edilen görüntülü online toplantılar günlük hayatımızın en basit işlerine de taşınmıştır. Günümüzde bu sistem zorunluluktan kullanılsa da yarattığı bazı kolaylıklar artık görüldüğü için, pandemi süreci sona erdikten çok sonra bile görüntülü online iletişim kalıcı olacakmış gibi görünmektedir. Yeni bir dönemin başlangıcına vesile olan Korona virüs, çoğu iş ve eğitim hayatına getirdiği zorunlu gelişmelerle aslında bazı konularda kısıtlı imkanların fark edilip üzerine gidilmesiyle beklenen yeniliklerin daha hızlı yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Bilgisayarlı iletişim cihazlarının doğruluğu ve yakınlığı, inşaat dünyasını da önemli ölçüde ilerletmiştir.

Bu sistemin inşaat sektörüne olan etkisine bakılacak olursa, sanal toplantılara inşaatla giderek daha fazla güvenilecek, çünkü firmalar daha uzak dostu uygulamaları benimsemeye ve güvenlik endişeleri için yerinde toplantıları sınırlamaya çalışacaktır. Ancak, inşaatteki sanal toplantıların başarılı olması ve projelerin ilerletilebilmeleri için katılımcı paydaşlara daha fazla değilse de gerekli bilgilendirmelerin de devamlı olarak sağlanması gerekmektedir. Bu durumda ise aslında iş takibi ve kalemler arası iletişim çok daha gelişmiş bir düzeye geleceğinden bu konuda oluşan hata faktörleri minimuma inerek olası problemlerin daha hızlı kontrol altına alınmasını sağlayacaktır. Hatta sadece sözlü görüşmeler için değil, yazılı süreçlerin oluşturulması, imzalanması ve takip edilmesi de sanal ortamda devam ettirilebilmesi olası bir seçenektir.

4.1.2. Elektronik İhale

Araştırma sonuçları, çevrimiçi teklif vermenin geleneksel kâğıt tabanlı teklife alternatif, güvenilir, uygun maliyetli ve daha üretken olduğunu göstermiştir. Çevrimiçi teklif verme, yüklenicilere proje planlarını ve dokümantasyonu düşük maliyetle kolayca elde etme yeteneği ve daha düşük teklif verme maliyetleri gibi pek çok fayda sağlar çünkü hiç kimsenin teklif vermek için bir mal sahibinin ofisine gitmesine gerek yoktur. Bir önceki bölümde bahsedilen iki çevrimiçi teklif verme türünden, geleneksel iki yönlü teklif verme sistemleri inşaat organizasyonlarının çoğu tarafından kullanılmaktadır. Yapılan bazı araştırmalar sırasında oluşturulan bir ankete göre, Çevrimiçi teklif vermenin önümüzdeki 10-20 yıl içinde geleneksel kâğıt temelli tekliflerin yerini alabileceği tahmin edilmektedir. Böyle bir değişiklik, inşaat sektörünün verimliliğini artırmaya yardımcı olacaktır. [17]

4.1.3. Prefabrikasyon ve Modüler Sistemler

Bir önceki bölümde yer alan 1-2 güncel yöntem ele alınacak olunursa, Prefabrik ve modüler evlerin gelecekte daha sık görüleceği öne sürülmektedir. Colin Davies, “The Prefabricated Home (Prefabrik Ev)” isimli kitabında, neden prefabrik evlerin giderek yaygınlaştığını şöyle anlatmaktadır: “Prefabrik evin gücü popüleritesinde, ucuzluğunda ve endüstriyel bazlı olmasında yatıyor. Bunlar, tam olarak modern mimarînin zayıf olduğu alanlar. Modern mimarî popüler değil, pahalı ve endüstriyel üretimle uzaktan yakından alakası bulunmuyor. Bu yüzden de ne zaman alanını prefabrik evlerin alanına doğru genişletmeye kalksa başarısız oluyor.”[74]

Koronavirüs her yerde olduğu gibi inşaat sektöründe de şunu göstermiştir ki, ne olursa olsun olası sorunlara karşı elden geldiği şekilde hazır olunması gerekmektedir. Bunu çözümü de bazen problemin yayılma ihtimalinden daha hızlı çözüm odaklı hareket etmekten geçmektedir. Koronavirüs nedeni ile yapılan global değerlendirmelerde görüldüğü gibi modüler inşaat sektöründeki beklenen büyümenin 2023 yılına kadar milyar dolara çıkacağı düşünülmektedir. Bunun nedeni büyük ölçüde endüstrilerdeki (hastaneler, okullar, konaklama) güvenilir, hızlı ve uygun fiyatlı inşaat çözümlerine olan acil ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır.



Resim 11: Prefabrik ve Modüler ev örnekleri

Pratik yöntemler haricinde teknolojik açıdan incelenirse; robotik, otonom araçlar, 3B yazıcılar ve dronlar halihazırda sektörde kullanılan araçlardır. Bu araçların günümüzde sağladığı kolaylıklar düşünülürse, gelecekte üzerlerine gidilip çalışma alanları genişletilerek şu anda olduğundan daha çok alanda faydaları olacağı göz ardı edilmemelidir.

4.1.4. Robotik

Bir önceki bölümde de dile getirildiği gibi, doğru inşaat robotiklerinin yardımı ile birçok proje daha verimli bir şekilde tamamlanabilmektedir, çünkü temelde ilgili görevler belli aralıklarla tekrarlanmaktadır.

İnşaat robotiklerinin endüstride nasıl devrim yarattığına dair bir örnek, Avustralya merkezli FBR Ltd.'nin (Fastbrick Robotics olarak da bilinmektedir) HadrianX tuğla örme makinesidir. Bu makinenin plana uygun çalışabilmesi için, Tuğla örme için gerekli malzemeleri ve hareketleri hesaplamak için CAD destekli akıllı bir kontrol sistemi kullanılmaktadır. Hadrian ayrıca rüzgâr veya titreşimlerin neden olduğu hareketler gibi çevresel değişiklikleri gerçek zamanlı olarak ölçebilmektedir. Bu veriler daha sonra inşaat işlemleri sırasında hassasiyeti artırmak için de kullanılabilir. [44]

Hadrian tescilli bloklar ve yapıştırıcı kullanılmamasını gerektirse de FBR, ilgili malzemelerin "standart ev tuğlalarından 12 kat daha büyük" olduğunu ve daha hafif, daha güçlü ve çevresel olarak daha sürdürülebilir olduğunu belirtmişlerdir. [44]

New York merkezli Construction Robotics'ten Hadrian gibi robotlar, işletme maliyetlerini ve atıkları azaltmanın yanı sıra daha güvenli çalışma ortamları sağlamayı üretkenliği artırmayı de vaat etmektedir. Hadrian, bir evin duvarlarını tek bir günde inşa edebilmektedir ki bu, geleneksel yöntemlerden çok daha hızlıdır. Bu robotik teknolojinin

ileride daha yaygın bir hale getirilmesi durumunda, çalışanları tehlikeli bir çalışma ortamından korumaya, işyeri yaralanmalarını azaltmaya ve işçi kıtlığını gidermeye yardımcı olacaktır. [58]

Şantiye robotikler sayesinde hem yerde hem de havada faal halindedir. Otonom inşaat ekipmanı, makinelerin daha iyi yapabileceği tekrarlayan görevler dışında insan iş gücünün de rahatlamasına imkân tanımaktadır. Buna bir örnek, GPS navigasyonlu uzaktan izleme sistemlerine ve zorlu saha koşullarına otomatik olarak ayarlanan sıkıştırıcılara sahip robotik ekskavatörlerdir. Otomasyon bu şekilde artık modüler ve prefabrik inşaat tekniklerine de aktif bir rol oynayabilecektir. [58]

Küresel inşaat robotik pazarı, geliştiriciler ve tedarikçiler için büyük bir fırsatı temsil etmektedir. Bir İnşaat sektörü firması olan Tractica, 2025 yılına kadar 22,7 milyon dolardan 226 milyon dolara çıkabileceğini düşünmektedir. Research and Markets (R&M), pazarın 2025 yılına kadar 126,4 milyon dolara çıkacağını tahmin etmektedir. Uluslararası Robotik Federasyonu ve Robotik Endüstriler Derneği'ne göre, inşaat robotik pazarı 2018 ile 2022 arasında %8,7'lik bir yıllık bileşik büyüme oranı (CAGR) ile karşılaşacaktır. Ancak araştırma firması IDC, %20,2'lik bir CAGR öngörerek sektörün çok daha yüksek mertebelerde dolacağını düşünmektedir. [44]



Resim 12: İnşaat robotları (Robotics Online Marketing Team)

Bir inşaat projesi öncesinde, sırasında ve sonrasında birçok değerlendirme, çalışma sahasının ve çevresinin gözden geçirilmesini gerektirir. İşçileri denetlemek ve sahayı güvence altına almak için sınırlı gözetim birçok olası problemin önceden fark edilmesine olanak sağlayabilmektedir. Ek olarak, proje yöneticileri ve üstlerinin son denetimleri yapmak için sahayı gezmeleri de temel görevlerden biridir. İnşaat robotikleri ve insansız

hava araçları (veya dronlar) tüm bu sürecin daha verimli ve hızlı olmasında büyük bir avantaj sağlayacaktır.

4.1.5. Dronlar

Yüksek teknolojideki gelişmeler, daha önceden de değinildiği gibi inşaat ekipmanı operatörlerine olağanüstü faydalar sağlamaktadır. Pek çok ağır ekipman türü, kumanda kolları gibi ergonomik olarak tasarlanmış kumandalara ve filtreli klima üniteleri gibi çevresel konfora sahip çalışma kabinlerine sahiptir. Bu gelişmeler haliyle daha güvenli ve daha sağlıklı iş yerleri sunmaktadır. Bu teknolojik değişiklikler, ekipman operatörlerinin yerini alıp onları robotik ve otonom ekipmanların süpervizörlerine dönüştürülmesine de olanak sağlayacaktır. İlerde bu sebepten dolayı birçok yeni meslek grubunun oluşması da çok büyük bir olasılıktır.

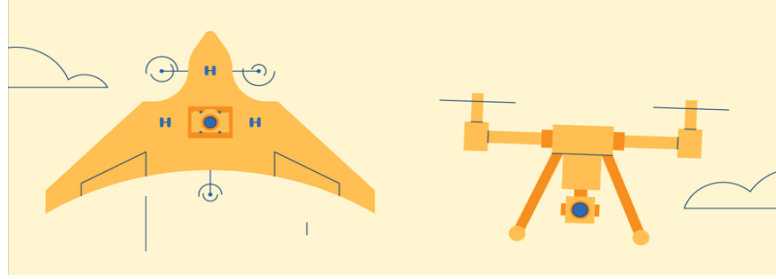
Bir önceki bölümde de ele alındığı gibi iş yerlerinin üzerinden geçen ve üzerinde gezinen dronlar çok uzak bir geleceğe ait değildir. Bu teknoloji şu anda mevcut olduğu gibi dronlar inşaat robotik alanında yalnız da değillerdir. Yüksek, uzak veya tehlikeli yerlerdeki işleri denetlemek için uzaktan kumandalı bir dron göndermek önemli ölçüde zaman kazandırırken insan işçiler için riski de azaltmaktadır.

Dronlar ayrıca hava araştırmaları yapabilmektedir ve plan aşamasında oluşan varsayımlardan inşaat aşamalarını onaylamaya kadar her görevde daha tutarlı veri elde edilmesini sağlayacaklardır. Kameralar, GPS üniteleri, termal sensörler ve kızılötesi sensörlerle donatılmış dronlar, inşaat alanındaki önemli verileri yakalayabilecekleri gibi topladıkları bilgiler, drone yazılımı aracılığıyla bir bilgisayara gönderilerek kullanıcıların bu verileri analiz etmesine, yorumlamasına ve yorumlamasına olanak tanıyabilecektir. Yani bir diğer deyişle, Dronlar, inşaat profesyonellerinin rekabette bir adım önde olabilmeleri için gereken güvenilir, sofistike tasarım modellerini oluşturmak için daha fazla veriye ve ayrıntılı iç görüleri erişmesini sağlayacaktır. [63]

BIGRENTZ'in 2018 yılında yazılan ama elektronik ortamda uyarlanmış hali 2020 yılında yayınlanan bir yazısında mühendis Liam Stannard şekil -3'te görülen dronlar hakkında bilgi vermiştir. Yapılan araştırmaya göre birçok dron türü vardır, fakat inşaatla kullanılan ticari dronlar standarttır. Bu modellerde yapılabilecek değişiklikler ile Şantiyeler için çok daha kullanışlı bir hale gelebilmektedir. Oluşturulan yeni modellerde bazıları Sabit kanatlı olarak geçerken bazıları da Döner kanatlı Dronlar olarak geçmektedir. Aralarındaki

temel fark ise tasarımları ve kullanımlarıdır. Stannard'a göre, uçak benzeri tasarımlarıyla, sabit kanatlı dronlar belirli bir yolda kayabilir ve daha yüksek irtifalara ulaşabilir, bu da onları topografyayı haritalamak ve daha uzun mesafeleri araştırmak için verimli hale getirmektedir. Bununla birlikte, sabit dronlar yalnızca ileriye doğru uçabilmektedir. Yani daha yakın havadan incelemeler ve fotoğrafçılık için, döner dronlar daha iyi bir seçenektir çünkü kontrolleri kolaydır ve rotor (döneç) tasarımları havada asılı kalmalarına ve sabit kalmalarına izin vermektedir. [63]

Sabit kanatlı insansız hava araçları, inşaat şirketleri için maliyet ve zaman açısından verimli bir seçenek sunmaktadır, ancak daha yüksek bir çözünürlükte daha ayrıntılı iç görüler elde etmek için profesyoneller hem döner hem de sabit kanatlı cihazlar da dahil olmak üzere, drone filolarıyla seçenekleri daha fazla araştırmaktadır.



Şekil 4: BIGRENTZ Sabit kanatlı ve Döner kanatlı Dron modeli

Havadan ölçme yöntemleri, bütünleşmiş yazılım çözümleriyle de birleştirilebilirse kullanıcıların hem araziye doğru bir şekilde haritalandırmasına hem de daha sonra verileri analiz etmesine olanak tanıyacaktır. Örneğin, önde gelen uçuş planlama ve yönetim yazılımı, ekiplerin her uçuştan önce projenin fizibilitesini değerlendirmelerine ve böylece rotalarını daha etkili bir şekilde planlamalarına olanak tanıyabilir. Sonrasında ise uçuş sınırları önceden belirlenerek kalkış ve iniş bölgelerinin de önceden belirlenmesini sağlayıp sahadayken verimliliği artırılmasına yardımcı olacaktır. İnşaat uzmanları, drone ve yazılım arasında bir bağlantı oluşturarak yalnızca verilerin işlenmesini kolaylaştırmakla kalmayıp, aynı zamanda çıktının olabildiğince hızlı olmasını sağlayacaktır; bu da proje verimliliğini ve karlılığını artırmada çok önemli bir faktördür.

Ayrıca, BIM gibi süreçler yalnızca toplanan veriler kadar iyidir. Topografik alan görüntüleri, dijital yüzey modelleri (DSM'ler) ve ayrıntılı nokta bulutları dahil olmak üzere İHA'lardan büyük miktarda güvenilir veri sağlayarak, paydaşlar (mimarlar ve saha

yöneticileri dahil) sahanın daha güncel bir modelini sunan güçlü iç görümlere erişebilecek ve gerçek değerini katabilecektir.

Bu, bilgiye ve veriye dayalı kararların etkinleştirilebilmesi için çok önemlidir ve daha yüksek mutlak doğruluk sunan dron çözümlerini kullanarak- yer kontrol noktaları (GCP'ler) kullanılmasa bile- inşaat profesyonelleri, son derece hassas coğrafi düzeltilmiş görüntüler aracılığıyla değerli, güvenilir iç görümler elde edebileceklerdir. Ayrıca bir önceki bölümde değinilen BIM gibi ortak çalışma araçlarıyla birlikte her zamankinden daha ayrıntılı 3B yapı modellerine erişim sağlayarak, tasarımlar kolayca güncelleyebilecek ve değiştirilebileceklerdir.

Şu anda bile dron verilerini işlemek için kullanılan platformlarda devam eden ilerlemeler sayesinde BIM'de iş akışları, artık hızla yüklenebilen, işlenebilen ve ek süre avantajları için bulutta kullanılabilen hali için, basitleştirilmeye ve optimize edilmeye devam etmektedir.

Kısacası, drone'lar BIM modelini daha verimli hale getirmek için bir fırsat sunmaktadır. Gelecekte veri yakalama, işleme ve paylaşma hiç olmadığı kadar kolay olacak, aynı zamanda iş akışlarını optimize edecek ve tüm ekibin aynı sayfada olmasını sağlayacaktır. [50]



Resim 13: Sabit kanatlı insansız hava araçları, daha büyük, daha geniş şantiyelerin haritasını çıkarmak için kullanılıyor

Dron ve bir takım inşaat robotiklerinin her şeye rağmen yine de fiziki bir insan gücüne ihtiyaç duymaları, bu ihtiyacın bütün robotikler için geçerli olduğu anlamına gelmemektedir. Örneğin Otonom ekipmanın bir operatöre ihtiyacı yoktur ve büyük otomobil üreticileri ile teknoloji şirketleri kendi kendine giden otomobiller üzerinde çalışırken, otonom araçlar zaten inşaat robotiklerinin bir parçası olarak kabul edilebilmektedir. Otonom araçlar ve inşaat robotiklerinin amacı tamamen el emeğinin

yerini almak değildir, verimliliği artırmak ve zamandan kazanç sağlamaktır. Fakat insan hatası potansiyelinin ortadan kaldırılması gelecekte belki de bu fikrin değişmesine yol açacaktır.

4.1.6. Otonom Araçlar

İnşaat endüstrisi, otonom araçlar için iki nedenden dolayı ideal bir pazardır: Birincisi, devam eden bir işgücü sıkıntısı vardır ve ikincisi, endüstrinin, güvenliği artırabilecek herhangi bir yeni araç veya teknolojiye sürekli olarak ihtiyacı vardır.

Otomotiv Satış pazarı sonrası, inşaat otonom araç firması Built Robotics'in kurucusu Noah Ready-Campbell, "Yüklenicilerin üçte ikisi kalifiye işçi bulmakta zorlandıklarını bildiriyor" diyerek bu konuyu dile getirmiştir. Sonuç olarak, ABD'nin farklı bölgelerindeki üst düzey yükleniciler, üstesinden gelebileceklerinden daha fazla işe sahip görünmektedirler çünkü, talebi karşılamak için yeterli vasıflı işçi bulunamamaktadır. Ready-Campbell, bu sebepten ötürü otomasyonu maliyetleri düşürmenin bir yolu olarak görmediklerini dile getirip, otonom araçların şirketlerinin daha çok büyümelerini sağlayacağından bunun üstlenebileceklerinden fazlası olduğuna inanıp sunulan teklifleri reddetmek zorunda kalmalarına sebep olacaklarına inandıklarını söylemiştir. Ancak, Ready-Campbell ve diğer yetkililer, otonom inşaat araçlarının, özellikle vasıflı işgücü ithalatının maliyetli olabileceği uzak bölgelerde olabilecek en faydalı çözüm olacağına inanmaktadır. [38]

Otonom inşaat araçlarını makul kılan bir diğer faktör de güvenlidir. Ağır makinelerin icat edilmesinden bu yana, kazalar işleyişle birlikte devamlı ortaya çıkmaktadır. Ancak bir operatör bir projeyi uzaktan yönetebilirse, meydana gelen yaralanma şansı azalacak ve kronik toza, şoka ve titreşime maruz kalma en aza indirilebilecektir. Doğru kullanımla, otonom inşaat araçları tüm şantiye ekibinin yerini alabilecek potansiyelindedir.

Otonom makineler, şantiyede gezinmek ve sahayı doğru bir şekilde kazmak ve derecelendirmek için arazinin 3B modellerine dayalı olarak saha çalışması yapmak için sensörler, dronlar ve GPS kullanılmaktadır. Yerinde baz istasyonları ve uyduların bir kombinasyonu olan Artırılmış GPS (AGPS), sahayı coğrafi sınırlamak ve otonom ekipmanın sahada hassas bir doğrulukla hareket etmesini sağlamak için kullanılabilir.

Tipik işlerin çoğunda (tesviye, kazı ve inşaat için bir şantiye hazırlayan diğer işler), birkaç kişiden oluşan bir ekip bir ekskavatör çalıştırabilse de ekskavatör otonom araçların yine de denetime ihtiyacı olacaktır, ancak bir kişi potansiyel olarak birden fazla makineyi de aynı anda denetleyebilir, bu nedenle otomasyon, özellikle büyük projelerde önemli işçilik maliyeti tasarrufu sağlayabilecektir ve ileride geliştirilebilecek yeni araçlarınsa bu adam sayısını daha da azaltacağı olası bir senaryodur.

Bilindiği gibi inşaat sektöründe zaman kritik öneme sahip bir unsurdur. İnşaat otonom araçları günde 24 saat çalışabilir hatta yalnızca bir işçi değil, iki veya üç vardiya yerine geçebilir ve bu da yüklenicilerin sıkı son teslim tarihlerini güvenli bir şekilde karşılamasına olanak tanıyacaktır.

İnşaat otonom araçları için bir sonraki sınır, birkaç makinenin eşzamanlı olarak birlikte çalıştığı alan olarak düşünülebilir. Bazı endüstri uzmanları, makinelerin öngörülebilir, tekrarlayan görevlerin üstesinden gelmek için en uygun olduğuna inanırken, günümüzde insan operatörler ideal olarak katma değerli görevleri yerine getirmekte diye düşünülmektedir çünkü şu anda, hiç kimse henüz insansız çalışma alanlarını tamamen nasıl olacağını tahmin edememektedir. Bu tür filo yönetimi planlama ve çizelgeleme faaliyetleri, muhtemelen yalnızca bireysel araçları değil, tüm iş sahalarını otomatikleştirmek için tasarlanmış inşaat otonom araç platformu yazılımının ve sistemlerinin bir parçası haline gelecektir. [38]



Resim 14: İnşaatta otonom Araç kullanımı örnekleri (komatsu,2019)

Otonom araçların ileride en az fiziksel insan gücüyle çalışabileceği düşünülse de bugünün teknolojisiyle olası bir problemde yine insan gücünü de içeren önlemler mümkündür. Güvenlik için, kazı çalışması durumunda, bir ekskavatör otonom aracı üç ayrı yedek özellik katmanına sahiptir. İlk katman coğrafi sınırlamadır, bu nedenle araç yalnızca önceden tanımlanmış bir alan içinde çalışabilmektedir. İkinci katman, bir kısmı aracın

kendisine monte edilmiş ve diğer kısmı kablosuz olan iki kısımlı bir kapatma anahtarıdır. Üçüncü ve son katman ise, insanlar veya diğer araçlar gibi engellerden kaçınmak için LiDAR kullanımı ile nesnelere algılamadır. (Campbell,2019) Birinci ve ikinci katmanlar pozitif çözüm seçeneklerinden de olsa geliştirilmesi halinde birçok alana öncülük edecek bir diğer sistem, aynı zamanda inşaat sektöründe dronlar ve diğer robotiklerle de entegre edilmiş olan LiDAR'dır

4.1.7. LiDAR

Bir önceki bölümde de bahsedildiği gibi LiDAR , çalışma biçimi radar sisteminden esinlenilmiş bir teknolojidir. LiDAR'ın drone, otonom ve birçok robotik sistemle birlikte kullanıldığı görülen bir şeydir. Ancak LiDAR inşaat sektörü harici evimizde olan telefon veya tabletlerin içerisinde de kullanılabilen bir sistemdir, yani LiDAR'ın gelişimi sadece inşaat sektöründeki ihtiyaçtan kaynaklanmayacaktır. Bu durumda da LiDAR'ın birçok platform tarafından farklı amaçlarla geliştirileceği ve ileride bu farklı amaçların bir araya gelip daha büyük ve kapsamlı sonuçlara ulaşabileceğinin göstergesidir.

Başka teknolojilerle entegrasyonundan önce LiDAR'ın sistemini ele alırsak, 3B bir alanı tam olarak haritalama yeteneği çok önemlidir, ancak yine de oldukça yenidir. Bunu küçük bir odada elle yapmanın zorluğu düşünülürse gerekli efor daha açık görülmektedir. Düzgün duvar boyutlarında milimetre hassasiyetini elde etmek basit olabilir, ancak birkaç aydınlatma armatürü bile bu haritayı herhangi bir dijital araç olmadan hızlı bir şekilde oluşturma yeteneğinizi ortadan kaldıracaktır. Bununla birlikte, bu dijital araçların faydası, gerçek alanların üzerine yerleştirilemez ise araçların ful potansiyelleri kısıtlanacaktır. Özellikle büyük, karmaşık projeleri planlama ve teslim etme söz konusu olduğunda, gerçek dünyayı dijital alana çekme yeteneği ve planlama ile çıktıları çapraz kontrol etme safhası, bütün alakalı meslek gruplarının da bildiği üzere hayati önem taşımaktadır. İşte dijital modelleri fiziksel alanla eşleştirmek de LiDAR'ın sunduğu bir şeydir. [68]

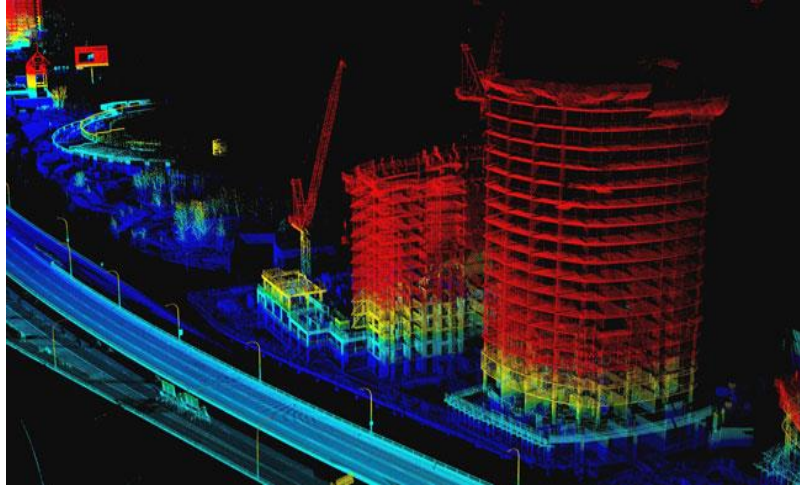
Başlangıçta LiDAR teknolojisi, herhangi bir otomotiv anlamında pratik kullanım için çok pahalı görülmekteydi ve birim başına yaklaşık 75.000 dolardı. Bugün, uygun maliyetli LiDAR üniteleri sadece birkaç yüz dolardır ve otonom arabaları ekonomik ve pratik hale getiren teknoloji haline gelmiştir.

LiDAR sensörleri, güvenli sürüş koşullarını sağlamak için bir aracın çevresini güvenilir bir şekilde haritalayabilmektedir. Aracın bilgiyi yeterince hızlı işleyebileceği

varsayılırsa, otonom bir araba, akıllı navigasyon kararları vermek için etrafındaki herhangi bir durumu algılayıp ve tepki verebilmektedir.

İleride, otonom otomobiller gibi, otonom araç filoları ve araç paylaşım hizmetleri de LiDAR teknolojisinden yararlanacaktır. Filoların sürücüsüz hale gelebilmesi, şirketlerin bir sürücünün fiziksel kapasitesiyle sınırlı kalmadan günün 24 saati üretken olmalarını sağlayacağından bu durum teslimat sürelerini olumlu yönde de etkileyebilecektir. [38]

LiDAR'ın çalışma alanı daha çok yer odaklı da görünse; Bugün popüler drone geliştiricisi DJI bile bir LiDAR üreticisi ile ortaklık yaparak onların uçan dronlarını daha yetenekli hale getirmek üzerine çalışmaktadır ancak yine de mobilite uygulamaları daha güvenlik odaklı bir yaklaşım benimsemektedir.



Resim 15: LiDAR yapı (Teledyne SP device)

Kısacası, LiDAR'ın geleceğin otonom araçlarında çok önemli bir rol oynayacağı görülmektedir ve bu teknoloji geliştikçe daha da küçülmeye, daha ucuza ve her zamankinden daha güçlü olmaya devam edecektir. Bazı endüstriler artık çok az hareketli parça içeren veya hiç içermeyen katı-hal tekli veya çoklu "çip üzerinde" LiDAR yayıcılar geliştirirken, mevcut sistemler birimlerinin lazerlerini hareket ettirmek için hala dönen parçalara güvenmektedir. LiDAR'ın bu yeni katı formunun, dönen türün yerini alması ve maliyetleri düşürmeye devam etmesi muhtemeldir. Ayrıca, LiDAR'ın araçlardaki potansiyel uygulaması, 2030'a kadar tek başına 2,5 milyar ABD doları değerinde olabilecek çok daha büyük bir pazara ilerlediği dille getirilmektedir.[41]

4.1.8. 3B Yazıcılar (veya baskı)

3B baskı, şu anda inşaat alanında meydana gelen büyüleyici bir değişim ve ilerlemedir ve yapı malzemeleri ile yapım yöntemleri, 3B baskı teknolojisinde bulunan tek gelişme değildir. Oak Fridge Ulusal Laboratuvarı'ndaki bir ekip, üç ana 3B basılı bileşen kullanarak bir ekskavatör inşa etmiştir. Bunlar, ekskavatörün kontrol çubuğu, ısı eşanjörü ve operatörünün oturduğu kabinidir. Basılı malzemeler arasında çubuk için çelik, ısı eşanjörü için alüminyum ve kabin için karbon fiber takviyeli ABS plastik kullanılmıştır.[16]

Birçok yönden, 3B baskı işlemi kontrplak ve lamine kaplama kereste (LVL) yapmak gibidir. Çok katmanlı tabakalar, ahşap çerçeve inşaat endüstrisinde onlarca yıldır kullanılan glulam kirişler gibi yazıcı bağı tarafından belirlenmektedir. Günümüzün 3B laminasyon teknikleri, karbon fiber ve yüksek mukavemetli metaller gibi daha gelişmiş malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca gelecekte bu malzemelere yenileri de eklenmiştir.

Çevreci yaklaşımın popülerleştiği günümüzde, bu fikirden doğan yeşil evler ile birçok farklı çalışmalar görülmüştür. Örneğin titanyum dioksit katkılı malzemelerin inşaat sektöründe yararlanılması bu fikirlerden biridir. Eğer kimyanın doğru kullanımı yapı malzemeleri ile eş zamanlı olarak 3B yazıcıların gelişiminde rol alırsa, gelecekte inşa edilecek yapılar korumak için birden fazla işleme ihtiyaç duyulmayacağı gibi aynı zamanda mukavemet alma zamanının da önüne geçilebilecektir.

3 boyutlu baskı süreçleri, inşaat sektöründeki yeni nesil gelişmelerin yalnızca bir parçasıdır. Yapay Zeka (AI), Makine Öğrenimi (ML), Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR) gibi yüksek teknoloji alanlarında da büyük adımlar atılmaktadır. Bu fütüristik teknoloji şimdiden otonom ekipmanların yolunu açmaktadır ve bir sonraki bölümde de bu yüksel teknoloji alanlarına değinilecektir.

3B baskı Endüstrisinin 2024 yılına kadar 35,6 milyar dolara çıkması ve 3B baskı endüstrisinin patlamasının büyük bir kısmının inşaat alanında olması beklenmektedir. Çünkü sektör büyümesine rağmen, büyük ölçekli inşaatlara başlamak maalesef yavaş bir süreçtir. Ancak, her gün köprü yapımında 3B baskı kullanılsa da gelecek beklentilerinde bu potansiyele sahiptir.

3B baskılı köprüler için fırsatlar, sektör genişledikçe büyümeye devam edecektir. Hatta, Katmanlı üretim, insanlığın uzayı keşfetmesinin bir yolu olabileceği bile düşünülmektedir. NASA, Ay veya Mars gibi uzayda evler inşa etmek için kullanılan teknolojileri inceleyen ' 3B Baskılı Habitat Mücadelesini ' çoktan başlatmıştır. Ancak maalesef iddialı da olsa, 3B baskının uygun bir çözüm olup olmadığını söylemek için henüz çok erkendir. Yine de inşaatta 3B baskının çok olası bir küresel güç haline geleceği düşünülmektedir. SmarTech Publishing geçtiğimiz günlerde sektördeki küresel gelirlerin 2027'de 40 milyar dolar olacağını tahmin eden bir rapor yayınlamıştır. 10 yılda birkaç milyon dolardan 40 milyar dolara çıkmak bir hayli beklenmediktir. Bu nedenle, gelecekte dünyanın bu teknolojiye nasıl tepki vereceğini herkes merakla beklemektedir. [28]



Resim 16: PERI 3B inşaat Baskısı BOD2

İnşaatta 3B baskının başarısındaki önemli bir parça da Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) yöntemidir. BIM zaten ticari olarak mevcut, büyük ölçekli ve otomatik 3B baskı makineleri için zengin bir geometrik bilgi kaynağı olarak hizmet ettiğinden, şantiyelerde insan işçilerle birlikte var olan 3B baskı robotları, güvenlik ve üretkenliği sürdürmek için zamanlama ve montaj sırası bilgilerine ihtiyaç duyacaktır. Uygun 3B baskı teknikleri ve malzemeleri hala geniş araştırma çabalarının bir parçası olduğundan, inşaat endüstrisindeki ilk kullanıcıların uygulamaları, 3D baskının nasıl fayda sağlayabileceğini ve gelecekte bir noktada prefabrikasyon veya modülerleştirme gibi mevcut inşaat yöntemlerini tamamlayabileceğini gösterecektir. [66]

4.1.9. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)

Bir önceki bölümde bahsedilen Yapı bilgi modellemesi (BIM) dünya genelinde, son 20 yılda tasarım ve inşaat ekipleri için güçlü bir süreç olarak kendini kanıtlamıştır. Koordinasyonu ve çakışma tespitini iyileştirmek, riski azaltmak ve zamanlamayı ve sıralamayı geliştirmek, BIM'in daha iyi bilinen faydalarından bazılarıdır. Bununla birlikte, inşaat yaşam döngüsü boyunca endüstrinin BIM uygulaması hala nispeten parçalıdır. BIM tasarımda standart olsa da inşaat öncesi, şantiye inşaatı ve işletme ve bakımda tam olarak kullanılmamaktadır. [42]

Pazara daha fazla teknoloji girdikçe ve BIM için yeni kullanım senaryoları keşfedildikçe, tüm inşaat yaşam döngüsünde modellerden daha fazla yararlanma potansiyeli her gün artmaktadır. Ancak, AMER Lideri Jeremy Thibodeau'ya göre, BIM teknolojisinin bazı gösterişli olasılıklarının dikkatini dağıtmak kolaydır. BIM'in geleceği heyecan verici olsa da Thibodeau Digital Builder için verdiği bir röportajda bu düşüncesinin sebebini, birçok kişinin düşündüğünden çok daha pratik bir nedenden dolayı olduğunu şu şekilde açıklamıştır:

“Birçok kişinin düşündüğünden daha pratik bir sebepten ötürü aslında sistemin özüne kadar özetlerseniz, BIM bir iletişim aracıdır. BIM'in geleceği, işbirliğini geliştirmek için tüm aşamalarda modeli kullanmayı içerir. Sanırım sektör bir bütün olarak bundan en fazla değeri elde ediyor. Tüm proje yaşam döngüsü boyunca bu iletişim aracını kullandığınız sürece, bu yatırımın değeri ve getirisi çok büyük olacaktır. ”

Nihayetinde, BIM'in geleceği bağlantı oluşturmakla ilgilidir ve hatta bu sebepten ötürü de genellikle "Connected BIM" olarak anılmaktadır. Bu, bulut teknolojisi aracılığıyla bağlantılı model tabanlı bir süreci yalnızca tasarımda değil, yapım öncesi boyunca, inşaat sırasında, kapanış sırasında ve hatta operasyonlar ve bakım sırasında sahada kullanmak anlamına gelmektedir. Autodesk Construction Cloud'un piyasaya sürülmesiyle, "Connected BIM" zaten her zamankinden daha erişilebilir hale gelmiştir. İnşaat projesi paydaşlarının karşılaştığı en önemli zorlukları ele alan entegre yazılımla proje yaşam döngüsü boyunca ofis, konteyner ve sahayı birbirine bağlanabilecektir. Autodesk Construction Cloud da bu gelişim sonunda, proje ekiplerinin, bina operasyonları boyunca tasarım ve inşaat sırasında oluşturulan BIM varlık verilerini kullanmasına ve bağlamasına olanak tanıyacaktır. [20]

Bütün bu elimizin altında olan teknoloji, projelerin işleyişinde çığır açsa da eğer devamlı ilerleyebilmek ve gelişebilmek istiyorsak bunun için var olan bütün sektörleri sürdürülebilir yapmak da en önemli şartlardan biridir.

4.1.10 Sürdürülebilir İnşaat

Yeşillenme kavramında yeni bir şey olmasa da sürdürülebilirlik odaklı teknoloji, inşaat sektörü olgunlaştıkça ve modern düzenlemelere ve tüketici taleplerine uydukça gelişmektedir. Yeşillenmek, toplumun bildiği üzere; azaltmak, yeniden kullanmak ve geri



Resim 17: İnşaat sektöründe yeşil binalardan yararlanmak

dönüştürmek anlamına gelmekteydi. Bu felsefe yeşil harekette hala var olsa da, düşük karbon yayan yakıtlar, sürdürülebilir enerji kaynakları ve süper dayanıklı çelik ve beton gibi oldukça gelişmiş malzemeleri içermektedir.

Net Sıfır veya Sıfır Enerji, inşaat sektörünü değiştiren başka bir gelişmedir. Enerji tasarruflu olan bu binalar elektriksel olarak şebekeden bağımsız olmayı hedeflemektedir ve bunu güneş teknolojisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile iç enerji üreterek elde etmeyi planlamaktadır. Son derece gelişmiş yalıtım ve cam malzemeleri aynı zamanda enerji tüketimini azaltmaya katkıda bulduklarından da sıfır enerjili binalar, gezegendeki en yeşil ve en sürdürülebilir yapılar arasındadır.

Sürdürülebilir inşaat ise, proje sahiplerinin ve yöneticilerinin çok ciddiye aldığı bir sorumluluktur. Sürdürülebilir bir ortamda çalışmak, uzun vadeli işletme giderlerini azaltabilecektir. Hatta yeşil teknoloji bütün otonom vb. araçlar için benimsetilebilecektir. [39] Önümüzdeki 5-10 yıl içinde ortaya çıkacak yeşil teknoloji ilerlemeleri, yeşil binaların gelecekteki seyrine yön verecektir.

Odak noktası, gelecek için binalar tasarlama ve inşa etme şeklimizde gerçek değişiklikler yapmak olmalıdır. Hava temizleme malzemeleri gibi gelişmeler iç ve dış ortamlarımızı daha sağlıklı hale getirecektir.

Mikro şebekeler, net sıfır binalar ve elektrik üreten pencereler, kömür ve diğer sera gazı yayan enerji kaynaklarına olan bağımlılığımızı azaltmaya yardımcı olacaktır. Akıllı cam, iç ortamlarımızı daha konforlu ve ısıtmak ve soğutmak için daha ucuz hale getirmeye yardımcı olarak enerji ve para tasarrufu sağlayacaktır.

Gelecekte sürdürülebilirlik yeni yapılar için bir zorunluluk haline geldiğinden, hayal bile edilemeyecek inşaat teknikleri popülerlik kazanacaktır. İç ortam sıcaklıklarını kendi kendine düzenleyen duvarlar, canlı ağaçlardan yapılmış binalar ve biyoluminesan aydınlatma çözümleri gibi çözümler gelecek için insanlara umut vermektedir.[26]

4.2. Yeni Teknoloji ve Güncel Teknolojinin Birleşimi

Dünya genelinde bir önceki bölümde yer alan araçlar en temel hallerinde kullanılsa da bu teknolojilerin eleştirilmesi esnasında başka yeniliklerden de yardım alınması, araçlara birden fazla basamak atlama imkânı da sağlamıştır. Yeni teknoloji kavramının gelmesi ile (IoT, AI, HCI, RFID, CPS vb) bir üst versiyonları ile yükseltilmeye ve geliştirilmeye çalışılan teknolojik aletlerin farklı kullanım alanlarının da olabileceği ve yeni kullanım alanlarının da kendi içlerinde geliştirilebileceği de fark edilmiştir.

4.2.1. Arttırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik (AR/VR)

'Arttırılmış Gerçeklik / Sanal gerçeklik', dünya çapında ilgi gören en yeni teknolojidir. Bu teknoloji, Mühendislik ve İnşaat endüstrisindeki sektörler arasında çeşitli bölgelerde başarıyla uygulanmıştır. Avrupa Birliği, ABD ve diğer çeşitli gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki inşaat firmaları, endüstride sanal gerçekliğin uygulanmasına aktif olarak dahil olmuştur. Bir diğer deyişle arttırılmış gerçeklik (AR) / sanal gerçeklik (VR), inşaat öncesinde planlanan yapının, projenin görselleştirilmesine yardımcı olan güçlü bir teknolojik araçtır.[67]

Sanal gerçeklik, çeşitli donanım ve yazılım türleri kullanılarak yapay olarak oluşturulmuş bir ortamdır. VR kullanıcısı, gerçek bir yapıya veya ortama benzemek için oluşturulmuş yapay bir ortam deneyimlemektedir. VR, bir bilgisayar veya haptik cihazlar, giyilebilir cihazlar ve hareketli görüntüleme ekranları gibi cihazlar kullanılarak görüntülenen, 3D olarak oluşturulan bir görüntüdür. [46]

Arttırılmış gerçeklik ise, dijital veriler ile kullanıcının gerçek ortamının birleşimidir. Bilgisayardaki dijital verileri yakalamak için bir AR uygulaması veya eklenti cihazı

kullanılır ve daha sonra mevcut bir ortamda görüntüler veya katmanlar oluşturmak için kullanılmaktadır.

Basit AR programları, kullanıcının konumunu belirlemek için küresel konumlandırma sistemini ve yönünü belirlemek için bir pusulayı kullanılırken karmaşık AR programları ise hareket tanıma, nesne tanıma ve makine görme teknolojilerinden yararlanmaktadır. VR ile AR arasındaki fark, VR'nin eksiksiz bir yapay ortam oluşturması, buna karşın AR'nin görüntüleri mevcut bir ortama yansıtmasıdır.

Küresel inşaat sektörü, bu raporda birçok kez bahsedildiği gibi yeni teknolojileri benimseyen son sektörlerden biri olmuştur. Bununla birlikte, yine de geçmişte bazı teknolojiler endüstrinin yenilikçi çağa dönüştürülmesine yardımcı olmuştur. Buna verilecek bir örnek de proje tasarımı yürütmek için daha önceden de dile getirilen BIM sisteminin benimsenmesidir.

BIM, kullanıcıların henüz var olmayan bir alanda sanal olarak gezinmelerine izin vermektedir, ancak günümüzde bu tam olarak sürükleyici değildir. Çok da uzak olmayan bir gelecekte, mimarlar, mühendisler ve tasarımcılar, gelecekteki binaların dijital yollarını yürütmek için artırılmış gerçeklikten (AR) çok daha yaygın bir şekilde yararlanabileceklerdir. Bu, uzaydaki öğelerin bile daha kapsamlı bir görsel ve niceliksel analizini geliştirmelerine olanak tanıyacaktır.

BIM, küresel inşaat endüstrisine bir devrim getiren ve onu dönüştürmeye yardımcı olan bir teknolojidir. Ancak yukarıda belirtilen sebeplerden ötürü benzer potansiyele sahip en yeni teknolojinin AR / VR olması beklenmektedir. Bu teknoloji, gelecek için öngörülen bu potansiyelinden ötürü endüstrinin karşılaştığı birçok sorunun çözülmesine yardımcı olacağı gibi projelerin yürütülmesinde ve yönetiminde kolaylık sağlayacaktır. [46]

İnşaat endüstrisinin çeşitli sektörlerinde VR / AR'nin uygulanması, kavramsal tasarım, ayrıntılı tasarım, planlama ve inşaatın tamamlanması gibi inşaatın çeşitli aşamalarında projelerin verimli bir şekilde yönetilmesini sağlayacaktır. İnşaat sektöründe kullanılan geleneksel metodolojilerin iyileştirilmesi ve ileri teknolojilerin kullanılması, tasarım anlayışını ve çalışanların güvenliğini artıracak ve inşaat başlamadan önce proje değişikliklerini en aza indirecektir. Bu teknolojiler aynı zamanda inşaat sektörüne günlük operasyonları için ihtiyaç duyduğu verimlilik ve esnekliği sağlayacaktır. Bu şekilde genel kapsamlı incelendiğinde koordinasyon ve proje planlama, AR / VR teknolojilerinin verimliliği artıracığı ve en çok yardımcı olacağı alanlardır.

Fiziksel gereklilikler dışında maliyette etkin çözümlere olan artan ihtiyaç ve artan talep, bu alanda Ar-Ge'nin artmasına da yol açmış ve bu da olumlu senaryolar doğurmuştur. Ancak sanal gerçeklik sayesinde piyasadaki sıcak paranın akış potansiyeli de artacaktır. Bunun nedeni bir projenin bitmesini beklemeden sanal gerçeklik sayesinde bitiş ile ortaya çıkacak eserin alıcılar tarafından görülmesi konut ve binaların yapımı bitmeden de satış işlemleri gerçekleştirilebilecektir. Bu durum inşaat aşamasının bitmesi beklenilmeden inşaat sektörü içerisindeki sıcak para akışının sağlanması açısından büyük bir fark yaratacağı gibi, firma sahiplerinin yeni projeler için nakit ihtiyaçlarının karşılanması açısından oldukça büyük önem taşıyacaktır. Tasarlanan ve yapımı ile bitiş uzun bir tarihe tekâmül edecek olan yapımlar böylelikle daha erken tarihlere çekilerek inşaat sektörünün de gelişmesi sağlayacaktır. Yani bütün bu ihtimallerden yola çıkılırsa, BIM ve AR / VR teknolojilerinin entegrasyonu, maliyet, kalite ve zaman tasarrufunda düşüşe neden olacaktır. [73]

AR/VR gibi inşaat teknolojilerini bir üst seviyeye çıkarılacağına inanılan bir diğer konsept ise nesnelerin interneti (veya IoT) 'dir.

4.2.2. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti (IoT), insan müdahalesi olmadan kablosuz bir ağ üzerinden



Resim 18: Şantiyede AR kullanımı

veri toplayabilen ve aktarabilen birbiriyle ilişkili, internete bağlı nesnelere oluşan bir sistemi ifade etmektedir. Bu özellik daha önce AI, Makine Öğrenimi (ML), RFID ve LiDAR gibi ileri teknolojilerin çalışma prensibinde de görülmüştür. Örnek vermek gerekirse, dünyamızdaki birçok nesnenin bilgisayarlar tarafından kontrol edildiği bilinmektedir: arabalar, binalar, üretim makineleri ve hatta müzik aletleri de buna dahildir.

Bu durumlarda, bilgisayarlar aslında doğrudan fiziksel dünya ile etkileşime girmektedir. Bu nedenle internetin bilgisayar ortamıyla birleştiği platforma da "siber-fiziksel sistemler" (CPS) denmektedir. CPS birçok bireysel olarak gözlemlenilen ve gelişimlerine tanıklık edilen teknolojik alet ve sistemlerin bir arada kullanılmaları ile ortaya çıkmıştır. Bu sadece bu tarz entegre edilmiş gelişimlere bir örnektir.

İnşaat endüstrisinde telematik gibi yeni teknolojiler yıllardır büyümekte ve bu da daha iyi performans gösteren sistemlere ve daha az kesinti süresine yol açmaktadır. Bu da nesnelerin İnterneti (IoT) ifadesini, herhangi bir nesnenin veya makine bileşeninin çalışma koşullarını, performans seviyelerini veya fiziksel durumları izlemek için sensörlere sahip olabileceği anlamına yani bir diğer deyişle telematik anlamına gelmektedir. IoT'nin bu durumda nihai değeri ise, daha önce BIM de görüldüğü gibi şirketlerin sürekli iyileştirmeler yapmak için kullanabilecekleri verilerdir. Günümüzde işletmeler, IoT ve geliri artırma, işletme maliyetlerini düşürme ve verimliliği artırma beklentileri tarafından motive edilmektedir. [64]

Bir önceki bölümde de belirtildiği gibi inşaat şirketleri, dijital teknolojiye olan ihtiyacı ve potansiyeli açıkça kabul etmektedir. KPMG tarafından yapılan bir ankete katılan inşaat şirketlerinin%95'i, IoT dahil yeni teknolojilerin sektörlerini temelden değiştireceğine inandıklarını söylerken, %72'si de IoT uygulamaları da dahil olmak üzere yeni teknolojinin benimsenmesinin stratejik planlarının veya vizyonlarının bir parçası olduğunu söylemektedir. PwC, endüstriyel şirketlerin%98'inin IoT özellikli kestirimci* bakım (*Kestirimci bakım; ekipmanın ve bileşenlerinin sorun çıkarmadan önce durum izleme yoluyla arıza çıkarma ihtimallerini değerlendirmek ve önlem almaktır.*) veya AR gibi dijital teknolojilerle verimliliği%12'ye kadar artırmayı beklediklerini bildirmiştir. İnşaat, dijital teknolojinin kullanıldığı dönüşüm için olgunlaşmıştır ve hızlı hareket etmeyen şirketler geride kalma riskiyle karşı karşıya kalma riskindedir. [69]

IoT'nin geleceği sınırsız olma potansiyeline sahiptir. Artan ağ çevikliği, entegre yapay zeka (AI) ve hiper ölçekte çeşitli kullanım durumlarını devreye alma, otomatikleştirme, düzenleme ve güvence altına alma kapasitesi sayesinde endüstriyel internete yönelik gelişmeler hızlanacaktır. Potansiyeli, yalnızca milyarlarca cihazı eşzamanlı olarak etkinleştirmek değil, aynı zamanda çeşitli iş süreçlerini otomatikleştirebilecek devasa boyutlarda işlem yapılabilir veriden yararlanmaktır. Ağlar ve IoT platformları, artan kapasite ve yapay zeka aracılığıyla bu zorlukların üstesinden

gelmek için geliştikçe, hizmet sağlayıcılar BT ve web ölçeği pazarlarına daha da girecek ve yepyeni gelir akışları açacaktır. [18]

4.2.3. Yapay Zeka (AI) ve Makine Öğrenimi (ML)

Yapay Zeka günümüz teknolojisi bölümünde de bahsedildiği gibi bir çok sektörde halihazırda kullanılmakta olan en kapsamlı gelişmelerden biridir. Bir şantiye üzerinde bir insansız hava aracı uçurmak, iş yeri güvenliğini artırmak için çalışma programlarını optimize etmek veya tahminlere göre en iyi ayarı seçmek Yapay zeka (AI) sayesinde beklenilebilen bir şeydir.

Planlama sistemleri ve diğer ilişkili bilgilerle bağlantıların yanı sıra, örüntü tanıma ve geçmiş verileri kullanarak, AI'nın gelecekteki projeler için programları daha iyi yönetmeye yardımcı olduğu kanıtlanmıştır. Bu öngörücü bakım, maliyetli gecikmelerin ve arıza sürelerinin azaltılmasına yardımcı olabileceğinden bu durumun proje teslimini hızlandıracağı aşikardır. [52]

Yakın tarihli bir McKinsey çalışması, yapay zekanın inşaat teknolojisinin bir sonraki öncüsü olduğunu açıklamıştır. Şimdiye kadarki nispeten yavaş olan piyasa sunumuna rağmen, uzaydaki teknolojinin potansiyel geleceğinin, inşaat ve mühendislik firmaları, kendi rekabet tehlikeleri nedeniyle ortaya çıkışını görmezden gelmeye çalışmaktadır. Bu sebepten ötürü, gelecekteki ekosistemlerde bir rol oynayabilmek ve pazara yeni girenlerle rekabet edebilmek için bütün mühendislik sektörlerinin yapay zeka uygulamalarını ve tekniklerini benimsemesinde yetişmesi gerekecektir. [8]

Yapay Zeka başlığı altında daha önceden bahsettiğimiz BIM sistemine tekrar dönülecek olursa, BIM, bir inşaat projesine dahil olan herkesin devam eden tüm proje bilgilerine tek bir tasarım platformundan erişmesine olanak tanıyan bir platformdur. Mevcut materyaller arasında 3 boyutlu devam ettirilebilir tasarım artı tüm planlama ve finansal bilgiler bulunur.

Yapay zeka sayesinde, karmaşık tesisat, mekanik ve elektrik işleri bile 3B modelleme tasarımında teorileştirilebilir, bu da lojistik zorlukların inşaat aşamalarında planlama, zaman ve maliyet tasarrufu sırasında üstesinden gelinebileceği anlamına gelmektedir.

Yapay zekanın ana bileşenlerinden biri makine öğrenimi (ML), yani teknolojinin sınırsız miktarda veriyi alıp algoritmalar olarak ondan öğrenebilme yeteneği ve temel

mesajları ele alıp gelecekteki projeler için iyileştirmeler önermek için deneme yanılma kullanma sürecidir. Bu nedenle, inşaat şirketleri için kilit nokta, her proje için olabildiğince fazla veri bankacılığı yaparak ve mümkün olduğunca çok bilgi edinerek yapay zeka elde etmektir. Bu sayede, gelecekteki projeleri planlarken, işletmeler zaman dilimlerini daha iyi değerlendirebilecek ve projeleri tamamlamak için gereken çalışan sayısı ve ürün stoğu hakkında daha doğru iç görüler elde edebileceklerdir. Bu da sonuç olarak israfi en aza indirecek, maliyetleri azaltacak ve projeleri daha verimli hale getirecektir.

Makine öğrenimi, ticari kârların ötesinde aynı zamanda faydalar da sağlamaktadır. Yapay zekanın en eski getirilerinden biri, belirli bir olay veya ürünün örneklerini tespit etmek için verileri kullanmaktır. Bu makine öğrenimini de neredeyse her gün otomatik spam e-posta algılama gibi bir teknoloji biçiminde deneyimlemekteyiz, ancak teknoloji ilerledikçe yeni uygulamalar da hayata geçirilmiştir. Artık, canlı video ve görüntü algılama kullanılarak makine öğrenimi, sahada uygun sağlık ve güvenlik ekipmanı takmayan çalışanlar veya iskele yapıları veya binalardaki tehlikeli boşluklar gibi inşaat tehlikelerini gerçek zamanlı olarak öğrenmek ve tespit etmek için kullanılabilir. Bu tarz yöntemlerin daha da ilerletilmesiyle Yapay Zeka, daha güvenli bir saha sağlamak için gerçek zamanlı olarak tehlikeleri belirleyebilecek ve çalışanları uyarabilecektir.

Tüm bunların yanı sıra, verimli inşaatın büyümesi, güçlü 5G ağları tarafından kolaylaştırılacaktır. Büyük ağlar şu anda piyasadaki bu en son teklifi almak için yarışmaktadır ve bununla birlikte inşaat şirketlerinin uzaktan makine operasyonu yürütme imkanı yavaş yavaş yaygınlaşacaktır. [30]

Son olarak, İnşaat şirketleri satış ve pazarlama faaliyetlerini çevrimiçine taşımaya devam ederken, en iyi dijital hizmetleri sağlamak, şirketlerin rekabette öne geçmesini sağlayacaktır. Gelecekte, Yapay zekayı müşteri anlayışını geliştirmek ve özel ürün ve hizmet teklifleri sağlamak için bir araç olarak benimseyenler sektörde bir adım öne geçebileceklerdir.



Resim 19: Üretimde yapay zeka

4.2.4. Bulut ve Büyük Veri

Bulut teknolojisinin, inşaat sektörünün önde gelen firmalarının çoğu için önemli bir etmen haline gelmesi artık şaşırtıcı bir haber değildir. Bulut çözümleri sadece inşaat sektöründe değil bütün sektörlerde, veri depolama ve analiz söz konusu olduğunda güçlü bir esneklik sunmaktadır. Ama özellikle, bulut, inşaat firmalarının hem sahadan hem de ofisten kolayca erişilebilen tek ve güvenilir bir veri tabanı tutmasını mümkün kılmaktadır. İnşaat sektörünün en az dijitalleşen sektörlerden biri olmaya devam ettiği düşünüldüğünde, daha önceden de belirtildiği gibi firmalar bulutun benimsenmesiyle büyük bir avantaj elde etmektedir.

Firmaların, büyüme tahminlerinin yanlış çıkması durumunda aşırı donanım satın almaları da mümkündür. Kullandıkça öde bulut hizmetleri bu sorunu ortadan kaldırıp şirketlerin iş arttıkça veya azaldıkça depolama planlarını değiştirmelerine olanak tanıyacaktır. Sonuç olarak, inşaat firmaları daha sorunsuz ve daha az riskle ölçeklendirmek için gelecekte de aktif bir şekilde bulutu kullanacaklardır.

Sunucusuz mimari, Bulut Teknolojisi altyapısının daha esnek ve duyarlı olmasına olanak tanıyacak veri güvenliğinin, katlanarak artması beklenmektedir ve IoT teknolojisindeki gelişmeler, işletmelere veri tabanları, yazılımlar ve ağlardan yararlanmak için yeni yollar sağlayacaktır. Önümüzdeki yıllarda bulut teknolojisi ilerledikçe, tüm işletmelerin buluta geçiş yapması beklenmektedir, yani bir diğer bir deyişle, artık beklenen tam anlamıyla buluta geçiş bir olup olmayacağı değil, ne zaman olacağıdır.[25]

Diğer taraftan, Büyük veri, gerçek zamanlı olarak güvenilir finansal veriler ve karmaşık analizlerin derlenmesini sağlamaktadır ve bu teknoloji, inşaat şirketlerinin bilgileri hızlı bir şekilde incelemelerine ve herhangi bir problem karşısında onları uyarmalarına yardımcı olacaktır.

Görüldüğü gibi, Büyük Veri ile Bulut Bilişimi birleştiğinde sonsuz olasılık vardır. Yalnızca Büyük Veriye sahip olsaydık, ortada sadece öylece duran büyük miktarda potansiyel değeri olan devasa veri kümelerimiz olurdu. Bilgisayarlarımızı bunları analiz etmek için kullanmak ise, alacağı zaman nedeniyle ya imkansız ya da pratik olmayacaktı.

Ancak Bulut Bilişim, son teknoloji altyapı kullanıldığında, yalnızca kullanıldığı zaman ve miktar (veya güç) için ödeme yapılmasına olanak tanımaktadır Bulut uygulaması geliştirmede Büyük Veri tarafından desteklenmektedir. Büyük Veri olmasaydı, bulut tabanlı uygulamalar günümüzde maalesef çok daha az sayıda olurdu, çünkü bu durumda

onlara gerçekten bir ihtiyaç olmayacaktı. Bu durumda şu unutulmamalıdır ki, Büyük Veri genellikle bulut tabanlı uygulamalar tarafından da toplanmaktadır.

Yani kısacası, Bulut Bilişim hizmetleri büyük ölçüde Büyük Veri nedeniyle mevcuttur. Aynı şekilde, Büyük Verilerin toplanmasının tek sebebi, verileri alıp genellikle birkaç saniye içinde deşifre edebilen hizmetlere sahip olmamızdır. İkisi sistem de birbirleriyle sistematik olarak uyumlu çalışmaktadır.

Son olarak hem Büyük Veri hem de Bulut Bilişimin dijital toplumumuzda büyük bir rol oynadığına dikkat etmek önemlidir. Birbirine bağlı bu ikisi, harika fikirleri olan ancak sınırlı kaynakları olan insanlara iş başarısı için bir şans verebilmektedir.

Ayrıca, Bulut altyapısının yapay zeka (AI) gibi tipik "Hizmet Olarak Yazılım" modelinin daha modern bileşenleri, işletmelerin topladıkları Büyük Verilere dayalı içgörüler elde etmesine de olanak tanımaktadır. Gelecekte iyi planlanmış bir sistemle, işletmeler tüm bunlardan cüzi bir ücret karşılığında yararlanabilecek ve bu yeni teknolojileri kullanmayı reddeden rakipleri geride bırakabileceklerdir. [60]

4.2.5. Akıllı Bina

Şehirler genişlemeye ve yoğunlaşmaya devam ederken, insanlar daha küçük yaşam alanlarından nasıl daha akıllıca yararlanılacağını keşfetmeye devam etmektedir. İnsanlar, koronavirüs sebebiyle son zamanlarda devamlı evlerinde oldukları için, günlük seçimlerinin yarattığı çevresel etkiye dair artan bir bilinç vardır. İnsanların çoğu artık yaşadıkları yeri aynı zamanda ofis olarak da kullandıkları için yaşadıkları yer hakkında daha özverili hareket etme istemektedir ve bu sebepten ötürü de çoğu inşaat firmasının sürdürülebilir yaşam arayışında, yeşil enerjinin toplanmasının norm olduğu bir net sıfır operasyon elde etme hedefi vardır. En basit tanımıyla, net sıfır alan, tükettiği kadar yerel enerji üreten bir sistemdir. [65]

Enerji verimliliği teorik olarak düşünülmesi gereken tek şey olsaydı, en verimli konut, yeraltında yalıtılmış, penceresiz bir kutu olurdu. Ancak bu gerçekçi değildir ve en sağlıklı yaşam koşullarına ulaşmak için yapı malzemeleri ile tasarım arasında bir uyumun var olması gerekmektedir.

En son teknolojiden yararlanmak, Akıllı binaların faydalarını gerçekleştirmek için çok önemlidir. IoT, yeni nesil akıllı Bina Yönetim Sistemleri (iBMS) ve yeni cihaz protokolleri gibi gelişen teknolojiler, binaların tasarlanma, inşa edilme ve çalıştırılma şeklini temelden değiştirecektir. Tabii bu süreçte gayrimenkul geliştiricilerinin bu teknolojileri ve bunların işyerleri ve binalar üzerinde ne gibi etkileri olacağını anlamaları gerekmektedir. [65]



Şekil 5: Akıllı bina konsepti KNX Sistemi

Daha önce de belirtildiği üzere, IoT, cihazların sensörle etkinleştirildiği, bağlandığı ve mevcut durumları ve ortamları hakkında İnternet üzerinden bilgi paylaşabildiği bir dünyayı tanımlamak için kullanılan terimdir. Arabalardaki sensörler, petrol boruları, enerji sayaçları ve giyilebilir cihazların tümü, zaten milyarlarca cihazı birbirine bağlayan genişleyen IoT ekosisteminin bir parçasıdır. [70]

Yurtdışında bazı firmalar, jet motorlarının performansını uzaktan izlemek için sensörler kullanmaktadır, bu da firmanın küçük arızaları büyük arızalar haline gelmeden önce tespit edip bunlarla başa çıkmasını sağlamaktadır. Günümüzde ise bazı binalarda, bina sistemlerinin performansını yönetmek için benzer sensörler kurulmaya başlamayı hedeflemektedir.

Daha hızlı bağlantı ve bulut bilişimdeki gelişmelerle birleştiğinde, IoT, işletmelerin çalışma şeklini dönüştürme potansiyeline sahiptir. McKinsey Global Institute, 2025 yılına kadar IoT teknolojileri uygulamalarının küresel ekonomiye potansiyel olarak 11 trilyon dolar değerinde bir ekonomik etkisi olacağını tahmin etmektedir. Hatta yakın geleceğin ofis binalarında, bireysel aydınlatma armatürlerinin performansından çalışanların sağlık ve refahına kadar her şeyi izleyen binlerce sensör kurulacağı düşünülmektedir. [70]

Aslında, IoT'nin gerçek vaadi, bağılı cihazlar tarafından yakalanan verilerin yalnızca çeşitli cihazların performansını ve çevreleriyle ilgili bilgileri raporlamak için değil, aynı zamanda gelecekteki koşulları doğru bir şekilde tahmin etmek için de kullanılabilir olacak olmasıdır. IoT sensörlerinden gelen artan veri hacimleri, bina operasyonlarını daha da dönüştürecek yeni bilgi işlem türlerinin geliştirilmesini hızlandırmaktadır. Örneğin sinir ağları, insan beyninin yapısını taklit edecek şekilde düzenlenmiş birbirine bağılı işlem birimleri ağlarını kullanan yeni gelişen bir teknolojidir. Bir sinir ağında çalışan yazılım, gelecekteki olayları tahmin etmeyi öğrenmek için büyük tarihsel veri kümelerindeki kalıpları ve eğilimleri belirleyebilmektedir. Uzman sinir yazılımı, bina sensörlerinden gelen verileri analiz ederek ve bunu harici verilerle birleştirerek, belirli bir günde kaç bina kullanıcısının bulunacağını tahmin edebilecek ve hizmetleri buna göre optimize edebilecektir. [70]

Sinir ağlarının önemli bir uygulaması, AI in entegrasyonundan gelen, yazılımın doğal dilde konuşulan komutları anlamasını ve bunlara yanıt vermesini sağlayan doğal dil oluşturmasıdır. Bu teknoloji geliştikçe, kullanıcıların bugün Apple'ın Siri'si veya Google'ın Asistanıyla olduğu gibi etkileşimde bulunabilecekleri binalarda sanal kapıcıların yükselmesini sağlayacaktır. Bu sanal konsiyerjler, bina kullanıcılarının meslektaşlarını izlemelerine, toplantı odaları rezerve etmelerine veya çalışma ortamını kontrol etmelerine yardımcı olmak için kullanılabilir. [40]

Bir başka özellikse yukarıda bahsedilen İBMS tarafından üretilen operasyonel verimlilikler; kamu hizmeti tüketimi, genel yönetim giderleri ve bina uyarlamaları gibi alanlarda işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilme potansiyeline sahiptir. Ayrıca, İBMS kontrol yazılımı, bina yöneticilerinin aydınlatma, güvenlik, HVAC, asansör, güç ve diğer bina sistemlerindeki cihazları gerektiği gibi izlemesine, ayarlamasına ve yeniden yapılandırmasına olanak tanıyan tek bir kullanıcı ara yüzünde tüm bina sistemlerini bir araya getiren basit, görsel bir çözüm sağlayabilecektir. [40]

Fakat bu avantajların devamlılığını sürdürebilmesi için aşılması gereken bazı pürüzler de vardır. Örneğin günümüzde, akıllı bina teknolojisinin benimsenmesinin önündeki en büyük engellerden biri, farklı bina sistemleri arasında birlikte çalışabilirlik eksikliği olmasıdır. Ama bu teknolojinin ilerlemesiyle veyahut bulut sistemi gibi yeni teknolojilerin aktif entegrasyonu bu tip problemlerin önüne geçileceğine inanılmaktadır. [40]

Sonuç olarak, Akıllı bina sistemleri ve IoT teknolojilerinin yeni uygulamaları geliştirildikçe, akıllı binaların geleneksel binalara göre sunduğu avantajların sayısı da artacaktır. Akıllı binalarda kullanılan akıllı enerji yönetimi çözümleri, yalnızca tüketicilere değil, ulusal şebekelere net enerji tedarikçisi olmalarını da sağlayabilecektir. Bu çözümlerin uygulanması, binaların karbonizasyondan arındırma hedeflerine ulaşmasını sağlayacak ve enerji arzının talebe ayak uydurmasını sağlayacaktır. Bina sistemleri tarafından sağlanan eyleme dönüştürülebilir zeka, ki bunun temel kaynağı Yapay zekadır (AI), akıllı bir binanın iBMS'inin arızalı ekipmanı veya savurgan uygulamaları tespit ederek işletme ve bakım maliyetlerini azaltabileceği anlamına gelecektir. Hatta güvenlik bakımından düşünülürse, yüz tanıma ve video analizi gibi akıllı güvenlik teknolojileri, binanın kullanıcıları tanımlamasına ve bina sakinlerinin güvenliğini sağlamasına olanak tanıyacaktır. Akıllı bina teknolojilerine yatırım, inşaat sektörü, emlak sektörü, kiracılar ve ev sahipleri için bir dizi avantaj sunacaktır. [55]



Şekil 6: Akıllı Bina Yönetimi - Akıllı Şebekem.com

4.2.6. Yeşil Binalar

Yukarıda da bahsedildiği gibi, Akıllı binalar, elektrik ve su kullanımını dikkatlice izlemek ve optimize etmek için teknolojiyi kullandığından enerji açısından son derece verimlidir. Elektrik şebekelerini çalışır durumda tutmak ve ulusal hükümetler tarafından belirlenen iddialı karbonizasyondan arındırma hedeflerine ulaşmak için akıllı binalar hayati önem taşıyacaktır.

Avrupa ve Kuzey Amerika, artan talebi karşılamak için önemli yatırımlar gerektiren ve hizmet şirketlerine operasyonel verimlilikleri artırmaları veya enerji sağlamanın daha iyi yollarını bulmaları için baskı uygulayan yaşlanan bir ulusal elektrik

altyapısı tarafından desteklenmektedir. Bunun yanı sıra, en az 67 ülkede elektrik şirketlerinin enerji satışlarının belirli bir bölümünü temiz kaynaklardan sağlamalarını gerektiren karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik yasal hedefler benimsenmiştir. Örneğin Avrupa Birliği, 2020 yılına kadar enerjinin %20'sini yenilenebilir kaynaklardan üretmeyi hedeflerken [40] 2030 için bunun %40'ı görebilmesi çok yüksek bir ihtimaldir.

Yeşil bina yelpazesi tam da bu sebeplerden ötürü sınır tanımamaktadır çünkü yeni geleceğin temel taşının sürdürülebilirlik olduğuna inanılmaktadır. Nesnelerin İnternetinden, ahşaptan yapılmış şeffaf cama kadar, inşaat sektörünün bu alanda birçok potansiyel seçeneği bulunmaktadır. Bunlardan biri bitki örtüsüne dayalı çatı kaplamasıdır. Yeşil çatılar genellikle sürdürülebilir olduğu kadar estetik bir seçimdir. Yeşillik, insanları çalıştıkları veya yaşadıkları binalarda rahat ve rahat hissettirir. Bitki ve çiçeklerin görünümü, bir yapının kaldırım çekiciliğini artırır. Bu bitki örtüsü ayrıca iç ortam sıcaklıklarını düşürebilirken elektrik faturalarını azaltan yalıtım da sağlayabilmektedir.

Sonuç olarak sürdürülebilirlik yeni yapılar için bir çeşit zorunluluk haline geldiğinden, daha birçok hayal bile edilemeyecek inşaat teknikleri popülerlik kazanacaktır. Yani bir önceki bölümde de değinildiği gibi; iç ortam sıcaklıklarını kendi kendine düzenleyen duvarlar, canlı ağaçlardan yapılmış binalar ve biyolüminesan aydınlatma çözümleri hızla ufukta yaklaşmaktadır.

İlerde oluşturulacak başarılı tasarımlar, bir veya iki bölümden ziyade binanın tamamını kapsamalıdır çünkü havalandırma sistemlerinden döşemeye kadar sürdürülebilir olması için yapı bütünsel olarak yeşil olmalıdır. [26]

Şirketler, LEED ve Green Globes gibi yetkili kuruluşların kriterlerini öğrenerek gelecekteki projeleri için yeşil sertifika bile isteyebileceklerdir çünkü sertifika kazanmak, yapının sürdürülebilir etiketini sağlamak için belirli kurallara uyulduğunun bir kanıtı olacaktır.

Bununla birlikte, küresel ısınma konusundaki aciliyet arttıkça kriterlerin değişmesi şaşırtıcı değildir. Denenmiş ve doğrulanmış standartlar bile, gezegenin sürekli değişen ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde gelişmelidir. Şirketler çevrecilerle yeni stratejiler üzerinde çalışmaya istekli oldukları sürece, sürdürülebilir bina teknikleri inşaatın geleceğini oluşturacaktır. [26]



Resim 20: Yeşil Bina konseptleri (U.S. Environmental Protection Agency, 2017)

4.2.7. Akıllı Malzemeler

Akıllı yapı malzemeleri, durumlarındaki değişikliklere tepki verme yeteneğine sahip olan ve maruz kaldıkları ortam değişikliklerine ve çevrelere faydalı ve kontrollü bir şekilde yanıt verebilen malzemelerdir. Akıllı malzemeler, sıcaklık, pH, elektriksel veya manyetik alan, stres, nem, basınç ve oksijen varlığı gibi çevresel uyarılara yanıt verecek şekilde tasarlanmıştır. [33]

Toplum daha teknolojiye dayalı bir geleceğe doğru ilerlemeye devam ederken, yeni şirketler yapı malzemelerine akıllı yetenekler eklemektedir. Bu gelişmeler, binaları ve diğer yapıları daha güvenli, daha dayanıklı ve teknolojik olarak yetenekli hale getirmeyi amaçlamaktadır. Şu anda, uygulanabilir kullanımlarla birlikte geliştirilmekte olan çok sayıda akıllı malzeme bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak; akıllı beton, akıllı cam, şekil değiştiren metal ve kendi kendini iyileştiren kaplamalar verilebilir.

Bir yapı ister konut ister endüstriyel veya ticari kullanım amaçlı olsun, beton herhangi bir binanın gerekli ve kritik bir bileşenidir. Akıllı beton, Buffalo'daki New York Eyalet Üniversitesi'nden yeni bir gelişmedir ve yalnızca geleneksel betondan daha güçlü olmakla kalmayıp, aynı zamanda beton yapı bozulmadan önce gerilim ve hasar gözlemi için kablosuz olarak da izlenebilmektedir. Yani akıllı beton ile manuel incelemeye veya pahalı gömülü sensörlere gerek kalmamaktadır. Bu yeni beton bileşimi, voltaj monitörleri kullanılarak hasarın olduğu veya meydana gelmesi muhtemel alanların tespit edilmesine yardımcı olabilmektedir. Monitörler ise, sonuçta daha güvenli ve daha uygun maliyetli olan zamanında onarımlara olanak sağlayacaktır.

Bu akıllı betonun suyla temas ettiğinde kendi kendini iyileştirebilen bir versiyonunu yaratmaya çalışan güncel gelişmeler bile vardır. Örneğin akıllı yapılarda kullanılabilinen bir akıllı beton (karbon fiber ve beton bileşiği) ince yapısal çatlakları / kusurları tespit edebilmektedir. Geleneksel betondan farklı olarak, bu akıllı beton daha yüksek bir yük kapasitesine ve daha fazla dayanıma sahiptir. Elektromanyetik siperlenmede ve betonun geliştirilmiş elektriksel iletkenliği için de kullanılabilir. Yükleme ve boşaltma işlemi altındaki gevşek beton, gelişmiş kapasitesini kaybedebilir ve kısa bir süreliğine iletkenlik geri yüklenebilir, bu durum hem yapısal bir malzeme hem de bir sensör görevi görmektedir.



Resim 21: Kendi çatlaklarını iyileştirmeden önce akıllı beton

Akıllı beton, bir trafik sensörü kaydedici olarak yol kaplamalarının yapımında hayati bir rol de oynayabilmektedir. Hatta kışın kar yağışı sırasında otoyollarda ve havaalanlarında düşük voltajlı bir akım geçirerek karı eritebilme yetisine sahiptir. Akıllı beton gerekli malzeme ile önceden karıştırıldığı için özel bir kurulum veya ilave gerektirmediğinden bu tip betonun uygulamaları sonsuz olarak da gerçekleştirilebilmektedir.

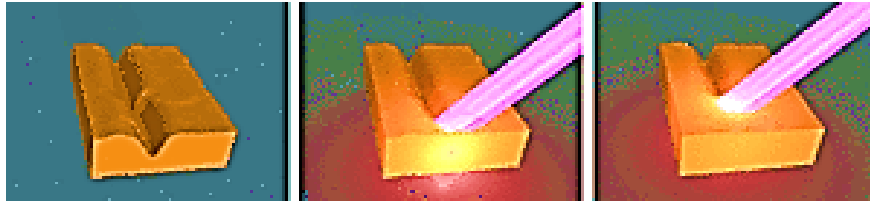
Akıllı cam ise, cam panellerin voltaj, ısı veya ışık değişikliğine bağlı olarak iletim özelliklerini değiştirmesini sağlayan yeni bir teknolojidir. Yüksek miktarda ışık uygulandığında akıllı cam kendi kendine kararabilir ve şeffaftan yarı saydamlığa geçiş yapabilir. Camın çeşitli etkilere tepki verebileceği düşünüldüğünde, bu durum akıllı malzemeyi inşaat amaçları için ideal kılmaktadır. Bu cam, iklime tepki verme ve elektrik, ısı, klima ve hatta geleneksel panjur ve perdeleri satın alma ve bakım maliyetlerinden tasarruf etmek için buna göre uyarlama dinamik yeteneği ile statik bina zarflarının yerini almak için kullanılabilir. Bu sistemin yaygınlaşması ekonomik açıdan büyük etkiler yaratacaktır.



Resim 22: Akıllı cam, iklime uyum için ışık iletimi üzerinde kontrol sağlar

Kendi kendini iyileştiren kaplamalar, her türden bina yapısını büyük ölçüde etkilemek için devrim niteliğinde bir ürün setidir. Bu kaplamalar, çeşitli malzemelere doğrudan uygulanabilen ve ısı, ışık veya sudan etkilendiğinde kendi kendini onaran polimer bazlı bir üründür. Bu kaplamaların en ilginç yanı, mevcut yapılar üzerinde kullanılabilmeleri ve metal, seramik, boya, cam, hatta beton gibi malzemeler için kendi kendini iyileştirme özellikleri yaratabilmeleridir.

Kaplamalar, çizikler, çatlaklar gibi hasarı doğal olarak düzeltebilen ve hatta korozyon önleyici özellikleri kullanan bina zarfları oluşturmak için kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Bu tür kaplamaların uygulanması, mülk sahipleri veya yöneticileri için onarım ve bakım maliyetlerinde potansiyel olarak çok fazla meblağlarda fark sağlayabileceklerdir.

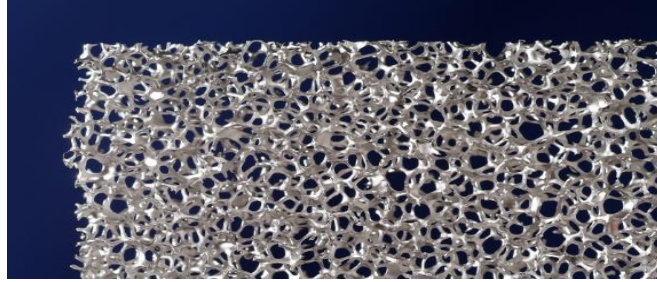


Resim 23: Kendiliğinden onarılan kaplama şematığı (Adolphe Merkle Enstitüsü, Case Western Reserve Üniversitesi, ABD Ordusu Araştırma Laboratuvarı/Marc Pauchard)

Yukarıdaki örnekler gibi akıllı malzemelerin pazara sunulmasıyla birlikte daha güvenli, daha güvenilir ve daha dayanıklı yapılar için doğru yolda olduğuna inanılmaktadır. Çünkü bu yapılar, elemanlara uygun şekilde yanıt verebilmektedir, kendilerini takip edip onarabilmektedir, restorasyon alanında düşünülürse de eski bina bileşenlerine ve inşaat biçimlerine faydalı alternatifler sağlayabilme potansiyeline sahiptirler. [48]

Son olarak Şekil değiştiren metallere bahsedecek olursak, Şekil değiştiren metallere büyük bir strese maruz kaldığında geçici olarak Şekil değiştirebilmekte olan, ancak orijinal biçimlerini 'hatırlamak' ve bir Şekilde değiştirilirse ona geri dönmek için tasarlanmış olan bir akıllı malzemedir. Örneğin bir köprünün yapımında kullanılması, köprünün kasırğa veya depremden kaynaklanan hasarlara karşı korunmasına yardımcı olacaktır. Bu tür metalin pratik kullanımını büyük ölçüde hala geliştirme aşamasındadır ve bilim adamları, özellikle inşaat endüstrisi tarafından akıllı metalin nasıl kullanılabileceğini araştırmaktadır. Shape Change Technologies LLC gibi Şirketler mühendisler tarafından kullanılmak üzere keşiflerini genişletme amacıyla tıp camiası tarafından halihazırda kullanılan gelişmelerle sektöre liderlik etmektedir. [67]

Gelecekte bir çeşit Şekil değiştirebilen metalin (yandaki Şekilde görülen) dronlar için kullanılabileceği fikri de düşünülen yeniliklerden biridir. Şu zamana kadar uyarlanmış bütün teknolojik ürünler düşünüldüğünde bu yeniliğinde bir gün inşaat sektöründe görülmesi yüksek bir ihtimaldir. [19]



Resim 24: Şekil değiştirebilen metal (DS Drones)

4.3. İnşaatın Geleceği

Şu anda mevcut olan teknolojiye ve gelecekte grlebileceklere dayanarak, inşaat sektörünün geleceği hakkında bazı oluşturulmuş tahminler mevcuttur:

4.3.1. Gelecekte Beş Yıl:

- İyileştirilmiş güvenlik özellikleri piyasaya çıktıkça büyük projelerle ilgili ölümler yakında tamamen geçmişte kalacaktır.
- 3D baskı gittikçe daha fazla kullanıldığı sürdürülebilirliğe daha fazla odaklanılacaktır.

- Artan malzeme ve vasıflı işçilik maliyetleri, daha fazla otomatikleştirme ve insanlara kıyasla makinelerden yararlanmak isteyen kuruluşlara sahip olacaktır.
- Prefabrik/Prekast ve modüler yapı daha yaygın hale gelecek ve kuruluşlarda üretkenliği artıracaktır.

4.3.2. Gelecekte On Yıl

- Teknoloji daha da geliştikçe, robotikler şantiyelerde daha yaygın hale gelecek ve muhtemelen şu anda projelerin bir parçası olan el emeği saatlerinin çoğunu azaltacaktır.
- IoT, AI, AR, VR ve diğer yeni teknolojiler, projelerin tasarlanma ve uygulama şeklini tamamen değiştirecek.
- Kendi kendini iyileştiren beton gibi gelişmiş malzemeler, muhtemelen yüksek bir başlangıç maliyetiyle olsa da, bakım ihtiyaçlarını azaltacaktır.

Sonuç olarak, pazara gelen sayısız yeni teknoloji bulunmaktadır ve bunların inşaat uygulamaları; üretkenliği, güvenliği ve daha birçok alt/üst işleri kolaylaştırmaktadır. Günümüzde bile popüler olduğu için, inşaat endüstrisi yakın gelecekte artan güvenlik protokollerinin yanı sıra sürdürülebilirliğe genişletilmiş bir odaklanma görecektir.

Kesin olarak bilindiğine inanılan şey, teknolojinin adapte olmaya ve gelişmeye devam edeceğidir. Yeni teknoloji trendlerini yakından takip etmek, şirketlere rekabette bir avantaj sağlayacaktır. [51]

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

5.1. Değerlendirme

ResearchAndMarkets.com'un "İnşaatın Geleceği, Global, 2030" raporuna göre, inşaat endüstrisi, büyük gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyümenin yönlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır ve dünya GSYİH'sı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu, sektördeki geleneksel iş yürütme yöntemleri ve bu sektördeki büyümeyi yavaşlatan vasıflı işgücü eksikliği gibi bazı büyük eksikliklere odaklanmayı önemli kılmaktadır. Ancak teknolojik çevrenin değiştirilmesi ve gelişen iş modelleri, inşaat sektöründe büyük bir yıkıma neden olacaktır.

Teknoloji, veri toplama için IoT cihazlarından yenilikçi sensor teknolojileri de dahil olmak üzere birincil engeldir. Yeni ticari gelişmeler, verilerden para kazanma ve dijital pazarlar tarafından yönlendirilecektir. Sürdürülebilirliğe odaklanacak yeni veriye dayalı iş modellerine doğru bir geçiş de görülecektir. Gen Z, yenilikçi girişimci zihniyetiyle işgücünü alt üst edecektir.

Yani genel bakış açısı olarak özetlenecek olursa [56]

1. Dijitalleştirme: Dijitalleştirme, AI, 5D BIM, AR / VR ve 5G hız bağlantısıyla desteklenen elektrifikasyon gibi teknolojiler tarafından yönlendirilecektir.
2. Özerklik: İnşaat sektörü, otomasyona doğru bir geçiş görecektir ve güvenlik, inşaat sektörü için en büyük zorluklardan biridir. Dronlar, sahadaki insan varlığını azaltmada ve veri toplama doğruluğunu artırmada önemli bir rol oynayacaktır.
3. Sürdürülebilirlik: Sürdürülebilirlik, düzenlemelere uyumun ötesine geçecek ve sınırlı kaynaklarla ilgili daha fazla farkındalık ortaya çıktıkça bir halk hareketi haline gelecektir. Standart, prefabrik, modüler konseptler, bina ve altyapı projeleri arasındaki uyumluluğu artıracak, ölçek ekonomilerini iyileştirecek, üretkenliği artıracak ve inşaat sektörünün sanayileşmesini hızlandıracaktır.
4. Yeni İş Modelleri: İnşaat sektörü önemli bir kriter değişiminden geçerken, teknoloji ve veri odaklı yeni iş modelleri yaratmaya odaklanmaktadır. Ayrıca, paydaşlar arasında daha iyi bir işbirliğini teşvik ederken inşaat endüstrisinin tarihinde her seferinde acı bir nokta olup geriden gelen üretkenliğin artmasını sağlayacaktır.

5. Sosyal eğilimler: Yaşlanan işgücü ve dijitalleşme ile inşaat sektörü, kentleşmeyi ve Gen Z'yi (Z jenerasyonunu) barındırmak için daha iyi işgücü yönetimi stratejileri benimsemek zorunda kalacaktır.

6. Ekonomik Eğilimler: İstikrarsız ekonomik eğilimler, sektördeki asırlık verimlilik zorluklarının üstesinden gelmeyi zorlaştıracak ve daha fazla yatırım çekecek benzersiz çözümlerin benimsenmesi gerekecektir.

Peki bu durumda inşaat Sektörü var olan açıklarını kapatıp yeni düzene nasıl ayak uyduracaktır? Neyse ki, sektör boşluğu azaltmaya yardımcı olarak gelişmeye devam etmektedir. Sektörün üretkenlik açığını kapatmak ve yeni büyüme görmeye başlamak için çalışabileceği birkaç yol mevcuttur:

- Teknolojiyi benimseme oranlarını arttırmak: Gelişmekte olan teknolojileri benimsemek, gelişmiş güvenlik, düşük işçilik maliyetleri, daha hızlı sorun çözümü, kalite artışı ve iyileştirilmiş müşteri deneyimi gibi sonuçları yönlendirme potansiyeline sahiptir. İnşaat sektöründe yeni teknoloji yoluyla gelecek daha çok şey olmaktadır, ancak etkili olabilmesi için endüstrinin bunu benimsemeye ve uygulamaya açık olması gerekmektedir.

- Daha iyi bir senaryo planlaması yapmak: İş sahasında birçok şeyin yanlış gitme potansiyeli olduğu için, proje yöneticilerinin burada öngörüye sahip olması çok önemlidir. Bir proje içinde olabilecek her şeyi tahmin etmek imkânsız olsa da izinlerin zamanında gelmemesi, malzemelerin yerinde olmaması veya şantiyenin hazır olmaması gibi daha yaygın senaryolardan bazıları için bir yedekleme planına sahip olmak mümkündür. Özellikle gelişen teknoloji bu konuda oluşabilecek zorlukların çoğunu sırtlayıp kolaylaştıracaktır.

- Modüler tasarım ve standardizasyon yapmak: Verimlilikteki en büyük artış, modüler tasarım ve standardizasyonun kullanımından gelecektir. Ek olarak, prefabrikasyon süreçlerinden yararlanmak, saha dışında daha ucuz ve daha verimli olan çok daha fazla işin yapılmasını sağlayacaktır. Önceden daha fazla zaman ve finansal yatırım gerektirse de uzun vadede bunun onlarca katı geri kazanılacaktır. Tüm bu sistematik birleşimler, tek tip bir şekilde inşa edildikleri için tesislerin daha uzun bir kullanım ömrüne sahip olmasını sağlayacak ve yedek parçaların binalar arasında birbirinin yerine kullanılmasına izin verecektir.

Tüm bu faaliyetler, inşaatın planlama ve geliştirme kısmına daha fazla odaklanması gerektiği genel konseptiyle bağlantılıdır.

İnşaat Sektörüne Giriş kısmında bahsedilen SWOT analizinde de görülebilen tehlike ve olasılıklar göz önüne alındığında gelişimin önüne geçebilecek 1-2 pürüz görülmektedir. Bunun sebebi de inşaat sektöründe diğer sektörlere kıyasla maalesef dikkate değer bir verimlilik açığı bulunmasıdır. Bu, özellikle inşaat sektöründeki güvensizlik ve zayıf proje yönetimi gibi bir dizi faktörün sonuçlarındandır. Bu sıkıntının getirdiği bir sonuç olarak, proje maliyetleri artı risk daha yüksek olmaktadır ve daha fazla işçilik ile malzeme israfı oluşmaktadır. Bu, kapatılması gereken muazzam bir boşluk olsa da yeni teknolojiyi benimsemek ve inşaat sektöründe daha iyi bir işbirliği kültürü uygulamak, boşluğun azaltılmasını ve sonunda kapatılmasını sağlamaya yardımcı olabilecektir.

Sonuç olarak, Mevcut ve yeni teknolojiler, büyük ölçüde artan üretkenliği teşvik etmektedir. Büyük resimde, teknolojik gelişmeler aynı zamanda güvenliği artıracak, sürdürülebilirliğe daha fazla odaklanacak ve artan malzeme ve vasıflı işgücü maliyetleriyle mücadele edecektir.

5.2. Sonuç

Bir zamanlar tuğlaların üzerine tuğlaları yerleştirenlere, beton duvarlar dökenlere ve bütün bu oluşumları tek tek elle gözle kontrol edenlere, şimdi robotlar yardım etmekte, insansız hava araçları gözlemlenmesi gerekenleri izlemekte, planlama ve kontrol için kanıtlanmış teknolojiler geliştirilmekte ve daha birçok şey için yeni teknolojiler ortaya çıkmaktadır. Kesin olan bir şey var ki o da insanların bu konularda belirleyici rolleri oynamaya devam edecekleridir, ancak inşaat daha dijital hale geldikçe etrafta olan biten her şey daha şeffaf, daha verimli ve nihayetinde daha güvenli olacaktır.

Diğer endüstriler, gelişim konusunda önce hareket edenlerin devamlılığı olacak bir rekabet avantajı sağlayabileceğini göstermiştir. İnşaat sektöründe de bu durumun görülebilme potansiyeli vardır. Ancak, bu ilerlemenin görülebilmesi için günümüzde hala kullanılmaya devam eden sistemlerin eksiksiz yürütülebiliyor olması da gerekmektedir. Sektördeki düzen ilerlemeye açık bir hale gelirse raporda bahsedilen gelişmelere önümüzdeki 10 yıl içerisinde geçebilmeye hazır hale gelinebilecektir.

KAYNAKÇA

- [1].A. Bello, S., O.Oyedele, L., O.Akinade, O., Delgado, J., A.Akanbi, L., O.Ajayi, A., & A.Owolabi, H. (2020, December 17). Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges
- [2].Albiges, J. (2019, July 19). AI becomes more popular in construction.
- [3].Arrival 3D, C. (2018, July 13). 3D Laser Scanning – The New Future of the Construction Sector.
- [4].Assistant, Salman & Teel, James & Nadeem, Abid. (2011). Current Trends and Future Prospects of Online Bidding in Construction: A Survey of Owners and Contractors Organizations in USA.
- [5].Ayemba, D. (2020, December 04). Utilizing drone technology in construction.
- [6].Banos, G. (2019, May 28). What Is The Future of Building Information Modeling?
- [7].Barbosa, F., Woetzel, J., Mischke, J., Ribeirinho, M., Sridhar, M., Parsons, M., . . . Brown, S. (2020, October 20). Reinventing construction through a productivity revolution.
- [8].Biggs, J. (2020, November 23). How Will Artificial Intelligence Change the Construction Industry?
- [9].Blumeier, L. (2020, November 19). 20 interesting construction industry trends to watch in 2020
- [10].BMR Solutions. (2018, April 11). How Does the Construction Industry Use Technology?
- [11].Burger, R. (2019, February 3). How the Construction Industry is Using Big Data as a Resource.
- [12].Chang, P., & Swenson, A. (2020, January 10). Construction
- [13].Cole, T. (2019, January 29). Autonomous Mobile Robots: Ready for Construction, Mining.
- [14].Comstock, M. (2013, November 18). Importance of Green Buildings Stressed by Business and Industry at UN Climate Negotiations
- [15].Construction History Society, C. (Ed.). (2018, April 19). What is Construction History?
- [16].D., J. (2019, September 03). 3D Printing: The Future of Construction.
- [17].DBS Consult Editorial team, I. (Ed.). (2017, September 14). Challenges in Construction Industry.
- [18].Doyu, H. (2020, December 09). Future IoT for intelligent society and industry.
- [19].DS Drones. (2016, April 09). New Shape Shifting Metal Could Revolutionize Next Generation Drones.
- [20].Ellis, G. (Ed.). (2020, November 06). A Look Inside the Future of BIM [infographic] .
- [21].Ellis, G. (Ed.). (2020, November 06). Why Cloud-Based Construction Management Is the Future .

- [22].Folk, E. (2020, December 23). Readers Choice 2020: How Robots Are Changing On-Site Construction.
- [23].Fourtané, S. (2020, July 27). Augmented Reality: The Future of Building.
- [24].Gascon, C., & Haas, J. (2021, January 04). The Impact of COVID-19 on the Residential Real Estate Market.
- [25].Gautreau, A. (2020, September 10). How the Future of Cloud Computing Will Transform Construction.
- [26].Griffin, S. (2020, January 13). Are Sustainable Building Techniques the Future of Construction?
- [27].Hamil, D. (2019, January 03). A Digital Future for the Construction Industry.
- [28].Hardy, C. (2020, March 27). The Future of 3D Printed Bridges and Construction.
- [29].Harty, C., & Whyte, J. (2009). Emerging hybrid practices in construction design work: role of mixed media. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(4), 468–476. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000146
- [30].Hepton, J. (2019, July 16). The future of AI in the construction industry.
- [31].Hillebrandt, P. (1984). *Analysis of the British Construction Industry*: Patricia M. Hillebrandt: Palgrave Macmillan.
- [32].İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Meclisi, (2020, November 13). Salgına, işsizliğe, açlığa ve güvencesiz çalıştırmaya karşı mücadeleye... Sekiz ayda en az 368 işçi Covid-19 nedeniyle hayatını kaybetti.
- [33].Joharji, I. (2020, January 24). Smart Building Materials - Applications in Civil Engineering.
- [34].Jones, K. (2020, April 16). Construction Technology is Reshaping the Industry.
- [35].Kafadar, C. (2020, June 29). COVID Sonrası Dünyada İnşaat Sektörü Nasıl Şekillenecek?
- [36].Kafadar, C. (2020, October 2). İnşaat Sektörünün Geleceği Nasıl Olacak? "İnşaat 4.0" İle Birlikte Hangi Teknolojiler Gelişecek?
- [37].Kaplansever, E. (2019, October 24). Nesnelerin İnterneti, önümüzdeki 10 yılda neleri değiştirecek? *Webrazzi*
- [38].Kareta, N. (2020, July 27). These are the top 10 leaders in construction vehicles.
- [39].Killough, D. (2020, May 21). The Future of Green Building. Retrieved 2021.
- [40].King, O., & Baker, K. (Eds.). (2019, May 17). *Smart Working: Smart Buildings and the Future of Work*.
- [41].Lambert, S. (2020, August 28). What is LiDAR, and why do self-driving cars need it?
- [42].Lynch, J., Mortice, Y., Caballar, Y., & Thomas, Y. (2019, February 20). Büyük Veri, Riskleri Azaltıyor ve İnşaat İşlerini Kolaylaştırıyor.
- [43].Matthews, K., Shrangarya, A., & Paoletti, M. (2019, October 18). Construction robotics is changing the industry in these 5 ways.
- [44].McGraw Hill Construction. (2014). *The business value of BIM for construction in major global markets: how contractors around the world are driving innovation with*

- building information modeling. Smart MarketReport(pp. 1–60). Bedford: McGraw Hill Construction.
- [45].Mills, F. (2016, November 9). Top 5 Construction Markets by 2030.
- [46].Nair, R. (2019, November 15). Augmented Reality And Virtual Reality - The Future Of Construction.
- [47].Nejatian, K. (2020, February 12). The Rise of Prefab Construction: Past, Present, And Future.
- [48].Normac Expert Team. (2020, January 23). The Future of Construction: Smart Technology in Building Materials (1165284910 874463630 C. Carter, Ed.)
- [49].Onion, A., Sullivan, M., & Mullen, M. (2019, March 1). A (Very) Brief History of the Construction Industry.
- [50].Pinguet, B. (2020, July 28). How Drones are Future-proofing the Construction Industry.
- [51].Polzin, C. (2019, July 29). Looking to the Future of the Construction Industry.
- [52].Prabh, P. (2020, November 22). Future Of AI In Construction.
- [53].Prada, J., & Rutgers, V. (2020, July 07). Global Powers of Construction: Deloitte: Energy & Resources.
- [54].Price, D. (2020, September 27). Lidar Inspections Improve Construction Safety.
- [55].Randall, T. (2020, September 23). The Smartest Building in the World.
- [56].Research andMarkets. (2020, October 24). The Future of the World Construction Industry to 2030: Market Status, Predominant Opportunities and Key Milestones.
- [57].RFID Inc., G. (Ed.). (2018, February 7). Why is the Construction Industry Adopting RFID?
- [58].Robotics Online Marketing Team. (2018, March 27). How Construction Robots are Disrupting the Industry.
- [59].Schober, K. (2020, February 18). Artificial intelligence in the construction industry.
- [60].Sharma, G. (2020, November 17). Big Data & Cloud Computing: The Roles & Relationships: IEEE Computer Society.
- [61].Shewangzaw, M., & Hagos, T. (2012, March 6). Historical Background of the Construction Industry.
- [62].Sridhar, M., Agarwal, R., & Chandrasekaran, S. (2016, October 03). The digital future of construction.
- [63].Stannard, L. (2018, October 9). 6 Profitable Ways Drones in Construction Are Changing Projects.
- [64].Stewart, L. (2018, March 13). How the Internet of Things is Impacting the Construction Industry.
- [65].Taqqali, W. (2020, March 8). The Sustainabilist.
- [66].Teizer, J., Blicke, A., King, T., Leitzbach, O., Guenther, D., Mattern, H., & König, M. (2018, September 20). BIM for 3D Printing in Construction.
- [67].The Fieldlens Team. (2019, April 06). 3 Smart Materials for Construction That Are Not Science Fiction.

- [68].Thomson, C. (2020, September 7). How LiDAR is changing the world: Construction and city planning to the Amazon and Notre Dame.
- [69].Tucker, P. (2019, November 23). Sites of the future: IoT transforming construction.
- [70].Villali, J. (2020, September 21). IDC Market Glance: Smart Buildings and green Houses.
- [71].Wainwright, C. (2019, February 14). The benefits of AI in construction.
- [72].Weinerberger. (2019, May 28). Importance of Green Building.
- [73].Zabala, R., Cu, K., Prezi, B., McClure, M., Nagarathnam, P., Olman, E., . . . Hiremane, R. (2021, January 2). ARtillery Pro
- [74].Zarecor, Kimberly. (2008). The Prefabricated Home by Colin Davies (London: Reaktion Books, 2005) ISBN 1861892438, 223 pages, paperback. Design Issues. 24. 92-93. 10.1162/desi.2008.24.2.92.
- [75].Zitzman, L. (2021, January 14). Sustainable Construction: Methods and Benefits.