

**MIMAR SINAN FINE ARTS UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE AND  
TECHNOLOGY**

**A QUALITATIVE ANALYSIS OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES  
IN THE TURKISH CONSTRUCTION SECTOR**



**MASTER OF SCIENCE THESIS**

**Sera ÖZKIVANÇ**

**Division of Structural Engineering**

**Programme of Construction Project Management**

**Supervisor: Prof. Dr. Sema ERGÖNÜL**

**JUNE 2021**



**MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN NİTEL  
ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sera ÖZKIVANÇ**

**Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapım Proje Yönetimi Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sema ERGÖNÜL**

**HAZİRAN 2021**





Sera ÖZKIVANÇ tarafından hazırlanan A QUALITATIVE ANALYSIS OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES IN THE TURKISH CONSTRUCTION SECTOR adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

.....

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından ..... Anabilim Dalında  
..... tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_







## ACKNOWLEDGEMENTS

First and foremost, I would like to thank my loving parents, Adil Özkıvanç and Efsun Özkıvanç. None of my accomplishments would have been possible without their unconditional support. Their value to me only grows with age.

I wish to express my sincere appreciation and admiration to my supervisor, Prof. Dr. Sema Ergönül. Her mentoring has been a guiding hand throughout this study. Beyond that, her expertise and encouragement has made pursuing this degree a much more enjoyable and valuable undertaking than I could have hoped.

My appreciation also extends to Prof. Dr. Selin Gündeş and Prof. Tahir Akkoyunlu for their valuable teachings.

Lastly, although I cannot disclose their names, I wish to thank all the esteemed people who have generously agreed to take part in this study. Their experiences and insights are greatly appreciated.



# **A QUALITATIVE ANALYSIS OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES IN THE TURKISH CONSTRUCTION SECTOR**

## **ABSTRACT**

Industry 4.0 describes an advanced level of digitisation in which production processes are automated and products can communicate with their environment. This concept is revolutionizing the manufacturing sectors. Still, despite its proven benefits regarding productivity and quality, most of the construction industry clings to traditional methods and inefficient systems.

Construction companies in developed countries have slowly begun to adopt Industry 4.0 in an effort to combat the typically low profit margins, cost overruns, and project delays that afflict the industry. But the vast majority of the Turkish construction sector has yet to embrace new technologies. To maintain their competitive advantage in the global industry and improve the quality of the country's built environment, Turkish construction companies must hastily digitalise and adapt to global practices.

This study evaluates the effects of Industry 4.0 and the current state of technology adoption in the Turkish construction sector. Specifically, it presents current use cases implemented by Turkish construction companies and examines their implications on the project. This includes application methods, training and adaptation periods, and overall project outputs. Furthermore, this study identifies the main barriers to widespread digitalisation and explores methods for overcoming them.

Building on existing literature, this study investigates current and future opportunities for Industry 4.0 application in construction projects. A qualitative research was conducted to gather insight from five industry professionals. The findings indicate that employing Industry 4.0 technologies has significant benefits in terms of project management and design. Improved coordination and decision making, reduced project durations, and cost saving opportunities are among key findings. However, a widespread adoption appears unlikely without the interference of government entities. The industry demonstrates a strong resistance to change; moreover, most enterprises cannot afford the high investment costs of innovative technologies. This study shows that standards and regulations are the primary factors in the Turkish construction sector's digital transformation. A joint effort is required from the government and from construction professionals for overcoming these barriers. Further research is needed for raising awareness on the importance of digitalisation in improving efficiency and obtaining higher quality buildings.



## TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN NİTEL ANALİZİ

### ÖZET

Endüstri 4.0, üretim süreçlerinin otomatikleştirildiği ve ürünlerin çevreleriyle iletişim kurabildiği ileri düzeyde bir dijitalleşirmeyi tanımlamaktadır. Bu konsept, imalat sektöründe kalite ve verimliliğin önemli derecede artırılmasını sağlamıştır. Buna rağmen, inşaat sektörü geleneksel yöntemlere ve uygulamalara bağlı kalmaktadır. Bu durum proje verimliliğini, yapı kalitelerini ve sürdürülebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir.

Son yıllarda, gelişmiş ülkelerdeki inşaat sektörleri Endüstri 4.0 teknolojilerini uygulamaya başlamışlardır. Büyük çoğunlukla standart ve regülasyonların ivme kazandırdığı bu dijital dönüşüm, sektörün senelerdir üstesinden gelemediği düşük kâr marjı, maliyet aşımı ve proje gecikmesi gibi sorunlara bir çözüm olmuştur. Ancak Türkiye'deki inşaat sektörü hâlâ yeni teknolojileri benimseme konusunda direnç göstermektedir. Dijital dönüşüme ayak uydurmadığı takdirde, Türk inşaat sektörünün küresel piyasadaki yerini kaybetmesi, ülkenin ihracattan elde ettiği geliri olumsuz yönde etkilemesi ve kalite açısından geride kalması kaçınılmazdır.

Bu çalışma, Endüstri 4.0'ın inşaat projeleri üzerindeki etkilerini ve Türk inşaat sektöründeki yerini, ayrıca şirketlerin teknoloji kullanımının mevcut durumunu belirlemeyi amaçlamaktadır. Bunun yanı sıra, ülke çapında Endüstri 4.0'ın benimsenmesindeki ana engellerin tespit edilmesi ve bu engellere karşılık çözümlerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu hedefler doğrultusunda, bu çalışmanın ilk aşamasında bir literatür taraması yapılmıştır. Yapı Bilgisi Modellemesi (BIM) başta olmak üzere, Endüstri 4.0 kavramları incelenip açıklanmıştır; farklı ülkelerde kullanılan uygulamalara ve yapılan araştırmalara yer verilmiştir. Çalışmanın ikinci aşaması ise niteliksel araştırma yöntemi olan bireysel röportajlardan oluşmaktadır. Türk inşaat sektöründe Endüstri 4.0 teknolojileri kullanan beş kişi ile görüşmeler yapılmıştır. Bu kişilerden biri dijital dönüşüm uzmanı, üçü BIM yöneticisi, biri ise planlama ve kontrol müdürüdür. Röportajlar yardımıyla; Türk inşaat projelerinde Endüstri 4.0'a dair kullanım örnekleri, bu uygulamaların etkileri, karşılaşılan zorluklar ve sektörün dijitalleşmesinin önündeki engeller incelenmiştir. Bununla beraber, engellerin nasıl aşılabileceğine ve Türk inşaat sektörünün geleceğine dair yorumlara yer verilmiştir.

Çalışma, Endüstri 4.0 teknolojilerinin proje yönetimi ve tasarım geliştirme açısından önemli faydaları olduğunu göstermektedir. Ekipler ve taraflar arasındaki koordinasyonun önemli seviyede artırıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, adam saat açısından verimliliğin artırıldığı, maliyet tasarrufu sağlandığı ve tasarıma dair kararların daha kolay alınabildiği belirtilmiştir. Ancak sektörde bazı tarafların sergilediği direnç ve teknoloji yatırımlarının yüksek maliyetleri, Türk inşaat

sektörünün dijital dönüşümünü engellemektedir. Değişim için devletin ve kamu kurumlarının müdahalede bulunmalarının bir zorunluluk olması vurgulanmıştır. Standart ve regülasyonlarla beraber, Endüstri 4.0 kullanımının ve Ar-Ge çalışmalarının teşviki büyük önem arz etmektedir. Diğer taraftan, üniversitelerin ve şirketlerin konuyla ilgili eğitimler vermeleri ve yine şirketlerin inovasyon alanında öncülük edecek bireyler tahsis etmeleri önerilmektedir.

Bu çalışma, Türk inşaat şirketlerinin Endüstri 4.0 uygulamalarını sunarak, olumlu etkileri konusunda farkındalığı artırmayı amaçlamıştır. Çalışma, sektördeki engellerin ortadan kaldırılması için atılması gereken adımları vurgulamıştır. Sektörün dijital dönüşümünü teşvik etmek amacıyla konu ile ilgili daha fazla araştırma yapılması önerilmektedir.



## TABLE OF CONTENTS

	<u>Page</u>
<b>ACKNOWLEDGEMENTS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xi</b>
<b>TABLE OF CONTENTS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>LIST OF ABBREVIATIONS</b> .....	<b>xv</b>
<b>LIST OF TABLES</b> .....	<b>xvi</b>
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	<b>xvii</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>xix</b>
<b>AIM OF THE STUDY</b> .....	<b>xxi</b>
<b>RESEARCH METHODOLOGY</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>1 CONSTRUCTION THROUGHOUT THE INDUSTRIAL REVOLUTIONS</b>	
<b>1</b>	
1.1 Introduction .....	1
1.2 Construction in the First Industrial Age .....	1
1.3 Construction in the Second Industrial Age.....	2
1.4 Construction in the Digital Age.....	2
1.5 Building Information Modelling (BIM) .....	3
<b>2 INDUSTRY 4.0 IN CONSTRUCTION: LITERATURE REVIEW</b> .....	<b>7</b>
2.1 Introduction .....	7
2.2 Overview of Industry 4.0.....	7
2.3 Industry 4.0 in the Construction Industry .....	8
2.4 Academic Interest for Industry 4.0 in Relation to Construction .....	12
2.5 Smart Construction Site.....	15
2.5.1 The Internet of Things (IoT) .....	15
2.5.2 Cyber-Physical Systems (CPS).....	17
2.5.3 Automation and Robotics.....	20
2.5.4 Modularisation/ Prefabrication.....	22
2.5.5 3D Printing/ Additive Manufacturing (AM) .....	26
2.5.6 Human-Computer Interaction (HCI).....	28
2.5.7 Product-Lifecycle-Management (PLM).....	31
2.6 Simulation and Modelling .....	32
2.6.1 Simulation Tools and Models .....	32
2.6.2 Augmented Reality (AR)/ Virtual Reality (VR) .....	35
2.7 Digitisation and Virtualisation .....	37
2.7.1 Cloud Computing .....	37
2.7.2 Mobile Computing .....	40
2.7.3 Big Data and Analytics .....	40
2.7.4 Artificial Intelligence (AI) .....	43
2.7.5 Digital Supply Chain.....	46

2.8	Challenges .....	48
<b>3</b>	<b>DIGITILISATION IN THE TURKISH CONSTRUCTION SECTOR: CASE STUDY.....</b>	<b>51</b>
3.1	Introduction .....	51
3.2	Research Design .....	51
3.3	Interview Survey Methodology .....	52
3.3.1	Population and Research Sample .....	52
3.3.2	Research Instrument .....	52
3.3.3	Data Collection.....	52
3.3.4	Method of Analysis .....	52
3.4	Findings .....	53
3.4.1	Sample Information.....	53
3.4.2	Project Information .....	56
3.4.3	Effects on the Project .....	57
3.4.4	Industry Barriers.....	69
3.4.5	The Motivation Behind Digitalization .....	74
3.4.6	Solutions.....	79
3.4.7	Future of the Turkish Construction Industry .....	83
3.5	Discussion.....	84
3.5.1	Summary of Findings and Discussion.....	84
3.5.2	Limitations and Future Research.....	92
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>94</b>
	<b>REFERENCES.....</b>	<b>97</b>
	<b>APPENDIX A .....</b>	<b>110</b>
	<b>APPENDIX B.....</b>	<b>113</b>
	<b>BIOGRAPHY .....</b>	<b>149</b>



## LIST OF ABBREVIATIONS

<b>AEC</b>	: Architecture, Engineering and Construction
<b>AGI</b>	: Artificial General Intelligence
<b>AI</b>	: Artificial Intelligence
<b>AM</b>	: Additive Manufacturing
<b>ANI</b>	: Artificial Narrow Intelligence
<b>AR</b>	: Augmented Reality
<b>ASI</b>	: Artificial Superintelligence
<b>BD</b>	: Big Data
<b>BDA</b>	: Big Data Analytics
<b>BDE</b>	: Big Data Engineering
<b>BIM</b>	: Building Information Modelling
<b>CAD</b>	: Computer-Aided Design
<b>CDE</b>	: Common Data Environment
<b>CPS</b>	: Cyber-Physical Systems
<b>ERP</b>	: Enterprise Resource Planning
<b>GDP</b>	: Gross Domestic Product
<b>HBI</b>	: Human-Building Interaction
<b>HCI</b>	: Human-Computer Interaction
<b>ICT</b>	: Information Communication Technology
<b>ISO</b>	: International Organization for Standardization
<b>LEED</b>	: Leadership in Energy and Environmental Design
<b>MEP</b>	: Mechanical, Electrical, Plumbing
<b>PEST</b>	: Political Economic Social Technological
<b>PPE</b>	: Personal Protective Equipment
<b>R&amp;D</b>	: Research and Development
<b>VR</b>	: Virtual Reality

## LIST OF TABLES

	<u>Page</u>
<b>Table 2.1</b> Classification of Industry 4.0 technologies and concepts .....	11
<b>Table 2.2</b> List of Industry 4.0 technologies and concepts in this study.....	12
<b>Table 2.3</b> Comparison of VR and AR technologies .....	35
<b>Table 3.1</b> Respondent sample .....	53
<b>Table 3.2</b> Roles and responsibilities of sample .....	54
<b>Table 3.3</b> Types and sizes of the sample's companies .....	54
<b>Table 3.4</b> Project types of sample's companies.....	55
<b>Table 3.5</b> Projects sample .....	55
<b>Table 3.6</b> Level of BIM usage in projects .....	56
<b>Table 3.7</b> List of technologies used in projects .....	56
<b>Table 3.8</b> List of benefits of using Industry 4.0 technologies in construction .....	58
<b>Table 3.9</b> List of challenges of using Industry 4.0 technology in construction.....	66
<b>Table 3.10</b> List of barriers to digitalization of the Turkish construction industry.....	69
<b>Table 3.11</b> List of motivators for using Industry 4.0 technologies.....	74
<b>Table 3.12</b> Solutions for Industry 4.0 adoption in the Turkish construction sector ..	79

## LIST OF FIGURES

	<u>Page</u>
<b>Figure 2.1</b> Frequency of publications by year .....	13
<b>Figure 2.2</b> Publications by document type .....	14
<b>Figure 2.3</b> Number of publications by country .....	14
<b>Figure 2.4</b> Sensors and actuators in IoT .....	18
<b>Figure 2.5</b> Robot-oriented design in an automated construction site and single-task construction robot painting a façade .....	21
<b>Figure 2.6</b> Comparison of project timelines for typical, hypothetical apartment project construction .....	23
<b>Figure 2.7</b> Prefabrication assembly line, transportation of prefabricated components, and assembly of Mini Sky Tower .....	25
<b>Figure 2.8</b> The process for producing an object through AM.....	26
<b>Figure 2.9</b> 3D printed concrete filaments and top-down view of the site .....	27
<b>Figure 2.10</b> Transition toward Human-Building Interaction .....	30
<b>Figure 2.11</b> MassMotion simulation of pedestrians in a railway station .....	34
<b>Figure 2.12</b> Applications of immersive technologies in construction.....	36
<b>Figure 2.13</b> Cloud-based data management architecture of the Dudullu-Bostancı Metro Project.....	39
<b>Figure 2.14</b> Components of Big Data .....	41
<b>Figure 2.15</b> Comparison of digital supply chain profitability against traditional methods .....	47
<b>Figure 3.1</b> A mind map of the findings .....	86



## INTRODUCTION

Construction has a prominent effect in driving economic growth. The global construction industry accounts for 13% of global Gross Domestic Product (GDP) and nearly \$10 trillion is spent every year on construction related goods and services (Ribeirinho et al., 2020). 7% of the world's workforce are employed in construction-related positions (Pan and Zhang, 2021). Moreover, the built environment has far-reaching social and environmental effects that shape our daily experiences. The designs of dwellings, offices, and infrastructure directly influence the population's quality of life.

In Turkey, rapid mass urbanization and gentrification developments have vastly influenced the construction sector. Additionally, Turkish contractors' projects in foreign countries account for a significant share of the country's total exports. In 2020, Turkish construction projects in countries like Russia, Turkmenistan, Libya, and Kazakhstan produced 12,4% of Turkey's export earnings (Turu, 2019; "İMSAD", 2021). Approximately 9% of Turkey's GDP comprises of revenue from construction (Tekin and Atabay, 2019). In the Top Global Contractors' List published by Engineering News-Record (ENR) in 2018, 44 out of the 250 contracting firms that earned the highest revenues worldwide were Turkish companies. Turkey was ranked second in the world, following only China (TMB, 2018). However, this success in the field of contracting does not translate to the same feat in engineering consulting. International clients prefer foreign consulting firms over Turkish firms, due to the latter's inadequate adoption of technology (Tekin and Atabay, 2019). Yet failure to embrace innovation is not exclusive to the Turkish construction sector. Majority of the global construction industry has yet to adopt new technologies.

Consequently, productivity growth in construction over the last two decades remained at a third of overall economy averages (Ribeirinho et al., 2020). In fact, labour productivity in construction has decreased during this time (Österreich and Teuteberg, 2016). Meanwhile, the automotive, health and manufacturing sectors have consistently leveraged and contributed to technological advances, increasing their productivity rates. Even grocery stores have transformed into multi-national retailers, with global supply chains and digitized distribution systems. Barbosa et al. (2017) estimate that, if the construction industry's productivity growth were to match other industries, global revenue would increase by \$1.6 trillion a year, which is equal to 2% of the world's yearly GDP. Yet, productivity gap is not the only problem. Construction profit margins rarely exceed 5%; more than 30% of work-related fatalities are in construction; and projects are regularly affected by delays and cost overruns (Ribeirinho et al., 2020; Pan and Zhang, 2021). Furthermore, the construction sector is responsible for a third of all greenhouse gas emissions in the world, as well as contributing to the depletion of natural resources (Craveiro et al., 2019).

The digital transformation of the construction industry is long overdue. The sector must undergo drastic changes to reach its potential for productivity, cost-efficiency,

sustainability, and safety. Client demands are experiencing a shift regarding factors like energy performance, cost of ownership, and smart features. The technologies to reach these objectives are available, but they need to be broadly implemented. The COVID-19 crisis is expected to accelerate the construction industry's digital transformation (Ribeirinho et al., 2020).

The past decade has already seen significant improvement. Building Information Modelling (BIM) has become a widespread practice as governments pass standards and regulations for its compulsory use. BIM improves coordination across the entire value chain and reduces manual processes during the design stage, which is often the reason behind errors, rework, and delays. Furthermore, integrating BIM with Industry 4.0 technologies like the Internet of Things (IoT), cloud computing and Big Data (BD) is becoming more common. The widespread adoption of these technologies will revolutionize construction methods (Turner et al., 2020). The industry will operate in a more standardized, consolidated, and integrated manner. The reuse of digital information, the increase in off-site manufacturing, and the application of analytics for supply-chain logistics are some ways in which Industry 4.0 is expected to shift previous practices (Ribeirinho et al., 2020).

However, the speed of progress must be accelerated, particularly in the Turkish construction industry. Despite the availability and proven benefits of many technologies, adoption rates are low. Many key industry players cling to traditional methods, avoiding the cost and effort of investing in new practices. To speed up progress, a systematic focus on research is needed on both a global and a national scale. While there is ample research on the applications and implications of BIM, Industry 4.0 in construction remains largely unexplored.

## **AIM OF THE STUDY**

A dedicated effort is required by companies and governments to streamline construction processes in Turkey. The first steps in achieving this are conducting research and promoting awareness on Industry 4.0 technologies in the construction sector.

The aims of this study are exploring the effects of Industry 4.0 technologies, identifying the main barriers to broader adoption of Industry 4.0, and discussing the steps to overcome these barriers in the context of Turkey. To achieve these aims, this study hopes to answer the following research questions:

- Which Industry 4.0 technologies are used by Turkish construction firms and what effect do they have on the project?
- What are the main barriers that hinder Turkish construction firms from using Industry 4.0 technologies?
- What can be done to achieve widespread implementation of Industry 4.0 technologies in the Turkish construction sector?
- How do industry professionals envision the future of the Turkish construction sector regarding digitalisation?





## **RESEARCH METHODOLOGY**

Prior to commencing the research, a comprehensive literature review was conducted. First, the advancement of construction technology was briefly reviewed. This review started from the first industrial revolution to the recent digital age to gain a sense of the impact of change following important milestones that marked the different industrial ages. Circling back to the present time, current widespread practices in the architecture, engineering and construction (AEC) industry were discussed.

The second part of the literature review addressed Industry 4.0. definitions, use cases, and implications. Academic interest for Industry 4.0 in relation to the construction industry was presented. Industry 4.0 concepts were presented by their classifications: smart construction site, simulation and modelling, digitisation and virtualization. Examples from the Turkish construction industry were provided when applicable. The final part of the literature review summarized the challenges against the widespread adoption of Industry 4.0 in construction.

A qualitative analysis was preferred to gain a detailed understanding of projects, technologies, and experiences. Five construction professionals were interviewed for their accounts and thoughts regarding Industry 4.0 applications in construction projects. Qualitative methods proved effective in gathering insight on the effects of these technologies and the barriers hindering widespread digitalization. Possible solutions and visions regarding the future of the industry were also addressed.

Respondents' contributions were grouped and presented in line with this study's research objectives. Common emerging themes and contradictions were presented. Lastly, the research findings were further analysed and reiterated to provide an overall summary of the results. Limitations of the study and recommendations for further studies were given.



# **1 CONSTRUCTION THROUGHOUT THE INDUSTRIAL REVOLUTIONS**

## **1.1 Introduction**

The growth in human progress has been exponential since the beginning of the industrialization era. Each industrial revolution brought on breakthroughs that have had permanent effects on how we live, manufacture, build, and connect. This chapter briefly goes over the advancements in building technologies throughout these revolutions.

## **1.2 Construction in the First Industrial Age**

The second half of the 1700s brought on a series of breakthroughs that changed the manufacturing, agricultural, and building sectors across the world. A new method to smelt iron allowed its large-scale production, leading to the invention of the double-acting steam engine, which could use water and steam to power mechanical equipment. For the first time in history, human labour was substituted by machinery. Just over a decade later, the steam powered rolling mill enabled production of iron building elements. Though the application of iron structures leads back centuries before the industrial age, the introduction of machine power revolutionized construction operations (Chang & Swenson, 2020).

The proliferation of factories and mills caused a rapid migration from villages to cities. The percentage of the population living in cities rose from 20 to 80 per cent. This influx led to a demand in high-density housing and extensive infrastructure works. European cities filled with apartment-style buildings, roads, railways, and canals. The shortened travel times quickened the spread of industrialization even further (Chang & Swenson, 2020).

The first industrial age brought on the separation of architecture and structural engineering disciplines. The practice of building science emerged, enabling accurate prediction of structural performance using mathematical models. Environmental

control technologies like coal gas lighting, steam heating, and plumbing systems enhanced dwellers' living standards. (Easton et al., 2013; Chang & Swenson, 2020).

### **1.3 Construction in the Second Industrial Age**

The Second Industrial Revolution is marked by the start of mass production using electricity in the 1870s. Urban planning practices emerged; also, new studies were conducted on building materials, enabling structures that combined a variety of elements. Developing technology and surging land values gave way to high-rise buildings in the United States. Electricity replaced steam power in building services (Easton et al., 2013).

Engineers and contractors started investigating methods to speed up construction processes to meet demands. The introduction of various construction machines increased the safety and speed of construction processes. The 1920s witnessed the invention of tower cranes, crawler dozers, concrete pumps, and concrete vibrators. A good amount of building material production moved to the factories; construction sites became more compact, and the required manhours for completing projects decreased significantly (Easton et al., 2013).

The second industrial revolution prompted a level of institutionalization in the construction industry, like the introduction of building regulations. Furthermore, the accelerated development of the industry started to facilitate international rivalry regarding building material production and distribution. According to Maskuriy et al. (2019), “this revolution drove the construction industry in terms of innovation in architectural design and lightening vertical space alongside new prefabrication technology and the beginning of computer-aided design (CAD)” (p. 4). The 1950s witnessed early applications of computer software, personal computers, and mathematical tools. These developments would set the foundation for the Digital Revolution in the coming decades.

### **1.4 Construction in the Digital Age**

The Third Industrial Revolution, also known as the Digital Revolution, occurred with the rise of electronics in the 1970s. Alaloul (2019) describes this era as: “the innovation of technology from analogue, electronic, and mechanical devices to today's digital

technology” (p. 225). Designers shifted from the drawing board toward computers. Traditional technical drawings were created in a virtual environment using 2D computer-aided design (CAD) software. The use of CAD improved productivity and precision; also, revisions became significantly easier and faster to complete. These developments resulted in shorter project delivery times, fewer errors, and faster information management (Eastman, 2011; Borrman et al., 2018).

CAD software slowly shifted towards 3D as solid modelling programs became commercially available by the 1980s. Also during this time, Autodesk released its AutoCAD software, which is still widely used today. Software programs developed advanced computational functions with action and reaction rules. Overall, precision of drawings increased significantly. Designers could more easily experiment with creative designs (Maskuriy et al., 2019).

### **1.5 Building Information Modelling (BIM)**

Following the adoption of digital tools and the widespread use of CAD software, industry professionals noted a significant improvement in designing and constructing structures. However, digital 2D drawings still resulted in loss of information, inconsistencies, and miscommunications across structures' lifecycles, especially for complex projects (Borrman et al., 2018). Thus emerged BIM, a modelling platform that encompasses not only geometric shapes but also in depth information about factors like materials, technical properties, and costs.

BIM represents a multitude of concepts, therefore a generally accepted definition is lacking. A widely used description phrased by the Construction Project Information Committee (CPIC), is as follows:

The digital representation of physical and functional characteristics of a facility creating a shared knowledge resource for information about it forming a reliable basis for decisions during its life cycle, from earliest conception to demolition. (Sinclair et al., 2012, p. 3)

The Associated General Contractors of America defines BIM as:

The development and use of a computer software model to simulate the construction and operation of a facility. The resulting model, a Building Information Model, is a data-rich, object oriented, intelligent and parametric digital representation of the facility, from which views and data appropriate to various users' needs can be extracted and analysed to generate information that can be used to make decisions and improve the process of delivering the facility. (Ernstrom et al., 2005, p. 3)

BIM enables users to simultaneously work on a shared model where changes are reflected in others' views in real-time and related elements are automatically amended. While previously users would work on different versions of 2D drawings and consolidate them later, BIM ensures that all parties work on the same, up-to-date model (Baldwin and Bordoli, 2014; Borrman et al., 2018). This collaborative approach facilitates a shared knowledge repository that can be accessed throughout a structure's lifecycle. Waters (2020) describes how BIM enables different stakeholders to engage in new ways of interdisciplinary coordination: "The principal driver of BIM is the merging of information from different professions into shared 3D virtual models . . . this data from architects, engineers, landscape architects and construction contractors can be constantly updated in digital models" (p. 14). Borrmann et al. (2019) write that this information flow improves design decisions, enables detailed simulation integrations, and leads to better monitoring of construction processes. This view is shared by Waters (2020), who highlights that the use of BIM results in "the streamlining of time, labour, costs, materials and waste is pursued over the course of a whole project . . . [achieving] efficiencies in site planning, concept, design, detail, construction and management" (p. 14). Furthermore, BIM reduces manual data entry to a minimum, preventing error prone work. It enables the conducting of analyses and simulations. Moreover, the operation and maintenance of buildings become more efficient due to the quality and depth of the information handover (Borrman et al., 2018).

Baldwin and Bordoli (2014) classified the potential advantages of BIM according to the affected stakeholders. For example, projects managed with BIM offer clients improved building performance and quality, shortened project delivery times, reduced

costs, and advanced handover information for facility operations. Meanwhile, designers can visualize their designs in early project stages, collaborate with other disciplines, generate cost estimates with less effort, and use simulations to achieve better energy efficiency. Lastly, contractors and subcontractors benefit from improved procurement processes, reduced design errors in the construction stage, and effective site safety procedures.

This advancement in technology has increased the expectations of clients and governments, particularly in developed countries. Scandinavian countries pioneered in mandating BIM between 2007 and 2015. Finland mandated IFC standards in 2017. Singapore implemented the world's first BIM electronic submission system in 2016. The UK government adopted radical BIM implementation strategies in 2016. Also in 2016, Australia made BIM mandatory for large scale infrastructure projects (Mustaffa et al., 2017). Germany prepared a comprehensive roadmap for BIM implementation in 2015 and started mandating BIM for public realm projects in 2020 (Borrman et al., 2021).

Although BIM adoption rates differ according to company, region, and country, it is currently the most widely accepted standard for designing and producing large and complex projects (Jacobsson and Merschbrock, 2018). Walter (2020) highlights that companies who want to tender for infrastructure, institutional, civil, and public realm projects have no choice but to adapt. This technological shift dubbed "a new paradigm within AEC" by Azhar (2011, p. 242) has not only changed processes in design, construction, and facility management, but also the roles and interactions among key project stakeholders (Eastman et al., 2011; Jacobsson and Merschbrock, 2018). This view is echoed by Eastman et al. (2011), who describe BIM as an activity and a change in process:

BIM is an activity, ... not just a technology change, but also a process change. It is our belief that BIM is not a thing or a type of software but a human activity that ultimately involves broad process changes in design, construction and facility management. (Eastman et al., 2011, p. xi)

Waters (2020) provides a similar description, calling BIM "a considerable shift in approach to the way design-to-construction projects are delivered" (p. 14). Jacobsson

and Merschbrock (2018) present a unique account, in which they present BIM from several perspectives: BIM as a product, process, system, or practice. As a product, BIM can be seen as a combination of software and data. It is the digital representation of a physical object or structure. As a process, BIM represents the activities of creating the model, developing the project, and delivering the end product. As a system, BIM represents the collaboration and coordination among users and stakeholders. As a practice, BIM refers to the everyday operations that a team undertakes throughout a project, like AEC practices or instructions that can be found in BIM manuals (Jacobsson and Merschbrock, 2018).

Malev (2021) views BIM as “an important catalyst for the digitalization of the construction industry” (para. 7); similarly, Elghaish (2020) calls it “one of the main embodiments of digitalization” (para. 2). Admittedly, BIM is the basis and foundation of the technologies that will be discussed in this study. In BIM, there are three main phases that form a structure’s lifecycle: design, construction, and operations. During the design and construction phases, activities are human-centric and depend on the active involvement and decision-making of people. Throughout these phases, the digital twin is created: a virtual replica of the physical structure that contains detailed information about its components (Eastman, 2011). However, the operations phase largely consists of repetitive tasks which can be automated. Depending on the nature of the project, the use of a building’s digital twin for facility management may be of great importance. For example, public buildings like hospitals or airports require constant upkeep and maintenance. The digital twin provides valuable information regarding HVAC systems, energy use, maintenance cycles, and so on. At this stage, the integration of Industry 4.0 technologies with BIM is massively advantageous. Sensors and the Internet of Things (IoT) can provide real-time insights which can be analysed to enable a more efficient use of the building. Repetitive maintenance tasks can be automated. In several cases, this integration may also benefit operations in the construction phase. For example, sensors can be attached to construction machinery; the data obtained from the sensors can be analysed for efficiency or used for enhancing site safety (Sakin, 2019; Maskuriy et al., 2019). Such applications have the potential of lessening the productivity gap between the construction and manufacturing sectors. Thus, the following chapter will investigate Industry 4.0 applications and how they can be integrated with BIM to improve efficiency in the construction sector.



## **2 INDUSTRY 4.0 IN CONSTRUCTION: LITERATURE REVIEW**

### **2.1 Introduction**

This chapter provides an overview of Industry 4.0: what it means, how it emerged, its implications on everyday life and the construction industry. The current state of research for Industry 4.0 in the construction industry is presented. Then, technologies that are applicable to the sector are presented with use cases, features, and effects. Finally, the challenges in adopting these technologies are discussed.

### **2.2 Overview of Industry 4.0**

The term “Industry 4.0” was coined by the Federal Government of Germany in 2011. Industry 4.0 describes the enhanced use of machines and the ability to automate production processes. In the words of Österreich and Teuteberg (2016), Industry 4.0 is “the increasing digitization and automation of the manufacturing environment as well as the creation of a digital value chain to enable the communication between products and their environment and business partners” (p. 122). In the same vein, Alaloul (2019) states that the German government formed this concept to endorse the automation of industrial processes to “accomplish an adaptive yet extensive production and service network” (pg. 226). In some literature, Industry 4.0 is referred as “I4” or “IR4.0” (Alaloul, 2019; Newman et al., 2020).

The phrase “Fourth Industrial Revolution” comes five years later in 2016 by Klaus Schwab, founder and executive chairman of the World Economic Forum. Österreich and Teuteberg (2016) found that Industry 4.0 is “often used as a synonym for the planned 4th Industrial Revolution by pointing out its huge technological potential, comparable to technical innovations which led to the first industrial revolutions: the field of mechanisation, the use of electricity and the beginning of digitisation” (pg. 122). However, Schwab warns that the new industrial revolution will be different from the previous three. According to him, the exponential growth in technology will have

an unprecedented impact on all aspects of life. Schwab (2016) hypothesizes that aside from changing how we communicate, consume and produce, the Fourth Industrial Revolution will also change our identities. Our way of life will alter increasingly fast as the world around us becomes integrated into one system driven by Big Data: smart traffic, smart government, and smart cities. He concludes that every industry will be deeply affected and that business models will revolutionize. Schwab's vision is supported by Alaloul (2019) who writes that this technological breakthrough "has found new ways of demonstrating its abilities by blurring the lines between the physical, digital and biological entities" (pg. 255). Almost every paper that has been written on Industry 4.0 highlights its massive implications on every industry. Newman et al. (2020) provide a broad summary which supports this notion: "Industry 4.0 is predicted to be a game-changer, revolutionizing commercial and manufacturing practices through improved knowledge utilization and efficiencies" (para. 1). Furthermore, he notes that on top of modernization, sustainability is a key aspect which is aimed to be achieved by Industry 4.0. Specifically, he highlights the importance of sustainable manufacturing, renewable energy, and energy efficiency.

Österreich and Teuteberg (2016) envision that the transition towards Industry 4.0 will be realised in three steps. First, the horizontal integration of IT systems, processes, and data flows among customers, suppliers, and other stakeholders. This will enable a closer and more effective collaboration among parties. Second, the comprehensive digitalisation of engineering processes using automation and cyber-physical systems. This will facilitate the production of highly customized products at low operational costs. Third, the vertical integration of IT systems, processes, and data flows among enterprises. This will result in smarter manufacturing environments across the entire value chain, from product development to manufacturing, logistics, and sales.

### **2.3 Industry 4.0 in the Construction Industry**

BIM has already digitized a significant portion of construction processes. The industry has shifted towards a more data-driven approach. 3D models are equipped with schedule and cost layers. Now, Industry 4.0 has introduced new technologies like sensor systems, advanced simulations, and intelligent machines. These technologies can be integrated with BIM to expand its capabilities, revolutionizing how construction

companies operate, design, communicate, and produce (Maskuriy, 2019; Ribeirinho et al., 2020).

Considering the construction industry's underperforming track record, Industry 4.0 technologies provide an opportunity to overcome the status quo and shift towards more sustainable, cost-effective, and efficient processes (Ribeirinho et al., 2020). According to Osunsanmi (2018), applying Industry 4.0 to construction is the integration of information that improves project monitoring and to create a smarter built environment. This information is collected by technologies like laser scanning, drones, and sensors; afterwards, they are integrated into different platforms through IoT. Österreich and Teuteberg (2016) provides a similar explanation, adding that the aim in introducing Industry 4.0 into construction is to "arrange and evaluate data from different stages of the construction project and from end users after completion of the construction project towards delivering a faster, more flexible construction project at a higher-quality and reduced costs" (pg. 124). Turner highlights the importance of achieving these aims by summarizing the consequences of the industry's current shortcomings:

Poor productivity [has] led to high construction costs, delays in construction projects and poor sustainability practices in the construction sector. The construction industry makes extensive use of natural resources . . . it consumes fossil fuels such as diesel and petrol for building machinery and transportation. All of these contribute to global emissions and the depletion of natural resources at an unsustainable rate. (Turner, 2020, pg. 1)

Interest in tackling these issues through Industry 4.0 technologies is rising. Germany's "High-Tech Strategy" initiative aims to develop its manufacturing sectors through technology based research and innovation. The strategy includes several construction related initiatives. Innovation Programme Future Building was launched in 2019 with the objective to provide "important impetus for the construction industry concerning climate protection, energy and resource efficiency, affordable construction, design features in the (urban) planning context and for coping with demographic change" (*The High-Tech Strategy 2025 Progress Report*, 2021, pg. 9). Additionally, the Lightweight Construction Technology Transfer Programme was launched in 2020 "to promote knowledge and technology transfer across materials and industries in

lightweight construction taking a life cycle assessment into account” (*The High-Tech Strategy 2025 Progress Report*, 2021, pg. 33).

Similarly, in 2013 the UK government and construction industry have formed a joint strategy called “Construction 2025.” This undertaking aims to achieve the following four objectives by 2025: reducing construction and lifecycle cost by 33%, accelerating construction by 50%, lowering construction-related greenhouse gas emissions by 50%, and reducing the trade gap between exports and imports of building materials by 50%. Several strategic priorities for implementing this vision include supporting businesses to leverage smart construction and digital design, maintaining protocols and standards, developing a technology based action plan, and addressing knowledge gaps in the workforce. The last strategic priority which is Research and Innovation is listed with the following Action: “Industry and Government will work with academic and research communities to bring forward more research, development and demonstration to the wider industry and work to remove barriers to innovation” (*Construction 2025*, 2013, pg. 71). Overall, these initiatives provide evidence that governments are well positioned to facilitate change and lead the construction industry into an era of end-to-end digitalisation.

It is important to note that BIM is key to the digitization of the construction industry. Newman et al.’s (2020) work on Industry 4.0 deployment in the construction industry concludes that: “Industry 4.0 is indeed the way of the future, and must be embraced. Largely, for construction however, the emphasis centres on BIM” (Conclusion section, para. 5). Similarly, Österreich and Teuteberg’s (2016) analysis found that BIM “is considered as the central technology for the digitisation of the construction manufacturing environment” (pg. 126). Much of the available literature on the topic highlights the centrality of BIM, presenting it as an immutable foundation for implementing Industry 4.0 in construction.

In their widely cited review, Österreich and Teuteberg (2016) identified and grouped the key technologies and concepts in the context of Industry 4.0 into three main clusters, as seen in Table 2.1 below.

**Table 2.1** Classification of Industry 4.0 technologies and concepts

Cluster	Key technologies and concepts in the context of Industry 4.0
Smart Factory (C1)	Cyber-Physical systems/Embedded systems/RFID Internet of Things/Internet of Services Automation Modularisation/Prefabrication Additive Manufacturing Product-Lifecycle-Management (PLM) Robotics
Simulation and modelling (C2)	Human-Computer Interaction (HCI) Simulation tools/Simulation models Building Information Modelling Augmented Reality (AR)/Virtual Reality (VR)/Mixed Reality (MR)
Digitisation and virtualisation (C3)	Cloud Computing Big Data Mobile Computing Social Media Digitisation

Source: Österreich and Teuteberg, 2016

This system of classification has since been used in numerous subsequent studies, such as the works of Osunsanmi (2018), Ebrahimi (2019), and Alaloul (2020). The following subchapters of this study will also make use of Österreich and Teuteberg’s (2016) classification system; however, some modifications have been made to better address the research objectives of this study. For example, “Smart Factory” was renamed “Smart Construction Site” for a more industry specific indication. Social media was omitted due to its limited relevance to the Turkish construction industry. Also, BIM was omitted due to having been mentioned in the previous chapter.

The Industry 4.0 concepts which will be presented in this chapter are listed below in Table 2.2.

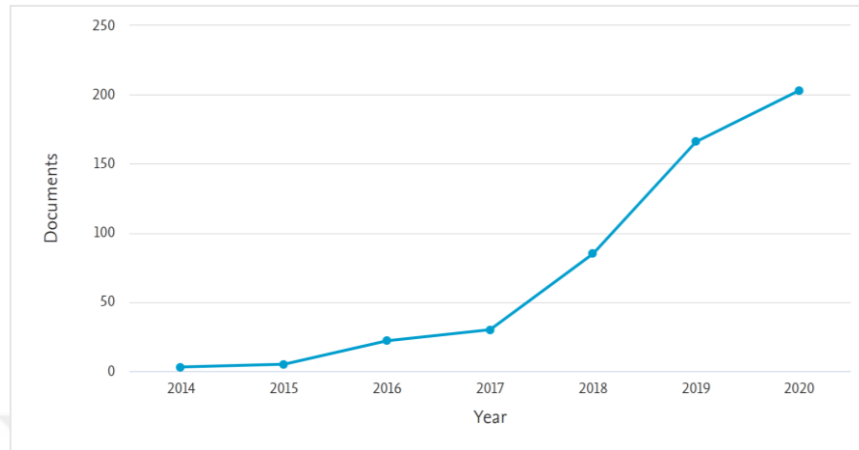
**Table 2.2** List of Industry 4.0 technologies and concepts in this study

Cluster	Key technologies and concepts for Industry 4.0 in the construction industry
<b>Smart Construction Site</b>	The Internet of Things (IoT)
	Cyber-Physical Systems (CPM)
	Automated and Robotic Equipment
	Modularization/Prefabrication
	3D Printing/Additive Manufacturing (AM)
	Human-Computer Interaction (HCI)
	Product-Lifecycle-Management (PLM)
<b>Simulation and Modelling</b>	Simulation Tools and Models
	Augmented Reality (AR)/Virtual Reality (VR)
<b>Digitisation and Virtualisation</b>	Cloud Computing
	Mobile Computing
	Big Data and Analytics
	Artificial Intelligence (AI)
	Digital Supply Chain

**2.4 Academic Interest for Industry 4.0 in Relation to Construction**

To measure the current state of research for Industry 4.0 technologies in the context of construction, a keyword search was conducted in the Scopus database. The following key phrases were inputted into the search query: “Industry 4.0,” “fourth industrial revolution,” “construction,” and “construction 4.0”. This search resulted in 597 publications. Titles and abstracts were thoroughly examined to exclude irrelevant publications. For example, several publications about shipyards, agricultural robots, and ontology were omitted. After the results were refined, 569 publications remained.

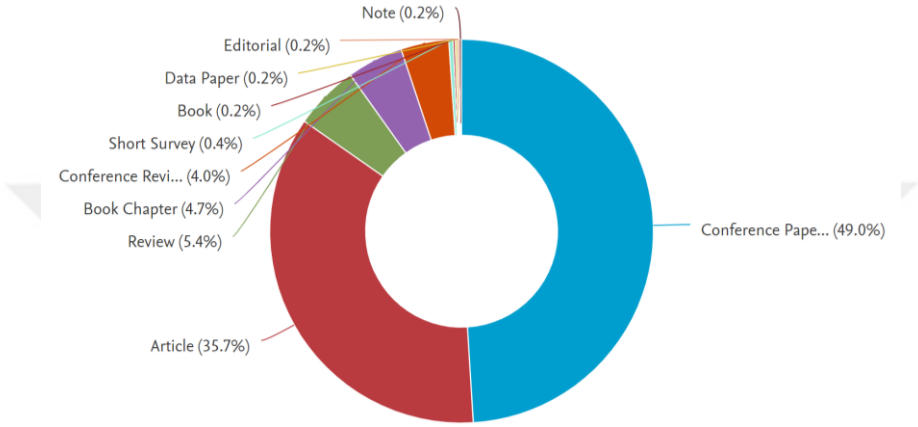
This search was conducted in May 2021. However, the date range for the graph in Figure 2.1 was limited to 2020 to prevent a misleading visual regarding the drop in number of publications.



**Figure 2.1** Frequency of publications by year (Source: Scopus, 2021)

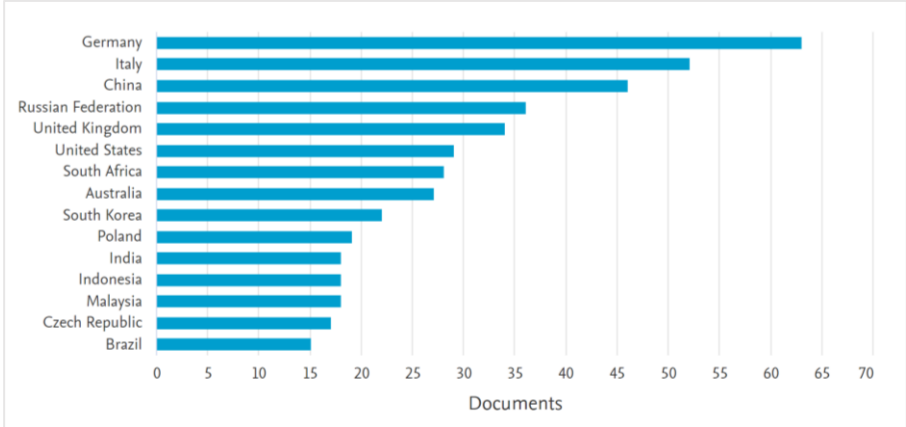
It is apparent from the line chart above that the academic interest in Industry 4.0 for construction is on the rise. Only three publications were issued in 2014 and five in the following year. 2016 and 2017 recorded 22 and 30 publications, respectively. A surge is observed in 2018, when 85 publications were issued. A bigger rate of growth is observed for 2019, which presents 166 publications. This is almost twice the amount compared to the previous year. The growth rate declined afterwards, as 2020 publications increased by only 37 from the previous year. This decline may be related to the COVID-19 pandemic.

As can be seen in Figure 2.2, most of the research is presented through conference papers which represent 49% of the publications (279 papers). Combined with conference reviews, this number rises to 53% (302 papers). Articles come in second place at 35.7% (203 articles) and reviews represent 5.4% (31 reviews). The remaining 5.9% comprise of books, short surveys, a data paper, an editorial, and a note. Thus, it is reasonable to assume that the conferences which were cancelled in 2020 due to the pandemic affected the number of publications that were issued.



**Figure 2.2** Publications by document type (Source: Scopus)

Regionally, the highest number of publications are issued from Germany (63 publications). This is unsurprising, since Industry 4.0 emerged in Hannover. Also, Germany’s High-Tech Strategy has caused a surge in academic interest towards the topic. Following contributions are from Italy (52 publications), China (46 publications), Russia (36 publications), and the UK (34 publications.) The top contributors can be seen in Figure 2.3. Turkey has four publications and ranks 32<sup>nd</sup>.



**Figure 2.3** Number of publications by country (Source: Scopus)



Naturally, these results are not exhaustive since the Scopus database does not contain every research. However, Scopus is widely used within the construction discipline and provides a strong coverage of contemporary developments (Newman et al., 2020). Therefore, 569 construction related publications in the ten years since the introduction of Industry 4.0 illustrates that adequate attention is still lacking from the industry, especially in Turkey. Whilst some interest is shown towards Industry 4.0 in relation to the Turkish construction industry, research is limited to BIM. Tekin and Atabay's 2007 study and Sakin's 2019 study provide extensive insights on the Turkish construction sector's position in regard to BIM. But very little attention has been paid to Industry 4.0 technologies. To date, only Ebrahimi's 2019 study was found; the research investigated AEC professionals' awareness on Industry 4.0 concepts.

## **2.5 Smart Construction Site**

### **2.5.1 The Internet of Things (IoT)**

The Internet of Things (IoT) refers to the concept of connecting things using wireless Internet connection and using this connection to facilitate communication and perform activities. This communication enables information gathering and monitoring (Gamil et al., 2020). Turner et al. (2020) highlight the significance of IoT integration with BIM for improving processes across a building's entire lifecycle:

The Internet of Things (IoT) is one of the key technologies that can enable the linking of BIM with real time (or near to real time) data. Combining BIM with IoT opens up the value of treating buildings and their components as intelligent products capable of providing information concerning their correct assembly and real-time status both during and after construction. (pg. 3)

IoT has three main layers. First, the perception layer which is the physical component that refers to hardware like sensors and devices. These gather information from their surroundings and connect with other smart devices within their reach. Second, the network layer, which is the network coverage that enables communication and data processing. Third, the application layer, which uses the previous two for deploying services to the user. Overall, these three layers enable the formation of smart buildings, smart cities, and smart transportation (Sethi & Sarangi, 2017).

Arowoiya et al.'s (2020) research indicates that prevalent IoT technologies in the construction industry are Wi-Fi, WSN, visualization, Bluetooth, and RFID. Gamil et al. (2020) list the main uses for IoT in construction:

- Preventive maintenance for on-site machineries using embedded systems and sensors in machines.
- Reducing admin expenditure through faster, better decision making based on data driven forecasts.
- Monitoring construction processes real-time and analysing progress; detecting deviances from planned schedule.
- Improving construction management practices by facilitating advanced communication between assets, like materials or machinery, and minimizing downtime.
- Monitoring human resources by tracking manhours for activities.
- Improving on-site safety by tracking labourers, monitoring their mobility, and detecting potential hazards or dangerous behaviour<sup>1</sup>.

Furthermore, they find that leading IoT applications generally occur in the design stage of smart cities, smart dwelling, and smart transportation; in the construction stage of bridges, railways, and tunnels; and in the maintenance stages of buildings. These applications provide improved monitoring and project execution, better quality control, faster decision making, and better crisis management (Gamil et al., 2020).

For Arowoiya et al. (2020), IoT is a model that promises a future where devices and everyday objects will communicate with each other through transceivers, microcontrollers, and protocol stacks. According to them, this communication will become a significant part of the internet. However, it is uncertain how big of a role the construction industry will play. IoT application in buildings presents numerous challenges. Gamil et al. (2020) classified these challenges into three areas: technical, administrative, and societal. The most pressing technical challenges are lack of

---

<sup>1</sup> The significance of construction safety cannot be overstated, as there are an estimated 60,000 fatal accidents on construction sites around the world every year. One in six fatal work accidents are attributed to the construction industry (Lingard, 2013).

security, network connectivity issues, and complexity of use. Internet connection creates vulnerability to attacks, which creates safety and privacy risks. Protection against external interference can be difficult and costly. From an administrative perspective, lack of standardization and laws may cause confusion and chaos. Socially, these factors may cause unwillingness to adopt new technologies. To overcome these obstacles, leaders must draft standards and laws, increase awareness, provide training, and promote further research on technical aspects (Gamil et al., 2020).

An effective way for promoting awareness is through industry conferences. Ghosh et al.'s (2019) paper presents successful implementations of IoT in construction. One example illustrates an automated safety inspection method for construction workers. The technology uses RFID-based location tracking, sensors, and infrared to check personal protective equipment (PPE) on labourers working at heights (Ghosh et al., 2019). Wearable technology tracks the workers' location, creates automatic inventories, detects risks, and sends safety alerts based on real-time data. Edirisinghe (2019) describes the future construction worker as wearing smart safety vests, smart hard hats, smart glasses, and wearable kits that can minimize injury during strenuous tasks (*IoT in Construction: Analysis of Innovations and Use Cases*, n.d.).

Another use case is an application in structural engineering. Foldable structural components embedded with IoT and Artificial Intelligence (AI) technologies can autonomously adapt their structure for resisting extreme loading conditions in real-time. The reconfiguration of a building's structure during an earthquake can prevent or delay collapse, allowing a prolonged time for evacuation (Ghosh et al., 2019; Naser, 2019). This has great implications, especially for geographies prone to natural disasters. Considering that Turkey is in an earthquake zone, applications of this nature could minimize damage and casualties.

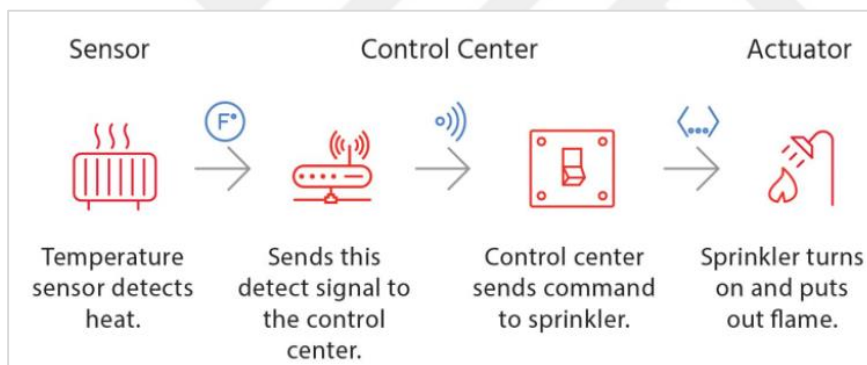
### **2.5.2 Cyber-Physical Systems (CPS)**

The German National Academy of Science and Engineering provides the following definition:

Cyber-physical systems (CPS) are systems with embedded software (as part of devices, buildings, means of transport, production systems, . . . and management processes), which:

- directly record physical data using sensors and affect physical processes using actuators;
  - evaluate and save recorded data, and actively or reactively interact both with the physical and digital world;
  - are connected with one another and in global networks via digital communication facilities (wireless and/or wired, local and/or global);
  - use globally available data and services;
  - have a series of dedicated, multimodal human-machine interfaces.
- (Acatech National Academy of Science and Engineering, 2011, p. 15)

Sensors gather data from the physical world. This data is then processed by network-based services. These services formulate a command based on the data, which they transmit to actuators<sup>2</sup> to form a physical response (Acatech, 2011). An example of a widely used CPS is the temperature detecting fire sprinkler system. The working of this system is illustrated in Figure 2.4.



**Figure 2.4** Sensors and actuators in IoT (Misra, 2017)

The sensor captures data from the environment and sends it to the control centre via IoT. The control centre makes sense of this data, signalling the relevant devices to act. This example encompasses both CPS and IoT systems. The two are similar and complementary concepts. In some sources they are interchangeably mentioned; there is some confusion surrounding the differentiation. IoT can be perceived as the evolved

---

<sup>2</sup> Actuators are devices that can manipulate the physical environment through a mechanism or system (Misra, 2017).

model of CPS (Acatech, 2011). The following explanation describes the differences between the two concepts:

[IoT] enables the interconnection of all types of devices through the internet to exchange data, optimize actuators and monitor devices in order to generate results. Cyber-physical systems, on the other hand, consists of computation and control components tightly combined with physical processes—providing the foundation for IoT. (*What is the Difference Between CPS and IoT?*, 2020, para. 11)

In the construction industry, CPS can integrate physical systems with the digital twin to create context-aware systems. These systems can facilitate physical action for adjusting the construction site or facility. For example, CPS can detect crane movements, analyse these together with the surrounding environment, and provide real-time instructions to the crane operator. Traditionally, crane operators have limited visibility on crane movements and surroundings, so they rely on auditory or visual signals from nearby construction workers. Consequently, up to one-third of construction site accidents involve cranes (Anumba et al., 2021).

Another benefit of CPS is the automated influx of real-time information from the field to the office. Although cloud computing has simplified collaboration, many applications still require some form of data entry, such as uploading images or typing messages. CPS applications can continuously feed the virtual model with real-time data from sensors.

Context-aware computing through CPS will enable getting tailored feedback during the construction and facility management stages. This can optimize construction processes and reduce safety risks, drastically minimizing injuries and casualties in the industry. The accuracy of digital twins will also increase as more environmental factors are reflected in the models. This can improve the comfort of inhabitants and simplify maintenance operations. Many aspects of a building can be supervised and manipulated through the virtual model, eliminating the need for tedious physical inspection and labour (Anumba et al., 2021).

### **2.5.3 Automation and Robotics**

Automation and robotics have been used in the manufacturing sectors for decades; yet their application in construction is rare and most research is based on prototypes (Soto et al., 2018). However, the uses from other sectors can be investigated and used as groundwork. As automation and robot technology becomes commonplace, the likelihood of a “technology transfer” to the construction industry becomes higher (Bock & Linner, 2015).

Bock (2015) categorizes construction automation into five areas: (a) robot-oriented design, (b) robotic industrialization, (c) construction robots, (d) site automation, and (e) ambient robotics. Robot-oriented design refers to tools and methodologies that enable the deployment of automation and robotics. This allows the simpler and more efficient implementation of advanced technologies to enhance conventional construction processes. Bock (2015) describes robot-oriented design as “the basis for automated construction and other robot-based construction sites” (p. 114).

Robotic industrialization consists of two main applications: large-scale prefabrication and building component manufacturing, otherwise known as additive manufacturing (AM) (Bock, 2015). Both applications will be discussed further in their own subchapters. Gantry robots, fixed robotic arms, and 3D printers are common robotic technologies for AM and the most prevalent form of robotics in the industry (Soto et al., 2018).

Construction robots are machines that perform single and repetitive tasks. Following successful albeit scarce applications of off-site prefabrication in the 1970s, a Japanese company developed construction robots that functioned on the site. However, their use without the organization of the site caused ineffective and high-risk environments. Nevertheless, these robots created the basis for today’s integrated robotic sites (Bock, 2015).

Site automation is the integration of single-task repetitive robots into on-site environments to create networked machine systems. Site automation has proven to improve organization and material flow. In Figure 2.5, the image on the left illustrates an automated construction site based on a robot-oriented design. On the right, a single-task construction robot is shown painting the façade of a building. To date, these applications are generally limited Japan, Korea, and Germany (Bock, 2015).



**Figure 2.5** Left: Robot-oriented design in an automated construction site. Right: Single-task construction robot painting a façade. (Bock, 2015)

Lastly, ambient robotics are technologies that are used throughout the operation and maintenance stages. These robots have embedded sensors to perform customizable services based on the requirements of the environment (Bock, 2015).

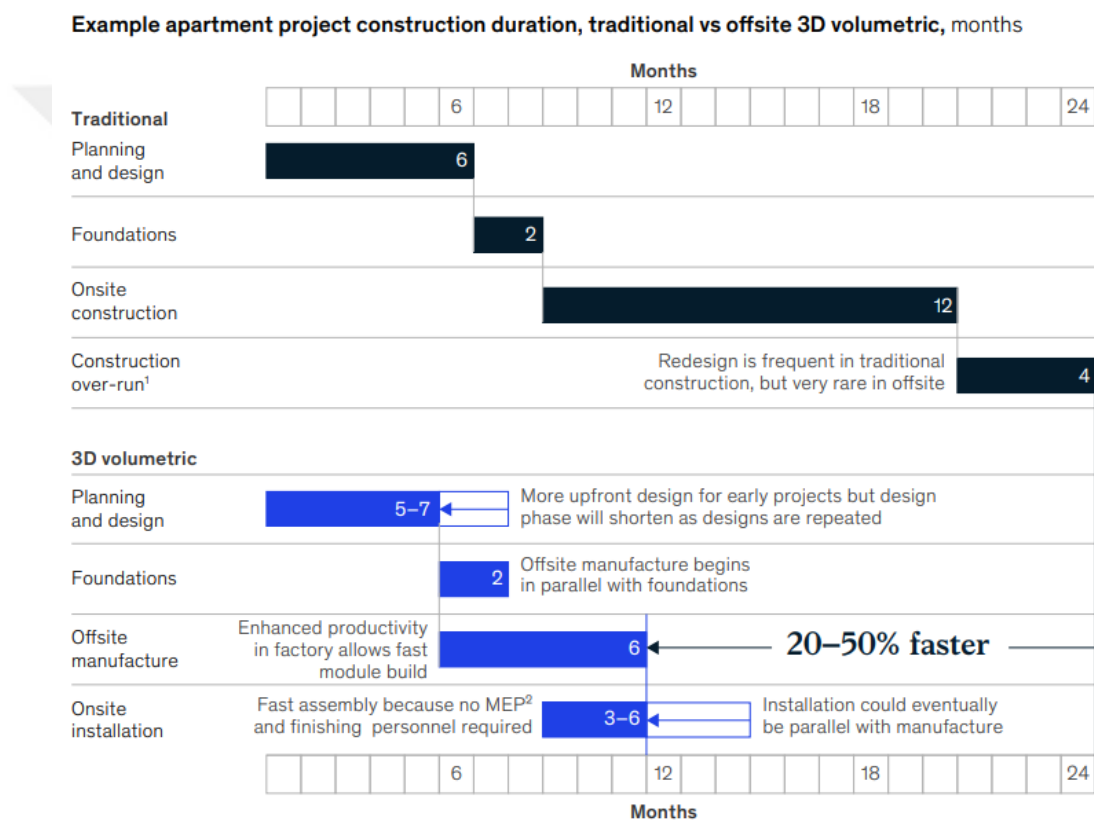
If implemented, automation and robotics have the potential to boost construction productivity. Machines are not susceptible to physical limitations such as fatigue or human error. Also, their use in high-risk situations would reduce construction related work accidents. The manufacturing sectors have already proven the benefits of high-level automation (Bock & Linner, 2015; Soto et al., 2018). However, automated construction sites may be farther in the future. Currently, automation in off-site manufacturing environments is becoming more common, due to the rise in modular and prefabricated buildings.

#### **2.5.4 Modularisation/ Prefabrication**

McKinsey research shows that modular construction is a key area of action for raising productivity levels in construction. Barbosa et al. (2017) agree that “rethinking design and engineering processes” in terms of a production system is the most impactful action for kickstarting the sector’s stagnant productivity (p. 8). Excluding projects that require unique solutions, construction can be standardized: the increased use of prefabricated standardized components is encouraged, as well as the widespread use of standard design libraries. On-site construction can be minimized by producing pre-cast components in manufacturing facilities and partly assembling panels in factories (Barbosa et al., 2017). Although modular construction has been widely used in low-rise buildings so far, recent years have seen an increase in their use for multi-storey and high-rise buildings. The benefits of modular construction can be treated under five aspects: (a) reduced project duration, (b) reduced cost, (c) reduced carbon footprint, (d) fewer health and safety risks, and (e) improved quality control processes (Barbosa et al., 2017; Bertram et al., 2019).



Modular projects have consistently presented a 20-50% acceleration of project timelines. Standardized libraries provide great opportunity for reduction in design time. Offsite manufacturing allows for repeating and automating of activities, easier access to tools, and controlled weather conditions. Furthermore, construction workflow sequences are quickened because offsite manufacturing can overlap with onsite foundation work. Figure 2.6 below compares construction project timelines for traditional and modular apartment projects. While traditional construction dictates that each phase must follow the next, modular construction allows for overlap between phases (Bertram et al., 2019).



**Figure 2.6** Comparison of project timelines for typical, hypothetical apartment project construction (Bertram et al., 2019:11)

In addition, prefabrication strategies can amount to a 20-40% decrease in costs compared to traditional construction methods. Studies show that with correct implementation, modular construction in Europe and the United States could deliver up to \$22 billion in annual savings by 2030 (Bertram et al., 2019). Reduced project costs also facilitate housing affordability, an issue which will gain even more

importance as city populations rise. Moreover, the reduction of on-site work minimizes construction waste and air pollution. There is a higher opportunity for using recycled products at the manufacturing stage. Typically, modular projects are sustainable and present high energy efficiency, resulting in more eco-friendly building lifecycles (Barbosa et al., 2017). In a factory environment, supervision of labour and quality control processes is improved. This results in enhanced energy consumption rates, structural integrity, and seismic performance. Furthermore, the controlled environment of factories and the reduced work involving difficult weather conditions or high altitudes minimizes the risk of construction accidents. Building manufacturing and assembly typically requires a series of standardized, repetitive activities with few variables (Barbosa et al., 2017). Overall, these factors lead to a more efficient process. Additionally, lessons learned from each modular project can be used in the next, since factory conditions remain the same. Designs and the manufacturing process can be streamlined with each project (Boston Consulting Group, 2016; Bertram et al., 2019).

Chinese construction company Broad Sustainable Building (BSB) is a leader in prefabrication. 90% of its components are produced off-site. BSB's Mini Sky City project in 2015 gained significant media attention. The 57-storey building was completed in 19 days at a rate of three storeys per day. Similarly, their 15-storey Newark Hotel and 30-storey T30 building were completed in 6 and 15 days, respectively. Total cost of the projects were less than \$1000 per square metre. Currently, the company's Xiangyin factory can produce 5 million square meters of components per year (Generalova et al., 2016).



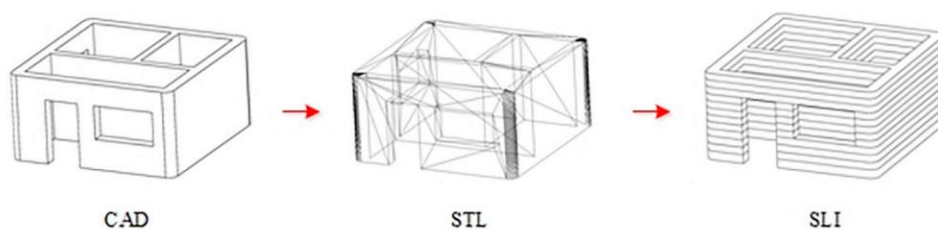
**Figure 2.7** Top left: Prefabrication assembly line. Top right: Assembly of Mini Sky Tower. Bottom: Transportation of prefabricated components. (Generalova et al., 2016)

Figure 2.7 above shows a BSB factory production line, a flat back truck carrying prefabricated components, and the assembly of Mini Sky Tower. Standardized floor plates with steel frame structures are prefabricated in large production lines, where they are equipped with electrical cables, ventilation systems, sound and heat insulation, and floor finishes. Exterior walls are prefabricated with windows and integrated solar shading. Load-bearing structural steel columns are also produced in production lines. These are then transported to the construction site, where they are assembled using bolted and welded joints. On-site construction mainly consists of connecting the steel columns, bolts and wall panels, and joining the pre-installed wiring and piping between floor plates (Generalova et al., 2016; Boston Consulting Group, 2016). In a typical modular project, five workers can assemble approximately 260 square meters of finished floor area per day, which is significantly faster than conventional methods (Bertram et al., 2019). BSB buildings have magnitude nine earthquake resistance, five times higher energy consumption efficiency compared to traditional Chinese buildings, and advanced air purification systems. Moreover, buildings are made of recycled steel and production waste is at 1%, compared to 5%-10% for traditional construction methods (Boston Consulting Group, 2016).

### 2.5.5 3D Printing/ Additive Manufacturing (AM)

Tay et al. (2017) assert that 3D printing and AM are synonymous. They define it as “an advanced manufacturing process that can produce complex shape geometries automatically from a 3D CAD model without any tooling, dies and fixtures” (pg. 1). Paolini et al. (2018) present the following explanation provided by international standard ISO: the “process of joining materials to make parts from 3D model data, usually layer upon layer” (para. 2). A further definition of AM is given by Buswell et al. (2018) who describe it as the utilization of “computer-controlled placement of extruded cement-based mortar to create physical objects layer-by-layer” (para. 1). This definition includes material information as well and relates specifically to the construction industry.

AM was first used to produce models and test products during the design stage. Currently, the automotive, aerospace, and medical industries actively use the practice (Craveiro et al., 2019). Both Paolini et al. (2019) and Craveiro et al. (2019) agree that industrial use of AM is becoming more commonplace and that its benefits deem it an attractive alternative to conventional manufacturing processes. Figure 2.11 below illustrates the main steps for producing an object through AM. First, a 3D CAD model is created. Second, the model is typically converted into STL format. Third, the file is sliced into multiple 2D cross-sections. Lastly, the cross-sections are sent to the AM system and printed incrementally (Tay et al., 2017; Craveiro et al., 2019)



**Figure 2.8** The process for producing an object through AM (Craveiro et al., 2019)

Research and applications on printing building components have gained considerable popularity in the last decade (Österreich and Teuteberg, 2016). Predominantly, AM elements are produced off-site and assembled on-site, creating partially 3D printed structures. Larger-scale systems are slowly proliferating, enabling end-to-end on-site applications (Craveiro et al., 2019) Recently this year, an entirely 3D printed building in Europe was commercially rented as living quarters for the first time (Boffey, 2021).

The most common application in construction is AM of concrete, otherwise known as 3D concrete printing. Concrete mixture is pumped through a hose and extruded through a nozzle; concrete filaments are printed at the desired location with the help of a motion-controlled robot; these filaments then bond with the previous layer and solidify (Bos et al., 2016; Buswell et al., 2018). Figure 2.12 show a residential building construction project in Germany. The two-storey structure is comprised of triple-skin cavity walls, an insulation compound, and installation works within the cavities (Harrouk, 2020).



**Figure 2.9** Left: 3D printed concrete filaments. Right: Top-down view of the construction site (PERI GmbH, 2020)

If embraced, AM has the potential to transform the construction industry. The advantages of an AM approach to building include: (a) minimized construction waste, (b) increased site safety, (c) opportunities for more complex geometries, (d) elimination of formwork costs.

All sources confirm that AM in construction requires fewer resources and produces less waste compared to conventional building methods (Perrot et al., 2016; Tay et al., 2017; Paolini et al., 2019). Moreover, some companies use recycled construction waste materials in the printing material, further contributing to a design's sustainability (Craveiro et al., 2019).

AM also translates to the replacement of human labour by robots. (Perrot et al., 2016; Tay et al., 2017) It eliminates the need labour-intensive manual work like bricklaying, installation of reinforcement, or concrete casting; thus reducing the physical workload of construction and preventing work related injuries. Furthermore, construction projects in hazardous environments can be done with minimal human intervention (Paolini et al., 2019).

Furthermore, combining 3D printing with BIM allows for creating more customized and complex designs (Tay et al., 2017; Paolini et al., 2019). Perrot et al. (2016) indicate that constructing concrete structures without formwork gives an unprecedented level of “architecture freedom” (para. 1). Another advantage to eliminating formwork is cost reduction. Formwork accounts for 35-60% of the total budget for concrete work. Without it, procurement costs are reduced, and a shortened supply chain leads to accelerated production rates. This provides ample opportunities for mass production (Craveiro et al., 2019).

Nevertheless, AM still has several important limitations. Research is required for developing new printing materials and technologies. Producing non-supported structures like overhangs or roofs is a significant challenge. And despite low printing costs, initial investment into the technology can be high compared to conventional methods. Therefore, many stakeholders maintain reservations regarding AM’s cost efficiency (Craveiro et al., 2019).

#### **2.5.6 Human-Computer Interaction (HCI)**

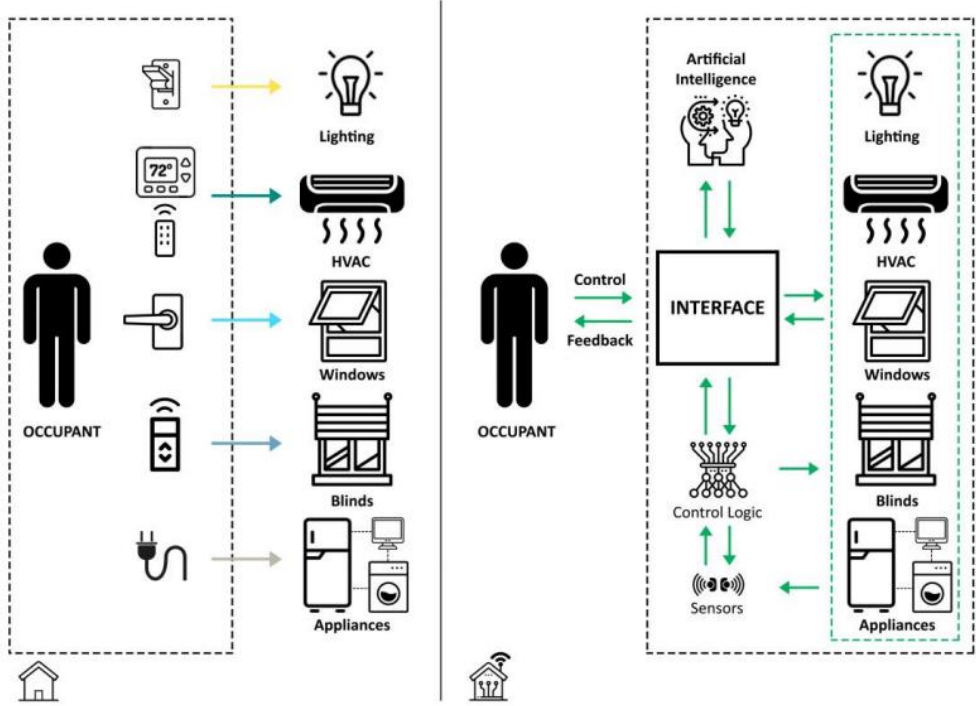
Human-Computer Interaction (HCI) is a discipline that studies the design of computer technology with an emphasis on user experience. It focuses on how this interaction affects human work and activities and HCI researchers aim to produce designs that facilitate convenient, comfortable experiences (Dix, 2009). While the discipline originated from computer science, it now extends to practices like cognitive science, ergonomics, and recently construction (“What is Human-Computer Interaction?”, 2021). According to Österreich and Teuteberg (2016), HCI is a significant factor in achieving a digitised construction industry: “in many cases, the way humans interact with technology, e.g. with robotics, is considered as the main key to implementing a successful solution on construction site” (pg. 130). Nonetheless, conducting a literature review on HCI in relation to construction yields limited results. One conference paper investigates the use of eye tracking technology for hazard identification on construction sites to improve safety (Ye & König, 2019). Two studies propose that HCI can be used for teaching AEC students and professionals, since HCI modes can be combined with BIM applications to offer a more visual and interactive teaching experience (Irizarry et al., 2013; Vassigh et al., 2018). Remaining sources are focused on Human-Building Interaction (HBI).

HBI looks at the interactions between humans and digital artefacts that pertain to the built environment (Alavi et al., 2016). However, a generally accepted definition of HBI is lacking. According to Nembrini and Lalanne (2017), this is due to the interdisciplinary nature of HBI. Another reason might be that current studies on HBI are largely hypothetical with few existing applications. In fact, several studies are call-to-actions which aim to persuade HCI researchers to contribute to the field of HBI. Alavi et al. (2016) assert that “the HCI community [has a responsibility] to intervene and involve the user in the Human-Building Interaction (HBI) practice” (para. 2), while Nembrini and Lalanne (2017)’s research introduction reads emphasizes “the aim to establish HBI as a relevant component of HCI research” (pg. 2). Similarly, Topak and Pekerikli (2020) describe how HCI research can contribute to HBI, innovating the way in which people interact with the built environment that they inhabit.

These studies hypothesize that in the future, buildings will have a common building interface that acts as a mediator between occupants and building components. This interface, powered by AI and IoT, will act on occupant inputs and environmental parameters as well as automating various occupant-specific preferences. This shift in the way people interact with their surroundings will be fuelled by advancements in sensory systems that can be integrated into building infrastructures (Alavi et al., 2016; Nembrini and Lalanne, 2017; Topak and Pekerikli, 2020).



Figure 2.13 below illustrates the projected transition in HBI modalities. Several traditional interactions like switching lights, adjusting thermostats, opening doors or shutting blinds may be replaced by interface navigation or automation (Topak and Pekerçli, 2020).



**Figure 2.10** Transition toward Human-Building Interaction (Topak and Pekerçli, 2020)

Aside from human comfort, HBI focuses on maximizing energy efficiency. HBI applications can impact user behaviour by suggesting alternatives that reduce energy consumption. This creates a dialogue between building and occupant, requesting that the latter assume accountability for energy efficiency. For instance, occupants may be induced to lower blinds or use insulating curtains for lowering the temperature. Hence, activities like heating, cooling, lighting, and ventilating are realized using minimal amounts of energy (Nembrini and Lalanne, 2017). Conversely, Shen (2015) argues that behaviour change evokes inconvenience and difficulty. According to them, HBI must analyse occupant habits and leverage that knowledge to create energy-saving opportunities. Shen (2015) proposes a user-centred approach that “facilitates and empowers building occupants to live and work using less energy” in a convenient and effortless way (pg. 9). A well-known example of this approach are hotel rooms that require a key card to be inserted into the light switch for turning on electricity. While



inside the room, occupants benefit from having a place to keep their room key without it being misplaced. Meanwhile, the hotel prevents excess energy consumption from guests that forget to turn off the lights (Shen, 2015).

The influence of computing power and technology on occupants' experience with the built environment is growing. However, HCI within the construction industry is still a novel concept. The available research consists of future frameworks, proposals, and hypotheses. Alavi et al. (2016) theorise that extensive HBI practices will become commonplace by 2030.

### **2.5.7 Product-Lifecycle-Management (PLM)**

Österreich and Teuteberg (2016) define Product-Lifecycle-Management (PLM) as “a concept which deals with the seamless integration of all information produced throughout all phases of the whole lifecycle of a company's product” and describe it as a “key element to enable a digital value chain” (p. 129). Terzi et al. (2010) provide a simpler description: “A PLM environment enables collaboration between various stakeholders of a product over its lifecycle” (p. 363). PLM is often associated with BIM. Both approaches integrate processes, stakeholders, technology, and information across a product's lifecycle. In some sources, the two terms are used interchangeably (Österreich and Teuteberg, 2016).

These associations are typically instances in which PLM attributes from manufacturing are mirrored onto BIM to improve project performance in the AEC industry. PLM preceded BIM and many aspects of the latter are derived from the former (Jupp, 2016). Mangaliardi et al.'s (2017) comparative study of BIM and PLM clarifies the distinction. BIM pertains to the AEC industry and, in some cases, the shipbuilding industry. Conversely, PLM is rarely used for the AEC industry; however, complex manufacturing sectors like the automotive and aerospace industries are exclusively mentioned with PLM. Another difference is that the level of Information Communication Technology (ICT) adoption associated with BIM is typically much lower compared to PLM, which demonstrates higher levels of integration and consolidation across supply chains. This is because the manufacturing industry has been adopting PLM systems significantly longer than the AEC industry's adoption of BIM. Also, the construction sector's project-based and fragmented nature complicates

seamless integration across processes. Thus, standardization of processes becomes highly difficult, which affects BIM adoption rates.

As previously mentioned in this study, the construction industry is lagging in productivity compared to the manufacturing industries. Therefore, it would be highly beneficial for AEC professionals to continue learning from PLM case studies and enhance BIM processes (Boton et al., 2016). For instance, Yousefnezhad et al.'s (2020) case study illustrates a real-world example of a campus building that integrates a feature of PLM with the digital twin to manage and manipulate the lifecycles of smart products in an IoT environment. This application enhances data processing and decision making, creating new opportunities for research regarding smart buildings.

## **2.6 Simulation and Modelling**

### **2.6.1 Simulation Tools and Models**

Construction projects can be affected by a wide range of external variables; examples include weather conditions, labour performance, variations in supply, and fluctuations in local currency. Simulation tools and models integrated with BIM help to formulate effective plans against these variables, as well as optimizing various design aspects. Hence, they aid design development, project planning, resource planning, and project management (Österreich and Teuteberg, 2016; Ram and Khan, 2019).

BD and simulations appear to be closely linked, as the analyses and predictions are often based on previously collected information. When discussing simulations, Ram and Khan (2019) assert that “the integration of BD–BIM helps designers at early design phase as it enables gaining an integrated and visualized view of building performance” (p. 570). Likewise, Wang and Zhai (2016) found that BD integrations enable advanced simulations that enhance building performance across the entire lifecycle. Simulations on building performance are widely used at the design stages to evaluate lighting, energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, and construction waste.

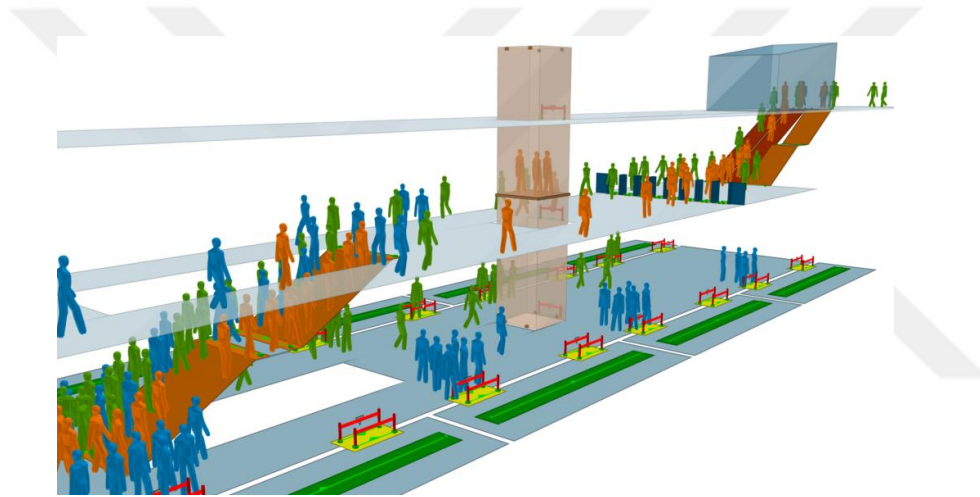
Revit's embedded daylight analysis tool has been widely used in the industry for many years. Users can analyse illuminance as well as sun and shadow studies. Using this insight, designers can optimize shading features, artificial lighting, and window

placement. These strategies help to maximize occupant comfort, avoid glare, and predict energy savings ("Daylight Analysis in BIM", 2018; Majeed et al., 2019).

Energy simulation software simulates a building's energy consumption and efficiency based on the BIM model and provided parameters (Bilal et al., 2016). Thermal insulation software tools can "determine the appropriate size of HVAC systems, analyze the energy consumption, and calculate the cost of the energy used" (Sousa, 2012, p. 1). Users can also determine whether efficiency rates abide by client specifications, regulations, or by certification programs such as LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

Construction waste minimisation is another significant gain that can be achieved using simulation tools. There are several studies which investigate optimization of construction and demolition waste management through simulations (Hao et al., 2007; de Guzmán Báez et al., 2012; Bilal et al., 2016). Bilal et al. (2016) describes how waste estimation at the early design stages helps to proactively minimise waste, while Baez et al.'s (2012) proposed model evaluates waste management plans against local regulations.

Aside from the more common simulation tools mentioned above, there are specialized tools for specific types of projects. For example, pedestrian simulation tool MassMotion is used for railway projects to reduce passenger congestions in stations. The software can be integrated with the BIM model. It provides 3D model animations and numerical reports that show the impact of train schedules and passenger behaviour. Figure 2.11 below illustrates a MassMotion animation still of pedestrian movement in a railway station. The different colours of the pedestrians symbolize whether they are boarding or disembarking, as well as the metro line they pertain to (Kırlangıçoğlu and Döker, 2018). Designers use this information to determine optimal placements for staircases, elevators, and turnstiles. If necessary, train arrival patterns are also modified (King et al., 2014; Keskin, 2017).



**Figure 2.11** MassMotion simulation of pedestrians in a railway station (Source: Oasys, n.d.)

A 2014 study on Canadian subway interchange stations states that “adjusting the train arrival pattern was found to cause as much as a 63% reduction in the congestion passengers experienced” (King et al., 2014, p.27). In Turkey, projects that utilized MassMotion include the Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy, Başakşehir-Kayaşehir, Bostancı-Dudullu, and Gaziantep metro lines. Other use cases for MassMotion may include shopping centre projects, airport projects, and football stadium projects (Keskin, 2017).

Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) can also be used to enhance simulation tools and models by providing rich and interactive visuals. Bilal et al. (2016) discusses the possibility of “virtual site visits, proactive schedule dispute

identification and resolution, and as-planned vs. as-built comparison” by combining simulation software with AR applications (p. 516). These will be discussed further in the following section.

### 2.6.2 Augmented Reality (AR)/ Virtual Reality (VR)

Alizadehsalehi et al. (2020) define VR as “computer technologies that use software to generate realistic images, sounds, and other sensations that represent an immersive environment and simulate a user's physical presence in this environment” (pg. 115). AR is a less immersive technology compared to VR; it superimposes interactive digital content onto the real world. This content is predominantly accessible from PCs, tablets, or smart devices (Alizadehsalehi et al., 2020). Elghaish et al. (2020) provide the following descriptions: VR “allows the replacement of a user’s perception of the surrounding environment with a computer-generated artificial 3D environment,” while AR “integrates images of virtual elements into the real world” (para. 3). Table 2.3 compares VR and AR technologies regarding artificiality of content, interactivity, and technology medium.

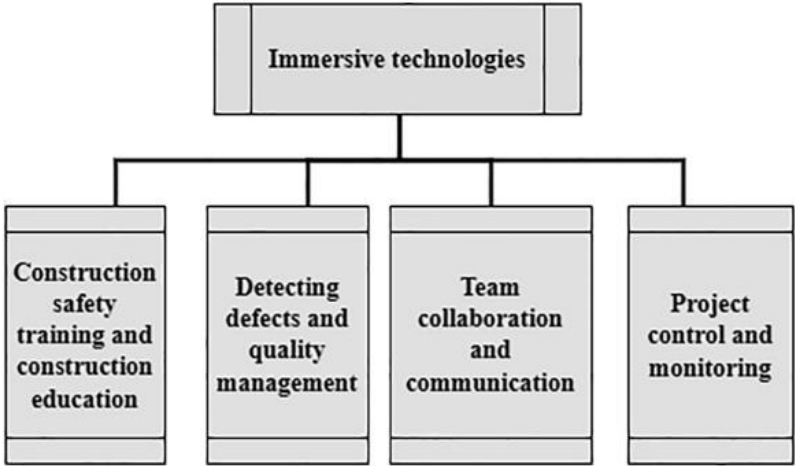
**Table 2.3** Comparison of VR and AR technologies

	<b>VR</b>	<b>AR</b>
<b>Virtual Content</b>	High	Low
<b>Real Content</b>	Low	High
<b>Interactivity</b>	Low	Middle
<b>Type</b>	Desktop/Mobile/ Standalone	Desktop/Standalone

Source: Alizadehsalehi et al., 2020

Elghaish et al. (2020) attribute the increased use of AR and VR in the construction industry to the increased affordability and popularity of drones. AR and VR applications are often used to display data collected by drones, which are used to automate site-based data collection. This eliminates the need to perform in-person inspections and take photographs, which is particularly important for projects that span over large areas. Another common application in this context is laser scanning. Laser scanning processes visual data through photogrammetry to create point cloud data which is then transferred into a BIM model. Laser scanning is often used for capturing

the initial site or as-built information. These technologies combined with AR or VR applications reduce the need for labour-intensive data collection (Elghaish et al., 2020). Meža et al.’s (2014) study found that tracking and monitoring a construction project is best done through AR applications. Stakeholders can perform site surveys, monitor project progress, and compare construction against the BIM model (Elghaish et al., 2020). Likewise, Turner et al. (2020) hold the view that conveying information in a visual and context-aware manner is critical to digital twin applications. They write that “technologies like AR provide a unique visualization solution that enables a worker to document, monitor construction site activities and mark up important information for a digital twin to intelligently run offline hypotheses generation and analysis” (p. 5). Nevertheless, “project control and monitoring” appears to account for the fewest number of publications on immersive technologies in construction. Elghaish et al.’s (2020) extensive literature review identified four major areas of application; Figure 2.12 below presents the areas of academic studies in decreasing order by number of publications, left to right.



**Figure 2.12** Applications of immersive technologies in construction (Elghaish et al., 2020)

Construction safety training and construction education are the leading topics. Although studies and technologies vary, researchers have obtained exclusively positive results from introducing AR and VR into their operations (Elghaish et al., 2020). Workers can undergo safety training sessions in a virtual environment without any risks (Österreich and Teuteberg, 2016; Li et al., 2018; Alizadehsalehi et al., 2020; Turner et al., 2020). Some AR headsets can identify hazards and warn workers in real-

time. Furthermore, they can help assemble parts with increased accuracy (Turner et al., 2020).

The second most popular topics are defect and quality management. This is due to the industry's widespread problem regarding reworks. The high costs and time consuming nature of on-site inspections heightens the importance of accelerating inspection processes (Elghaish et al., 2020). AR helps inspectors to identify defective onsite work in a much faster manner, while an enhanced understanding of complex geometries through AR makes it easier to detect design flaws at the initial stages (Alizadehsalehi et al., 2020).

Team collaboration and communication come in third place. The use of immersive technologies in facilitating collaboration among contractors and clients at the early stages is significantly convenient. VR applications can provide visuals that enable a much better comprehension on design details compared to 3D BIM models; thus, preventing miscommunication throughout decision-making stages (Österreich and Teuteberg, 2016; Turner et al., 2020).

## **2.7 Digitisation and Virtualisation**

### **2.7.1 Cloud Computing**

Cloud computing is the delivery of computing services through the internet. The services include software, databases, data storage, servers, and networking. The National Institute of Standard and Technology (NIST) defines cloud computing as a model that provides universal and on-demand network access to a shared pool of devices (Mell & Grance, 2011, p.2). Ebrahimi (2019) summarizes the concept as “outsourcing data storage and processing to a third-party data center” (pg. 40).

Cloud technology removes the inconveniences of traditional ICT practices such as the requirement for on-site storage, the high investment costs for hardware, the operational costs for maintenance, the safety risks, the inaccessibility to information, and the lack of scalability. Cloud computing has five key attributes: (a) on-demand self-service, (b) Rapid scalability, (c) affordable storage, (d) measured service, and (e) a collaborative platform (Mell & Grance, 2011; Newman et al. 2020; Bello et al., 2021).

Traditional ICT methods require human interaction and waiting periods for procurement, delivery, and installation. But cloud computing can be unilaterally

purchased from the provider's website and does not require lengthy installations (Mell & Grance, 2011). Cloud computing can scale to meet short-term demands without supplementary infrastructure. Users can expand or shrink storage capacities, service features, and user accounts as needed. This allows companies to adapt their IT resources to varying requirements throughout the project stage. Furthermore, it eliminates the need to predict storage and processing requirements at the beginning of a project, which is difficult and often yields inaccurate results (Newman et al. 2020; Bello et al., 2021). The availability of affordable storage becomes critical as technologies like IoT, AR, and 7D BIM popularise. These applications generate massive volumes of data; on-premises solutions would be significantly expensive and would require ample physical space. Cloud providers offer competitive prices at virtually no operational costs (Bello et al., 2021).

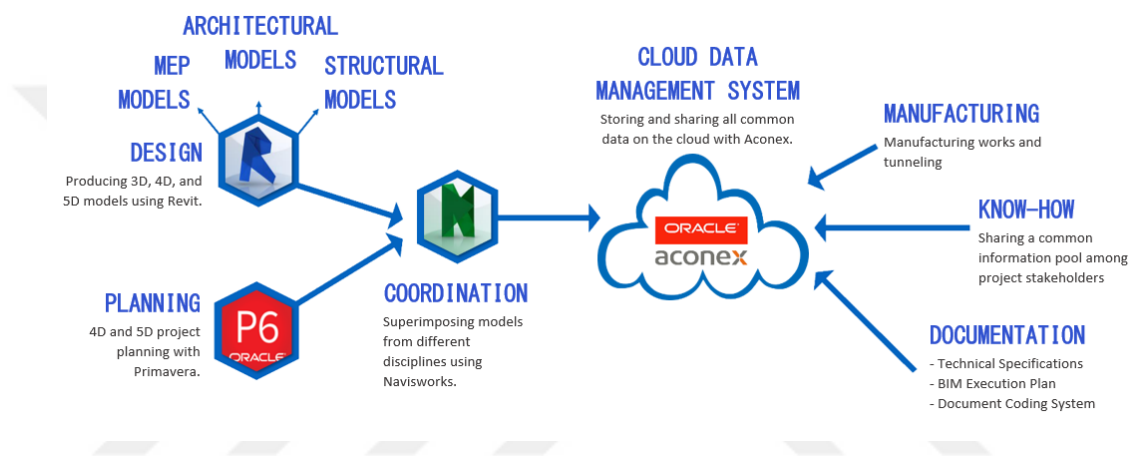
Moreover, cloud computing abides by a pay-as-you-go pricing model. Customers pay according to the storage, processing, bandwidth usage or number of accounts they use. Many services offer fixed pricing models as well, where users can choose a package within the range of their needs pay a monthly fee. Furthermore, users can monitor their usage to determine exact IT costs according to project, construction phase, and team (Mell & Grance, 2011). This transparency enables companies to make more accurate predictions on the extent of services they will need for future projects, therefore producing more accurate cost forecasts.

Another important aspect is the accommodation of multiple users who can access a central repository for real-time construction data through a shared online network (Bello et al., 2021). Users can access their cloud services regardless of time and location, by means of any smart device that has a working internet connection (Mell & Grance, 2011). This provides seamless communication between stakeholders. For instance, site engineers can rapidly access modifications made by the technical office. This facilitates an organized, collaborative practice and prevents errors caused by outdated information.

Österreich and Teuteberg (2016) assert that the industry is not invested in cloud computing as a singular solution, but instead as a “key enabling technology for BIM, for project management applications, payroll solutions, Enterprise Resource Planning (ERP) systems or digital document management platforms to create a single source of



truth for the project team” (pg. 130). This is exemplified in the Dudullu-Bostancı Metro Project, a thirteen-station railway construction in Istanbul. Project Architect and BIM Coordinator Türkeri states that the project’s architectural, structural, and mechanical, electrical, plumbing (MEP) models were created on Revit; 4D and 5D BIM integrations were made using Primavera; while time simulations and interdisciplinary clash detection tests were achieved through Navisworks. All these processes were merged and coordinated using Oracle Aconex, a cloud project management software developed for the construction industry (Türkeri, 2020). Figure 2.13 illustrates the information flow throughout the project.



**Figure 2.13** Cloud-based data management architecture of the Dudullu-Bostancı Metro Project (Türkeri, 2020)

Oracle Aconex provides its users with a Common Data Environment (CDE) that connects all project and model information. This CDE is the “single source of truth” mentioned by Österreich and Teuteberg (2016). Users can access documents, reports, 3D models, BIM workflows, and correspondence from a web browser or application using cloud technology. In the Dudullu-Bostancı Metro Project, users were able to track modifications on the BIM model in real-time and access up-to-date information using Aconex. Subcontractors, field engineers and supervisors on the site could view the latest revision of a project using mobile devices and report to the office through the web (Türkeri, 2020; *Aconex Project Delivery and Controls*, n.d.). Türkeri (2020) emphasizes that interdisciplinary coordination is essential for timely and accurate manufacturing of building components. Cloud technology’s five attributes mentioned previously are a significant contribution to the industry’s ability to collaborate.

### **2.7.2 Mobile Computing**

Mobile computing refers to accessing cloud technologies through mobile devices: laptops, notebooks, tablets, wearable computers, and smartphones. The agility of mobile devices enhances the availability and practicality of accessing the cloud (Kim et al., 2013). In Edirisinghe's (2018) words, "mobile computing enables connectivity anywhere, anytime" (para. 2). The widespread use of smartphones amplifies the opportunities for optimizing construction processes. Tracking the location of construction workers and equipment on the site becomes easier due to smartphones' embedded features. Time spent looking for materials is minimized. GPS navigation allows users to tag their location when sending photographs for reporting various site conditions to the design office. Gyroscopes and accelerometers allow phones to sense their orientation, enabling the use AR applications on-site (Kim et al., 2013).

Today, an increasing number of software vendors offer integrated mobile computing solutions for the construction industry. Smartphones have become such an indispensable part of the construction site that in 2013 construction equipment manufacturer Caterpillar released its first rugged smartphone<sup>3</sup>. Currently, the company offers a variety of smartphones and mobile phones that can be operated with gloves, are water resistant, provide loud audio for noisy environments, have high damage resistance to drops, and possess thermal imaging capabilities (Catphones.com).

Mobile computing reduces response waiting time and facilitates better collaboration between the site and the office. On-site project members can access up-to-date documents on the go; meanwhile, the office can track progress and provide preventative feedback when needed.

### **2.7.3 Big Data and Analytics**

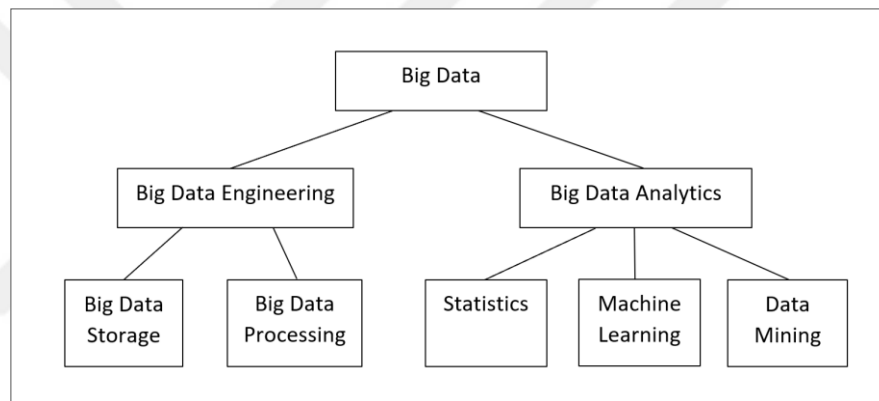
As previously stated, construction projects generate enormous volumes of data when advanced technologies are implemented. Information can be accumulated from people, computers, machinery, embedded devices, or sensors networks throughout the lifecycle of a structure. This diverse set of information is known as Big Data (BD). The Gartner IT Glossary defines BD as "high-volume, high-velocity and/or high-variety information assets that demand cost-effective, innovative forms of information

---

<sup>3</sup> A type of smartphone that is highly resistant to extreme conditions.

processing that enable enhanced insight, decision making, and process automation” (“Big Data”, n.d.). BD is very large and in constant exponential growth, too voluminous and complex to be stored and processed with traditional data management tools (Bilal et al., 2016; Ram, Afridi & Khan, 2019).

While BD is the acquisition and generation of information, the real value comes from processing this information to extract useful insight. Illustrated in Figure 2.14 are the two main components of BD: Big Data Engineering (BDE) and Big Data Analytics (BDA). BDE involves the storage and processing of data. BDA involves extracting information for analysis, measuring performance, and finding useful patterns in data for improving predictions and decision making. BDA comprises of statistical software, ML, and data mining technologies (Bilal et al., 2016; Saggi & Jain, 2018).



**Figure 2.14** Components of Big Data (Bilal et al., 2016)

Construction data varies based on its source. A useful example is BIM, which generates 3D geometric, encoded, compute intensive, and compressed data in various file formats. To name a few, these can be DWG, DXF, DGN, RVT, RFA, RTE, NWD, ixcXML, or ifcOWL files. Even the design data of a simple 3-storey building model is approximately 50 GB. In addition to design data, construction projects consist of schedules, ERP systems, procurement data, laser scanning data, sensory inputs, and more (Bilal et al., 2016; Ram, Afridi & Khan, 2019). Sørensen et al. (2016) assert that geospatial data is another significant portion of construction BD. This is generated through GPS devices or RFID sensors and provides valuable insight for urban planning and infrastructure decisions.

Other use cases for BDA in construction projects include:

- Using HVAC and energy performance BD to automatically improve the accuracy of energy simulation software.
- Preventing occupational injuries during the construction stage by analysing workers' behaviour and use of heavy machinery.
- Identifying causes of construction delays and cost overruns through statistics and data mining.
- Using waste management BD to pre-emptively minimize waste in the design stage.
- Applying data mining on facilities' maintenance databases to provide predictive maintenance alerts to facility management professionals (Bilal et al., 2016; Sørensen et al., 2016)

It is important to note that the application of BDA in the construction sector is not as straightforward as other industries. For example, manufacturing operations consist of repeatable and predictable processes, whereas construction projects are unique and have numerous variable parameters that can change at any point. Examples include subcontractors and market conditions. Such inconsistencies affect the efficiency of analytics tools and complicate establishing benchmarks. Culture is another important challenge, as leaders may have a difficult time internalizing predictive analytics over their personal experience and expertise. Nonetheless, replacing human assumption with fact-based data modelling has been proven to significantly improve decision making (Hovnanian et al., 2019). For example, Hovnanian et al. (2019) emphasize the usefulness of analytics at the bidding stage. As most major construction projects have a timeline that span five to ten years, accurately predicting cost is a challenging feat. Inaccurate predictions of cost and risk can result in severe consequences for construction firms. Considering the low profit margins of construction projects, deviations in bid estimation can have serious consequences. Therefore, the analysis of data from past bids and projects can have significant benefits. Contract structures, regional market information, statistics on geographical workforce, nature and size of the project, asset classes, and profit margins are important assets that provide valuable insight. Unhindered by biases or individual incentives, predictive analytics provide the most accurate project outcomes by assessing a vast number of probabilities.

One company used similar insights provided by BDA to formulate potential risk variables based on past patterns. Based on this information, they were able to decide whether the project was worth pursuing. They estimated costs and determined the level of contingency that met the risks. Similarly, construction companies can use BDA to evaluate the validity subcontractor bids. One infrastructure company leveraged data from 17,000 projects to create an extensive database for project cost, time, and procurement. Using this database, it formulated a statistical model that could predict final costs based on type of project, materials, and manhours. This tool reduced their average time for estimating procured contracts from an average of 60 days to two days (Hovnanian et al., 2019).

Problem detection is another important use for BD. Combined with real-time project monitoring, companies can track project performance. Analytical tools can scan project data and detect events that relate to loss in performance. If a situation is detected, relevant stakeholders are alerted and management can take preventative action against potential time overruns (Hovnanian et al., 2019).

BDA provides the highest value when combined with other technologies. Bilal et al. (2016) concur that BIM, cloud computing, IoT, and AR “amplified the advent of Big Data in the construction industry.” BIM data recorded throughout the building lifecycle, integration possibilities provided by cloud computing, and data collection tools like RFID and sensory devices are several examples of technologies that enhance analytics applications (Bilal et al., 2016).

#### **2.7.4 Artificial Intelligence (AI)**

AI is a system that perceives its environment and formulates strategies to achieve its goals within that environment. AI can learn and adapt by analysing the data that surrounds it; it does this through machine learning, which are algorithms that enable a system to learn from data and make decisions based on observed patterns (Smith, 2019). Currently, AI is one of the fastest evolving technologies. There are three types of AI: (a) artificial narrow intelligence (ANI), (b) artificial general intelligence (AGI), and (c) artificial superintelligence (ASI).

ANI, also known as “weak” AI, is the only type of AI that presently exists. Its capabilities are limited to singular, goal-oriented actions. For the remaining of this study, mentions of AI will refer to artificial narrow intelligence. AGI can theoretically perform any intellectual task that a human can. While ANI detects and predicts patterns for a singular task, AGI can use such patterns for a wide array of complex, multi-faceted activities without additional configuration. ASI refers to systems that are self-aware and evolved beyond human intelligence. ASI is a theoretical concept that is unlikely to be achieved in the foreseeable future (Smith, 2019; *What Is Artificial Intelligence?*, n.d.).

Although AI adoption in the construction industry is relatively low, investment in the technology is slowly increasing. A 2019 industry research reports that construction companies that apply AI experience a profit increase of up to 50%. Top use cases are schedule and design optimization, risk mitigation, analysing patterns, and image recognition (Cognilytica, 2019). Schober (2020) notes that use cases for AI are not limited to construction companies, rather they implicate numerous stakeholders along the construction value chain. Building material manufacturers improve their product quality by using intelligent quality control systems. AI and machine learning tools can streamline production machinery schedules and minimize downtimes. These technologies help to optimize procurement management processes as well. Past pricing information and current factors are analysed for insight on the raw materials market. AI then provides recommendations on best buying periods according to its forecasts. In the future, AI has the potential to identify gaps in the inventory and make orders on its own (Schober, 2020).

In the design and planning stages, architects use AI to evaluate design variations. Engineers deploy virtual simulations to test decisions about structure and statics. These activities are realized through generative design. Generative design is an AI system that develops design alternatives based on knowledge from previous projects. Users must input parameters like special requirements, materials, environmental performance, and cost. AI software explores possible variations within the specified constraints and produces design alternatives. The software's recommendations become more efficient with each choice that the designer makes. Generative design accelerates the design process by eliminating problematic design alternatives, thus preventing time

consuming rework. It also detects potential clashes with utilities by using neural networks. While traditional methods for producing utility plans can take weeks of on-site work, artificial neural networks can perform detection clashes in a day (Schober, 2020).

In the construction stage, AI is used to compare imagery gained from drones, robots, and laser scans against the BIM model to track on-site progress and detect deviations from the plans. If delays or errors are identified, these are immediately logged into the work schedule and the relevant stakeholders can be alerted.

Throughout the maintenance stages, facility managers can exercise predictive maintenance based on AI functionalities, like detecting unused parts of a building for energy expenditure savings or recommending replacement of faulty parts. Preventative maintenance, which is achieved through a combination of AI and IoT sensors, can calculate optimal times for various actions, like cleaning a filter. As the facility manager performs his duties AI can learn and adapt, improving its planning capabilities and eventually performing certain tasks on its own (Schober, 2020).

Construction giant Bechtel<sup>4</sup> has been leveraging BD and AI since 2018. The company digitized 120 years' worth of construction data from nearly 25,000 construction projects 160 countries. It deployed AI and machine learning tools to find hidden inefficiencies and optimize construction sequences for complex projects (Bhargava et al., 2019:11; Garza, 2018). Bechtel Senior Data Scientist Smith reports that AI helps to determine the best course of action against unexpected problems:

Through artificial intelligence we are able to find connections and learn new solutions we would not be able to find if every possibility had to be tested in the wild. We can do so in the presence of dynamic factors and shifting constraints. Once faced with unexpected weather, material or labor shortages, our project teams will be able to ask: "What is the best approach from this point forward?" Machine learning will allow us to optimize in real time as events impact schedule and execution. (Smith, 2019, para. 12)

---

<sup>4</sup> Bechtel Corporation is a global engineering, procurement, construction, and project management company. It is the third largest construction company in the world (<https://www.bechtel.com/>).

Nonetheless, AI algorithms rely on past data and most firms do not have thousands of projects to collect data from. In fact, 90% of the construction industry comprises of small and medium enterprises (Bello et al., 2021). To overcome this obstacle in the industry, Blanco et al. (2018) suggest that external third-party organizations could leverage accumulated AEC data to train and provide AI algorithms to the sector. Yet much of the sector has strict restrictions on data sharing which would prohibit such undertakings. In any case, the earlier a firm adopts BD and AI, the earlier it will start benefitting. Adopting AI approaches that are relatively simpler to implement and have positive short-term impacts can be a good start, as it dissolves any distrust in the technology and promotes further practices. Investing in complementary solutions for data collection and processing, like cloud infrastructure and analytics, is also an advised first step. To speed up R&D efforts, companies can form partnerships with tech-savvy organizations outside of the construction industry, like universities or AI related businesses. Forming an in-house R&D department or hiring individuals with IT backgrounds, as well as reskilling current workforces to adapt to the digitized environment are also necessary practices (Blanco et al., 2018).

### **2.7.5 Digital Supply Chain**

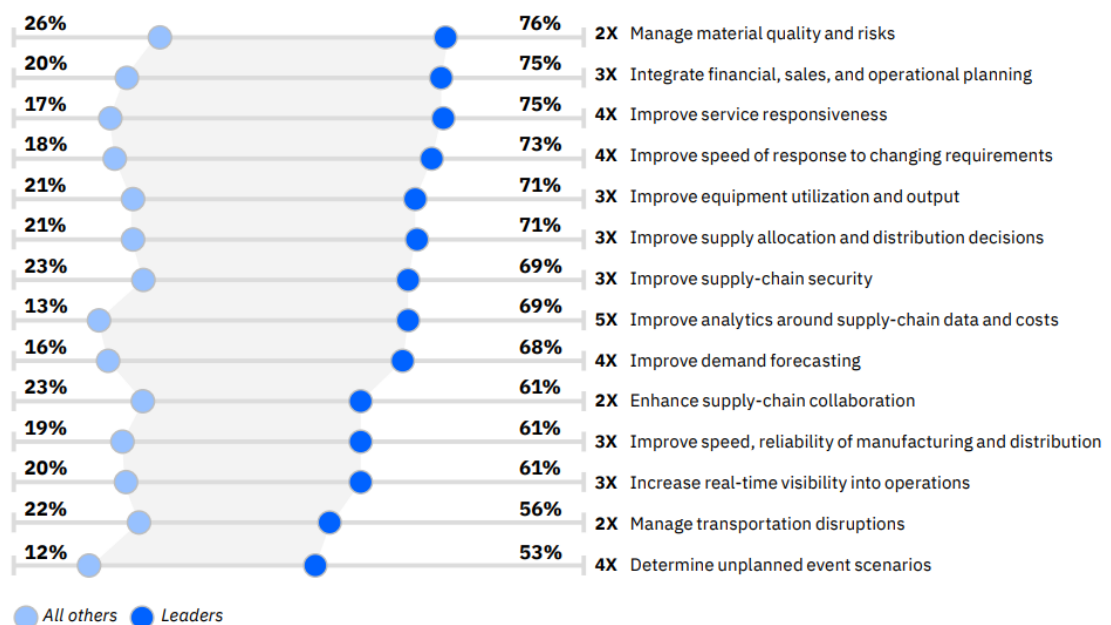
Digital supply chains are not a piece of technology; rather, they are a strategy that leverages other technologies. Supply chains in engineering and construction are a multifaceted system, involving many stakeholders, materials and equipment, products and services, logistics and information, and money flows. Disruptions in the supply chain can cause delays and loss or waste of materials, which lead to cost and time overruns. Currently, most supply chains in the construction sector lack digitization and are managed manually, using phone calls and spreadsheets. Therefore, companies have limited supply chain visibility and cannot accurately predict when the next materials or equipment will be needed. (Bhargava et al., 2019). McKinsey reports that the digitization of procurement and supply-chain management is a vital area of improvement for the industry (Barbosa et al., 2017).

Digital supply chains provide a transparent overview of real-time coordination between multiple stakeholders across a complex network and enable creating a master schedule with advanced planning. This helps to predict and prevent future problems. Changing vendors, variations in resource availability, weather impacts and increased



tariffs are among the problems that can disrupt supply and demand (Bhargava et al., 2019). Bhargava et al. (2019) assert that there are three main factors that make up a digital supply chain strategy: synchronized schedules, value-chain visibility, and intelligent assets. First, synchronized schedules between parties allow changes in supply chain events to reflect on all project schedules in real time. If a purchase or delivery is affected, forecasts can be adjusted accordingly. Second, value chain visibility provides an overview of real time situations of materials and equipment. This helps to gather supplies from relevant parties and formulate reports. It identifies risks and adjusts to changing events. Lastly, intelligent assets leverage AI and IoT to optimize use of resources and improve predictability of operations.

A study involving 250 executives from leading AEC organizations in 19 countries investigated the effects of implementing a digital supply chain. 24% of respondents had executed a digital supply-chain strategy. These leaders reached profit margins that were over six times larger compared to others. 73% of those executing digital supply chains realized a revenue growth that outperformed the industry. Figure 2.15 below illustrates the comparison between digital supply chain results compared against traditional methods (Bhargava et al., 2019).



**Figure 2.15** Comparison of digital supply chain profitability against traditional methods (Bhargava et al., 2019:6)

The implementation of a fully digital supply chain provides many benefits to the construction process, including: (a) improved productivity, (b) reduced downtime, (c) lower costs, (d) reduced waste, and (e) enhanced use of resources (Bhargava et al., 2019). The effectiveness of digital supply chains is exemplified by Katterra, an off-site construction start-up that single-handedly acquires all its procurement needs. Katterra leverages SAP technology, analytics, mobile applications, and industrial IoT tools, while combining machine learning and BD. Through these technology-driven practices, it designs and constructs prefabricated large-scale residential, commercial, and institutional projects. Katterra has a standardized kit of parts that can be arranged in different ways to adjust to the site and meet client needs. Pre-designed parts like floor systems, interior and exterior wall panels, cladding, and windows are combined using computer software for each unique project; components are built in a factory and assembled on site. Furthermore, Katterra curates its own digital supply chain. Having an entirely standardized set of components enables the firm to have total control of the materials, logistics and labour used in their projects. A smart inventory tracking system determines the optimum quantity of raw materials for each project, and when these should be ordered relative to construction sequence. Katterra handles design, construction, and supply chain in-house using smart technologies. This helps the company determine cost and time factors early in the project and prevent any overruns (“Building a Digital Supply Chain in the Building Industry”, 2017; Katterra.com; McKnight, 2017).

## **2.8 Challenges**

Despite the opportunities for cost efficiency, the construction industry’s adoption of Industry 4.0 is not nearly as extensive as the manufacturing or automobile industries. The lack of motivation to fund R&D efforts is a critical barrier. Osunsanmi (2018) asserts that this lack of investment is a key reason for “lack of innovation and technological progress” (pg. 207). Even in EU countries, the construction and materials industry invest less than 1% of their total income into R&D. Small and medium sized enterprises have limited resources for technological innovation, which makes it difficult to adopt Industry 4.0 (Osunsanmi, 2018). Technical equipment, software, training and education, and consultancy fees are costly endeavours. Many companies are hesitant to make these investments due to the uncertainty surrounding

the measurable benefits of new technologies (Österreich and Teuteberg, 2016). Newman et al. (2020) point out that a significant portion of the industry comprises of small enterprises; and that bigger companies rely on them for specialty services. Therefore, the industry cannot fully digitalise without the participation of small companies. Hence, it is unsurprising that while productivity in many industries has doubled over the past decades, labour productivity in construction has decreased (Österreich and Teuteberg, 2016).

Another aspect is the construction industry's unique challenges that do not apply to factory-based sectors. Construction projects are site-based and have an immense number of variable components, rendering the standardization of operations impossible. Each project has a different site, which leads to uncontrolled environments with varying geological situations, zoning laws, and local regulations. The involvement of numerous contractors, subcontractors, and suppliers adds to a fragmented supply chain. A high number of interrelated processes depend on different stakeholders, each acting by their own interests and schedules. All this leads to great unpredictability and uncertainty (Österreich and Teuteberg, 2016).

Culture is another barrier, as the construction industry leans toward a habit of short-term thinking and adopts a strong resistance to change (Österreich and Teuteberg, 2016). Companies have reservations about the practical benefits and costs of Industry 4.0 technologies, while workers may present reluctance due to the fear of being replaced by machines or a lack of motivation to learn new methods (Newman et al., 2020). Data security concerns further ignite companies' reservations, since loss of data or unauthorized access can lead to significant damages (Österreich and Teuteberg, 2016). Bui et al. (2016) suggest that security concerns are particularly important in developing countries, because of the widespread use of software piracy. Developing countries have the highest piracy rates and many AEC companies used cracked software, which increases the likelihood of viruses and security breaches.

The lack of skilled workers is an important challenge. Construction workers generally have low technical competency, which requires a focus on staff training and efforts to attract skilled workers to the industry (Österreich and Teuteberg, 2016). Newman et al. (2020)'s study revealed several difficulties of arranging staff training; aside from cost and time challenges, the industry suffers from a lack of trainers and training

materials. An absence of standards, policies, and reference architecture is another barrier mentioned by several sources (Österreich and Teuteberg, 2016; Bui et al., 2016; Tekin and Atabay, 2018).

Even Germany, which is the origin of Industry 4.0 and the High-tech Strategy initiative, “from a digital standpoint . . . is trailing behind other industries,” according to Malev (2021, para. 1). Conversely, Newman (2020) asserts that “developed countries like Germany [are] leading in the field” which is a testament to the industry’s stagnation (para. 3). A recent German research investigated the reasons for the industry’s slowness in adopting digitalization and found the following results:

- 62.4% of the surveyed companies said that the financial outlay was too high.
- 61.5% were put off by the excessive amount of time involved.
- 57.5% thought that data protection regulations were too strict and therefore a hindrance.
- 55.6% blamed insufficient broadband expansion for the lag. (Malev, 2021, para. 4; Bertschek et al., 2019)

Malev (2021) notes that despite its importance for Germany’s economy, the construction industry is largely dominated by analogue tools and technologies. He asserts that many companies prefer the familiarity of 2D technologies. In their study reviewing BIM adoption in developing countries, Bui et al. (2016) summarise that typical implementation challenges for ICT are a lack of management support, financial support, R&D, standards, and qualified personnel, as well as data security concerns, staff’s resistance to change, and low awareness of BIM benefits. Tekin and Atabay’s (2018) study, which focused on the Turkish construction industry, reveals that resistance to new technologies is the most prominent barrier. They conclude that “the lack of open-minded culture, the fear of the unknown and being attached to old habits are the main causes of this barrier” (Tekin and Atabay, 2018, p. 4). This attachment to old habits is exemplified: rather than working on a shared BIM model, some industry professionals convert 2D drawings into 3D models, and each discipline works on a separate model. Additional challenges for the Turkish construction industry include a lack of experts and high investments costs for software licenses and equipment. Subcontractors’ interests in utilizing new technologies are overcome by financial worries (Tekin and Atabay, 2018).

### **3 DIGITILISATION IN THE TURKISH CONSTRUCTION SECTOR: CASE STUDY**

#### **3.1 Introduction**

This chapter outlines the design of the research, explains the methodology, then presents the research data in detail and discusses the findings. The discussion section reiterates the major findings of the study, interpreting the findings and relating the obtained insights with existing literature. The chapter concludes with the limitations of the study and recommends areas for future research.

#### **3.2 Research Design**

This study has three objectives. First, evaluating the use and effects of Industry 4.0 technologies in Turkish construction projects. Second, discussing the main barriers and solutions in the sector's adoption of Industry 4.0. Lastly, exploring industry professionals' narratives on their vision for the Turkish construction industry. A qualitative content analysis was conducted to meet these objectives; this type of analysis was chosen because it provides a more in-depth insight into complex topics (Elliott & Timulak, 2005).

The interview survey was derived from literature review findings relating to Industry 4.0 and the Turkish construction industry. Research papers of a similar nature were also examined. To name a few: Osunsami et al.'s (2018) paper exploring "Construction 4.0" in the context of South Africa, Ang et al.'s (2020) research studying the effects of BIM on the Malaysian construction industry, and the work of Ernstsen et al. (2021) investigating how "UK innovation champions" envision the digital transformation of the industry. The final survey questions were reviewed by an academic in the field of construction to confirm they were understandable, unbiased, and relevant to the research topic.

### **3.3 Interview Survey Methodology**

#### **3.3.1 Population and Research Sample**

The population for this study is professionals in the Turkish construction industry. For the purposes of this study, candidates were selected based on their experience with Industry 4.0 technologies. Their role within the firm and their years of experience in the industry were also a factor. The final sample of the research consists of five professionals from the Turkish construction industry.

#### **3.3.2 Research Instrument**

A semi-structured interview method was chosen as the main research instrument. However, respondents were asked to complete a questionnaire prior to the interview. The questionnaire gathered information on demographics, respondents' companies, and projects details; it consisted of 11 closed-ended questions, which can be found in Appendix A. Given the factual nature of the requested data, there was no need for discussion at this stage.

For the interview, an open-ended strategy was adopted for obtaining detailed accounts. Probing questions were asked to encourage further elaboration on experiences and thoughts. Interviews comprised of 10 open-ended questions, excluding probing questions.

#### **3.3.3 Data Collection**

Interviews were conducted online using various video conference software. After receiving verbal consent from the respondent, each interview was recorded and then transcribed. The level of transcription was intelligent verbatim; fillers, repetition, and nonverbal communication were left out for the sake of brevity. Irrelevant digressions or information that compromised the respondent's anonymity were also omitted. The transcripts total to 15,860 words and can be found in Appendix B. Quotes that were used in this study were translated into English.

#### **3.3.4 Method of Analysis**

The preferred method for analysing the interviews was thematic content analysis. This was realized through coding, a technique that classifies qualitative data into labels according to category (Bhattacharjee, 2012). Interview transcripts were imported into

qualitative data analysis software Cloud Atlas.ti, where each sentence and section were examined for points that could be linked to the research objectives. The transcripts were read numerous times to annotate all relevant concepts and codes. The codes were then compiled into relevant groups; reoccurring points and data patterns between respondents' answers were studied and compared.

### 3.4 Findings

#### 3.4.1 Sample Information

The first section of the questionnaire consisted of demographic questions. The following information were requested of the respondents: profession, position, and years of experience in the construction sector. The questions were multiple choice; however, respondents were asked to specify answers that did not fit within the choices. Each respondent was assigned an identification number for preserving their anonymity. As seen in Table 3.1 below, the sample group represents one electrical engineer, two civil engineers, and two architects. The respondents' median years of experience in the construction sector is 14,6. Respondent 1 has the least amount of experience, which is 11 years. Respondent 2 has the most amount of experience, which is 18 years. Three of the respondents are BIM Managers, one respondent is a Planning and Control Manager, and the remaining respondent is a Managing Partner. On average, the duration of the interviews was 48 minutes.

**Table 3.1** Respondent sample

Respondent	Profession	Years of Experience	Position	Interview Length (hh:mm)
1	Electrical Engineer	11	Managing Partner	00:51
2	Civil Engineer	18	BIM Manager	00:36
3	Architect	13	BIM Manager	01:06
4	Architect	17	BIM Manager	00:45
5	Civil Engineer	14	Planning and Control Manager	00:42

The last question in this section inquired the respondents' roles and responsibilities within their organizations, as shown in Table 3.2. Respondent 1 and Respondent 4 checked only one box: digital transformation and BIM management, respectively. The remaining respondents checked three boxes each. Respondent 2 had planning, design,

and BIM management roles. Respondent 3 had planning, BIM management, and quality control roles. Respondent 5’s duties included planning, risk management, and cost management.

**Table 3.2** Roles and responsibilities of sample

<b>Respondent</b>	<b>Planning</b>	<b>Design</b>	<b>Risk Management</b>	<b>Cost Management</b>	<b>BIM Management</b>	<b>Quality Control</b>	<b>Digital Transformation</b>
1							✓
2	✓	✓			✓		
3	✓				✓	✓	
4					✓		
5	✓		✓	✓			

The second section of the questionnaire gathered data about the respondents’ companies. Respondents were asked about their company type and size. The data can be seen in Table 3.3. Respondent 1 is part of a digitalization consultancy firm and Respondent 2 works in a project management consultancy firm. Respondents 4 and 5 work in firms that act as a contractor. Respondent 3’s company is an investor as well as a contractor.

**Table 3.3** Types and sizes of the sample’s companies

<b>Respondent</b>	<b>Company Type</b>	<b>Number of employees</b>
1	Digitalisation Consultancy	1-49
2	Project Management Consultancy	250-999
3	Investor, Contractor	1000+
4	Contractor	1000+
5	Contractor	1000+

The third part of the questionnaire gathered information on the type of projects undertaken by the respondents’ companies. Table 3.4 shows that Respondents 1, 2 and



4 replied that their companies take on residential, commercial, infrastructure and industrial projects. Respondent 5 affirmed the types, in addition to transportation projects. Respondent 2 was the only respondent who checked one box, replying that their company works exclusively in industrial projects.

**Table 3.4** Project types of sample's companies

<b>Respondent</b>	<b>Residential</b>	<b>Commercial</b>	<b>Infrastructure</b>	<b>Industrial</b>	<b>Transportation</b>
1	✓	✓	✓	✓	
2				✓	
3	✓	✓	✓	✓	
4	✓	✓	✓	✓	
5	✓	✓	✓	✓	✓

When asked whether their companies are involved in international projects, all five respondents answered affirmatively. They were asked to mention the countries in which the companies generally took on projects. Respondents 1, 2, and 5 mentioned countries in the middle east, Africa, and eastern Europe. Respondent 3 gave a similar answer, with the addition of Russia. Respondent 4 was the only respondent who answered with predominantly European countries. The full list of countries can be seen in Table 3.5 below.

**Table 3.5** Projects sample

<b>Respondent</b>	<b>Involvement in International Projects</b>	<b>Predominant Countries</b>
1	Yes	Turkey, Azerbaijan, UAE, Romania, Saudi Arabia, Qatar, Kazakhstan
2	Yes	Sudan, Bosnia-Herzegovina
3	Yes	Turkey, Russia, Kazakhstan, Libya
4	Yes	Turkey, Russia, the Netherlands, Turkmenistan, Kazakhstan
5	Yes	Turkey, Azerbaijan, Romania, Iraq

### 3.4.2 Project Information

In the last section of the questionnaire, respondents were asked to choose a project that utilized Industry 4.0 technologies, which would be a starting point for the interviews. As mentioned in the literature review, BIM is the basis for digitalization and Industry 4.0 technologies (Elghaish, 2020; Malev, 2021). Therefore, respondents were asked how prominently BIM was used in their projects. A multiple-choice question sought to determine which BIM dimension, from 3D BIM to 7D BIM, the projects had reached. The respondents' projects ranged from 4D to 7D BIM. As seen in Table 3.6, two respondents reported 6D BIM, while 4D, 5D and 7D BIM were reported once.

**Table 3.6** Level of BIM usage in projects

Respondent	BIM Dimension
1	5D
2	7D
3	6D
4	6D
5	4D

The final question asked the respondents to select the Industry 4.0 technologies that applied to their projects. The multiple answer question covered the technologies mentioned in this study's literature review. There was also an "Other" answer option with a comment field for additional technologies if applicable. The respondent's answers can be observed in Table 3.7 below.

**Table 3.7** List of technologies used in projects

Technologies Used	No.	Respondents				
		1	2	3	4	5
Project management software	5	✓	✓	✓	✓	✓
Cloud computing	4	✓	✓	✓		✓
Big Data/Analytics	3	✓		✓		✓
AR/VR	2				✓	✓
AI/Machine Learning	1					✓
3D Printing	1				✓	
Automation/robotics	1	✓				
Internet of Things	1	✓				

Cloud computing and project management software were the two most widely used technologies; both were selected by Respondents 1, 2, 3, and 5. Respondents 1, 2, and 5 responded that their projects took advantage of BD and analytics. AR and VR applications were used by Respondents 1, 4, and 5. The remaining technologies were selected once: IoT, AI and machine learning, 3D printing, and automation or robotics. Only Respondent 1 selected IoT and automation or robotics. Respondent 4 was the sole user of AR and VR. Lastly, only Respondent 5 mentioned an AI or machine learning project. Further information on the use of these technologies were gathered during the interviews.

### **3.4.3 Effects on the Project**

This section examines the impact of Industry 4.0 technologies on construction projects. Respondents were asked to share their thoughts on the effects of Industry 4.0 applications, give accounts on the training and adaptation periods, and comment on the challenges for implementation.

### 3.4.3.1 Benefits

It is noteworthy that when asked to elaborate on the effects of Industry 4.0 technologies, none of the respondents mentioned disadvantages without being specifically asked. Table 3.8 below illustrates the main benefits of employing innovative technologies in construction projects. The benefits are listed in decreasing order by number of mentions.

**Table 3.8** List of benefits of using Industry 4.0 technologies in construction

Benefits	No.	Respondents				
		1	2	3	4	5
Increased coordination	5	✓	✓	✓	✓	✓
Cost savings	5	✓	✓	✓	✓	✓
Time savings	5	✓	✓	✓	✓	✓
Improved design development	5	✓	✓	✓	✓	✓
Improved site management	4	✓	✓	✓	✓	
Improved site safety	4	✓	✓		✓	✓
Risk management	4	✓		✓	✓	✓
Sustainability	3		✓	✓	✓	
Quality management	2	✓		✓		
Data safety	2		✓	✓		

In all cases, the respondents reported that Industry 4.0 technologies helped improve coordination, lowered project cost, and reduced project duration. Four out of five respondents felt that these technologies enhanced site management, site safety, and risk management. Improvements regarding sustainability, design development, visualization, and error prevention were mentioned by three respondents each. A small number of respondents found it worthwhile to mention aspects regarding quality management and data safety.

One respondent summarized the effects of BIM combined with AR and VR technologies:

We save a lot of time. We minimize risk. Because with the model, you can see everything clearly visualized; nothing remains unpredictable. All processes can be done via the model, which is seriously advantageous in terms of coordination. On-site production durations are significantly shorted compared to AutoCAD based systems, because once production begins, all the problems are already solved. The need for rework *significantly* decreases. (R4)

### **Increased coordination**

When asked about the effects of Industry 4.0 technologies, the respondents talked about the enhanced coordination that was achieved among various stakeholders. For example, one respondent mentioned that these technologies reduced the need for in-person meetings and enabled remote working:

It's very difficult getting different disciplines to work together. Thanks to BIM, project members can work on the same model and coordinate in real-time, even if they're based in different locations. This eliminates the need for in-person meetings. Even when you're working remote, you're viewing the same model and evaluating the same issues. (R4)

The potential of remote work was mentioned by another respondent as well. When talking about VR technologies, Respondent 5 shared their belief that "it will have a huge impact on increasing project coordination." They discussed how clients and management personnel could visualize project states by using VR glasses or watching video reports. They reported the added convenience of this possibility for projects located in distant geographies.

People will be able to solve problems as if they're physically on the site, regardless of where they're actually located. This may seriously impact project management costs. Potentially, we're looking to a future where we can devise different decision support systems, working with fewer staff but with advanced technologies. (R5)

Talking about coordination, Respondent 3 shared that their company had developed its own project management software that enabled cloud-based collaboration. This program also contained project information that dated back 60 years. Therefore, users can access past project data to gain insights which can be used to improve decision making. They described the features and benefits of this software:

It's a document management system, as well as a Common Data Environment, where we upload our BIM models. A platform where we track all information flows, see file shares, and share models. We use this platform for submissions to our stakeholders, other disciplines, and clients . . . We always work on the cloud. And it's not just for the design project. It's a platform that handles requests relating to machinery and equipment shipments, purchases, purchasing requests— it even has a database of all the companies we have worked with. We use this for tender bidding processes. The advantages of this in terms of project management is the optimization and shortening of processes, as well as coordination and synchronization between the design office and the field. (R3)

It is clear from this response that the software not only benefits processes during the design stage, but several processes including tender bidding, procurement, site management, and construction.

### **Time and cost savings**

In analysing the interview data, time and cost savings were prominent discussion topics. One respondent explained how AR and VR based applications for visualising the design process minimized reworks and improved decision-making processes, leading to faster and more economical implementations:

This significantly accelerates the project. The construction industry wastes a lot of time during the design stage. Design and material decisions change, physical models are deconstructed and remade. This leads to loss of time and cost. Working with VR can prevent this loss. Presentations to management and in-house meetings become more efficient. (R4)

They also mentioned the practicality of automating quantity surveys using BIM:

When working in 2D, we used to do quantity survey works manually. With BIM, quantity surveys are automatically generated. Of course, this depends on how accurately you produce the model, which is very important. BIM lets you redirect the workforce you use for quantity surveying towards different operations, thus managing the technical office with fewer people. This provides significant benefits in terms of manhours. (R4)

In their accounts of the events surrounding a project with stakeholders in three continents, Respondent 3 commented that digitalizing coordination resulted in substantial cost savings: “Some construction drawings were revised 30 times. Using Aconex saved us from physically printing and internationally shipping all these drawings for approval. By eliminating shipping costs, we achieved a great amount of cost savings” (R2).

These comments provide evidence on the relationship between Industry 4.0 technologies and time and cost savings. Factors like enhanced design visualisation, improved information flows, reduced rework, and digitalised approval processes led to a mentionable reduction in manhours and project cost.

### **Improved design development**

Visualization and design development were common themes that emerged in the interview data. These themes are correlated because they have a cause-and-effect relationship. For instance, Respondents 4 and 5 shared similar experiences regarding the effects of VR applications. For both respondents, VR was clearly beneficial in gaining a better understanding of design aspects. Respondent 4 stated: “We did a VR study for landscaping. We had some issues regarding elevation differences, areas that we could not visualize. So, we used VR and were able to very clearly analyse those landscaping aspects” (R4). And Respondent 5 commented: “Visualizing the digital twin and drone videos [with Hololens VR headsets] creates an open discussion environment and enables a better understanding of aspects that otherwise wouldn’t be clear” (R5). In both cases, improved visualisation aided in decision making during the design development stages. It was suggested that improvements in visualisation had

significant effects on error prevention as well. Respondent 4 expressed that they firmly believe AR applications help to detect design flaws, even during the construction stage:

I think that AR should definitely be used in construction processes. It's very advantageous when the construction crew learns and adapts to use this system. For instance, we taught the construction workers to use BIM Viewer during a hospital project. BIM Viewer is a free software and we achieved incredible results. They were able to identify all the design flaws that we had missed, and they gave us feedback about production problems they encountered. (R4)

Another respondent reported that a main factor in error prevention was the improved coordination which resulted from using BIM and cloud software:

By working on a BIM platform rather than with conventional methods, we can identify problems at an earlier stage . . . We can ensure that the right engineering and architectural solutions are implemented on-site. When we can all collaborate and communicate via a common platform, we eliminate information pollution and misunderstandings. We get the right information across in a simpler manner (R3).

In another case, Respondent 2 commented that using clash detection software allowed their team to pre-emptively identify that a component clashed with the site: "Using Navisworks, we were able to notice a design error before beginning field work. If the wrong component had arrived from China, remaking it would have cost us six months" (R2). Overall, some felt that AR and VR visualisations were critical, while others considered the effects of BIM and clash detection simulations. Although the respondents presented different accounts of how and which technologies helped, they agreed that improvements in design operations were a significant aspect of Industry 4.0 applications.



## **Site management and site safety**

Improved site management operations also affect project cost. One respondent shared their accounts on a project in Dubai, where the local government required the use of 5D BIM for waste control. By leveraging BIM simulations for site management operations, the contractor achieved a significant amount of cost savings. As the respondent put it:

A regulation mandated by the Dubai local government caused the project to be upgraded from 3D BIM to 5D BIM . . . This completely changed the contractor's site management strategy. Aside from cost and planning issues, they had to monitor the site daily. By digitalising five or six critical processes on the field, the contractor saved around \$1 million from quality control aspects; this is not counting the safety, technical, planning and design aspects. (R1)

Commenting on site management, Respondent 5 mentioned that simulations and VR applications aided in improving site safety. For instance, they could perform risk analyses by virtually analysing tower crane placements, hazardous areas, and construction machinery routes.

## **Risk management**

Respondent 5 reported that their company has an in-house SAP department and that they leverage several of SAP's modules for collecting project data and formulating predictions:

SAP Analytic Cloud has a planning feature which can provide predictions based on past performance data. Currently, we're only partially using this feature. We mainly use SAP to establish decision support mechanisms. We began setting up systems for AI. The important factor is creating and collecting data, then converting that data into outputs. We have AI-based alert mechanisms for risk management. Our work in that area is still ongoing. (R5)

## **Sustainability**

One of the respondents explained how they pre-emptively calculate their projects' LEED ratings by inputting building material performances, daylight factors, and

energy performances into Autodesk’s cloud software: “We send the data to the cloud system and receive a performance report. We use these reports to optimize our projects by tweaking window dimensions or any other energy performance related factor” (R3). Another project involved value engineering using BIM tools. The project scope was constructing a football stadium for the World Cup. However, the stadium would be demolished after the games and the materials would be reused for new projects afterwards. The respondent noted: “How many functions could a stadium project be converted into? It was surprising how *many* alternatives we obtained. These studies optimize for cost, design and construction—without compromising quality” (R3).

### **3.4.3.2 Training and Adaptation Periods**

This part will present the respondents’ experiences on the trainings and adaptation periods for implementing Industry 4.0 technologies. One respondent shared their accounts on training all relevant staff in a project, including procurement, planning, accounting, the design office, and the construction workers. The trainings involved using cloud-based project management software, clash detection software, and BIM. As the respondent put it:

During implementation, we first worked on document numbering. How can we number the documents? What are the international standards? . . . Then, we established the document management procedure: how to upload materials, models, drawings, and methods based on their type. After establishing the system, we taught the process to our staff. When we first got Aconex, every relevant department was trained . . . We had training sessions for Revit as well . . . [The construction workers] learned how to find the BIM models using their tablets. We explained that every revision could be accessed; we showed them how to measure the distance between two elements; and they learned how to access everything they needed without requiring the help of a supervisor. (R2)

Another respondent commented that their company provided extensive training programs, which were often compared to academia:

We organized various trainings for our staff, so the older employees got more familiar with the technology, and the new employees gained some experience. We have an academic institution within our firm. Managers can determine the needs of certain employees and send them to specific programs; and anyone can request to take part in these courses as well. (R3)

However, they added that this was uncommon for many construction companies, as it requires a significant budget allocation. Importantly, the emphasis on “older employees” illustrates a recurrent theme in the interviews, which is the difference in predisposition toward new technologies between younger and older employees. For example, Respondent 5 commented that younger generations are substantially more interested in Industry 4.0 technologies and that their adaptation periods are shorter:

Younger team members are much more interested in these technologies, which is something we considered when assembling the team. So, they adapted very quickly. We trained people who had never used drones or the specialized software, and they learned very quickly. Their interest towards new technologies was an advantage that allowed a very fast implementation. (R5)

This theme will be further discussed in subsequent subchapters, as it is a common view amongst respondents. Returning to the topic of training, one respondent presented a unique account in which they preferred to outsource some aspects of AR and VR application, rather than learn the specialised software:

It's unfeasible to do everything internally, to learn all the software. We're a BIM team and this [AR and VR applications] is more of an animation job. (R4)

Together these results provide important insights into the implementation process of Industry 4.0 technologies. While a variety of training approaches were expressed, a common sense among the responses was the importance of planning for adaptation. Respondent 2 mentioned extensive preparation processes before commencing trainings, while Respondent 3 talked about their company's academic institution and training procedures. Respondent 5 recognized the effect of employee age and reported the influence of this knowledge when assembling their team. Lastly, Respondent 4 concluded that in some cases outsourcing specialised work can be more beneficial.

### 3.4.3.3 Challenges

When asked about the challenges of using Industry 4.0 technologies, several issues were identified by the respondents. These can be observed by looking at Table 3.9. The most prominent challenges were resistance to change from older personnel and a lack of qualified personnel.

**Table 3.9** List of challenges of using Industry 4.0 technology in construction

Challenges	No.	Respondents				
		1	2	3	4	5
Resistance to change	4		✓	✓	✓	✓
Lack of qualified personnel	4	✓		✓	✓	✓
High investment costs	3			✓	✓	✓
Time consuming	2				✓	✓
Software flaws	1			✓		
Internet connectivity	1		✓			

#### Resistance to change

Four out of five respondents shared that the resistance to change from older personnel was a significant challenge. This theme persisted throughout the interviews. Similar to Respondent 5's account which was presented in the previous section, Respondent 2 specified that draftsmen over the age of 50 had a difficult time adapting to new technologies, whereas younger staff were eager:

Some of the draftsmen, especially those over the age of 50, had a really difficult time. Colleagues under 50 accepted this digital transformation. The younger team members were very enthusiastic from day one. But those over 50 generally resisted a lot. It was quite difficult. (R2)

Talking about this issue Respondent 3 said: “Resistance against technology from older staff members was a challenge. It's very tough for the construction industry to adapt to change . . . unlike the world, where everything is constantly changing, [the construction industry] maintains a more traditionalist approach” (R3). Respondent 5 echoed these views, stating that: “Those from a few generations ago, who are used to traditional methods, are much more conservative about [the use of technology]” (R5). They added that older managers were generally sceptical towards the benefits of these technologies, a factor that delays innovation in the industry.

### **Lack of qualified personnel**

One respondent alluded that due to the high percentage of older staff members on their team, the company had difficulty appointing tasks the required the use of technology. Eventually, the company hired a high number of younger staff members. Another respondent mentioned the difficulty of finding people with BIM know-how: “We are having a really difficult time finding qualified personnel, especially regarding BIM. Having a good command of BIM requires having a good command of the field, which limits our options.” (R4)

### **High investment costs**

When talking about the challenges of finding qualified personnel, Respondent 5 expressed how this reflected to project costs:

There aren't many qualified personnel that use these technologies. You need to employ and train your team, which creates an initial investment cost that can be intimidating to some. Investing in drones or specialized software—there is a lot of prejudice on how fast the ROI is going to be. These factors are a disadvantage when attempting to gain approval from upper management. (R5)

Commenting on investment costs, one respondent talked about the required hardware equipment for AR and VR applications. While software programs were not costly, the computers required a significant investment:

Naturally, we had to buy the equipment. [AR and VR applications] require very capable computers with strong processing capabilities. They cost a very significant amount. However, we had the software developed for a very reasonable price. And the results were very successful. (R4)

Respondent 3 presented a unique approach to compensating for the high costs of training:

We created a roadmap for internal BIM training to our staff. Now, when we draft the budgeting for our tender bid proposals, we include that [training] as an item. Because if a Client wants the project on a certain platform, with innovative technologies, and if they want to oversee the project in this manner, that comes at a price. So, when we write up our pricing offer, we present which portion of it goes to training. We have a transparent policy. (R3)

Overall, three respondents agreed that high investment costs were a challenge for Industry 4.0 technologies. These costs stemmed from software licenses, hardware equipment, and employee training.

### **Time consuming**

Two respondents mentioned that the time-consuming nature of the implementation was another issue. One respondent mentioned the duration of training:

Working with [drone photogrammetry and drone piloting] requires a training and experience period. Such applications are limited both in the world and in Turkey, therefore a certain level of commitment and determination is necessary. This can be a little challenging. (R5)

Another respondent asserted that modelling certain technical details is not worth the effort, as it can require a high number of manhours with little added benefit:

What I've learned from past projects is that not everything needs to be modelled in 3D. Some things are better left in 2D. Attempting to model everything in 3D requires a lot of manhours, which can lead to loss rather than profit. It is critical to decide the best course of action regarding what aspects should be managed with BIM early on . . . modelling every aspect in extraneous detail would be very expensive. (R4)

### **Software flaws**

One concern expressed regarding technology was that software programs can have defects and limitations:

Not every software is perfect. There are certainly shortcomings and technical issues. When a software provider offers a platform or a service, we report the problems we face. The provider fixes the issue for the new version or update. It is important to be aware that these software programs cannot do everything—this perception is dangerous. For example, the limitations of what we can do with Revit is a constant query. (R3)

### **Internet connectivity**

Another limitation was mentioned by Respondent 2. When asked about the challenges of using Industry 4.0 technologies, they stated that the cloud-based collaborative software they used required uninterrupted internet connectivity for accessing data.

Although they did not experience any connectivity issues, they mentioned that this would have been inconvenient in projects with difficult site locations. They mentioned that a common practice for underground rail projects in Turkey is downloading files in bulk when users reach an internet source. In this case, changes made throughout the day would not be visible to on-site staff until the next download onto the server. However, the respondent added that this drawback is not applicable to all cloud-based software.

In summary, when asked about the effects of Industry 4.0 technologies, the respondents listed significantly more benefits compared to challenges. The respondents were unanimous in the view that Industry 4.0 technologies improved coordination, reduced project duration, and helped achieve cost savings. Respondents working in construction companies also agreed that older employees presented a resistance to change and had difficulty adapting to new technologies. Finding qualified personnel in the field and the high investment costs of equipment and software were among the top challenges of working with Industry 4.0 in construction projects.

#### 3.4.4 Industry Barriers

This section looks at the factors that delay or prevent Industry 4.0 adoption in the Turkish construction industry. Table 3.10 presents a list of the main barriers.

**Table 3.10** List of barriers to digitalization of the Turkish construction industry

Barriers	No.	Respondents				
		1	2	3	4	5
Lack of standards and regulations	5	✓	✓	✓	✓	✓
Resistance to change	5	✓	✓	✓	✓	✓
Lack of qualified personnel	4	✓		✓	✓	✓
High investment costs	4	✓		✓	✓	✓
Data security concerns	2	✓	✓			

Several themes that emerged while discussing project challenges recurred when the respondents were asked about industry barriers. These themes were resistance to change, lack of qualified personnel, and high investment costs.

#### **Lack of standards and regulations**

When asked about their thoughts on why the Turkish construction industry is falling behind in digitalisation, the respondents agreed that this primarily stemmed from a

lack a mandated standards and regulations from the government. In particular, some respondents suggested that small and medium-sized companies are unlikely to innovate unless they are obligated:

Currently, only railway projects have BIM specifications in Turkey. Since there is no obligation, small and medium-sized companies simply don't prefer to digitalize. (R2)

When talking about countries like England and Finland, where BIM and Industry 4.0 technologies are more widely implemented, one respondent summarized the reasons they were farther ahead in digitalisation:

First, regulations from local governments . . . These regulations are needed both on a local and on a national scale. The second is standards . . . The reason why England started undergoing this digital transformation around 2010 is because a standard came up. This standard is the BS 1192, and it has been used in projects there for years now. They were quickly established and implemented. So as I said, this kind of obligation is one of the biggest factors in the implementation [of these technologies].

Obligation in the form of regulations and standards were seen as critical drivers for digital transformation. Other respondents agreed with the notion that mandates are the primary factor in other countries' adoption of technology:

The fact that construction projects abroad are digitalised is due to obligation. But there is no obligation in Turkey, which is why some projects are still implemented with AutoCAD. (R4)

Similarly, one respondent talked about construction projects in Dubai and Abu Dhabi:

The technologies are mentioned in the project specifications. Document management systems, scheduling software, and BIM. The regulations are strict and there's a significant number of human resources appointed for these operations. Unfortunately, Turkey is not at that stage. (R5)

The participants on the whole demonstrated a clear belief that without certain obligations and mandates from the government, a widespread adoption of Industry 4.0 in the Turkish construction sector is unlikely.



## **Resistance to change**

Resistance to change was a key theme in all the respondents' narratives. When asked about barriers, one respondent replied that "there's an incredible resistance against change" which they considered to be "the most important factor" (R4). When asked to specify which groups were most resistant, most of the respondents had matching answers which reiterated the challenges mentioned in the previous section. The respondents reported that members of upper management over the age of 50 were persistent in opposing new technologies. Some felt that this was caused by a scepticism of the technologies' benefits, while others considered that a fear of losing power was the main concern. For example, Respondent 5 stated:

The people in management positions usually have a conservative approach, which leads to certain prejudices within the industry. They are doubtful whether these technologies will have any benefits on the project . . . It's a generational matter. When we entered the industry, our managers at the time—some of them had never used a laptop. They drafted projects with pen and paper without using any computers. Now that we took over, *some* degree of digitalization and of keeping up with the times is noticeable. The next generation will be a lot more agile in using these technologies. (R5)

Conversely, Respondent 4 commented:

Especially with managers above a certain age—because they're concerned. It's a new system which they do not know. They resist against it due to the fear of losing control over something they don't know. They don't want to lose their power. Therefore, they present an enormous resistance against transitioning to a new system. (R4)

On a different note, one respondent expressed the belief that this resistance came externally from the clients, rather than internally from older staff members:

Clients are the reason why [digitalization in the construction industry] is so slow. Although it isn't required, they insist on drafting specifications in which they want four or five sets of hard copy construction documents. They want wet signatures. They don't want to deal with a new system, they don't want to change how they've been doing things, so there's a resistance there. (R1)

Either way, the industry's overall conservative approach was an important theme throughout the interviews.

### **Lack of qualified personnel**

A common concern expressed by respondents was the lack of know-how and qualified personnel within the industry. For instance, when Respondent 4 mentioned that their company did not use innovative technologies as comprehensively as they would prefer, a probing question asked for further elaboration on what prevented them from doing so. They answered:

You need to factor in the state of the industry in this country. Even if you use these technologies, this needs to be reciprocated by other project stakeholders. Although our company is one of the best in its field, we still haven't moved on to 6D and 7D BIM. We subcontract our projects and the number of firms who produce 3D models is extremely limited. Everyone claims that they do, but there's very few firms who are capable. Therefore, we really cannot use these technologies in great detail. (R4)

In addition to the large-scale limitations of finding technologically savvy companies in the Turkish construction industry, the respondent mentioned the difficulties of hiring qualified field workers:

Personnel qualified in technology is hard to come by in the field. Particularly in Turkey, it's very difficult to find qualified personnel in Industry 4.0 technologies. Usually, teams who have experience in this area prefer to work in head offices or in technology companies. (R4)

### **High investment costs**

Another respondent described the same difficulties as Respondent 4 and remarked on how this affected investment costs: "There aren't many qualified personnel who can use these technologies. You need to employ and train these teams yourself, which can make the investment costs intimidating" (R5). Commenting about high investment costs, Respondent 2 said that many businesspeople do not find it reasonable to invest in expensive technologies when they can finish a project at a lower cost. They added: "This is an excuse for not utilizing these technologies. The main priority of commercial companies is making profit—aside from finishing the job, of course" (R2). There were views that some companies do not have the financial means to digitalise. One

respondent stated: “Not every company can afford to invest in technology or software” (R1). Another commented that currency exchange rates were a challenging factor:

Trainings are very expensive. This is, of course, challenging. Software is very expensive also. Because the currency is converted from dollars or euros. This adds to the challenges of transitioning to BIM. Small-scale companies experience great difficulty because of financial reasons. (R4)

In analysing the interview transcripts, it is observed that mentions of high investment costs are often interconnected with discussions regarding the lack of qualified personnel within the industry. Both themes are prominent in four out of five respondents’ interview data.

### **Data security concerns**

One respondent expressed that some technical offices had reservations about sharing private data through online platforms due to security concerns: “Technical offices handle a lot of processes regarding budgeting and progress payments. Some of these sums is highly confidential information . . . They have reservations about putting this data on the internet” (R1). Opinions differed as to whether sharing data online was a less safe way to collaborate. One respondent mentioned that during the initial phases of their project, an important piece of documentation had been lost by traditional shipping methods. Resultingly, they convinced the client to migrate to the cloud to prevent loss of data. They mentioned that cloud-based project management software Aconex complied by ISO’s internationally recognized data security standards, which is a standard that safeguards worldwide banking processes. Nonetheless, how a client feels about internet security is highly variable and this concern is a viable topic when discussing industry barriers.

### 3.4.5 The Motivation Behind Digitalization

In seeking to uncover potential solutions to the barriers mentioned in the previous section, it may be useful to first consider the motivation behind Turkish construction companies that have adopted Industry 4.0 technologies. This section will examine the primary motivators mentioned by the respondents, which can be seen in Table 3.11.

**Table 3.11** List of motivators for using Industry 4.0 technologies

Motivator	No.	Respondents				
		1	2	3	4	5
Obligation	4	✓		✓	✓	✓
Innovation leaders	4	✓	✓	✓		✓
Design visualisation	3			✓	✓	✓
Coordination	2	✓	✓			
Time and cost savings	2	✓	✓			
International tenders	1			✓		

As seen in the table above, the most common themes relating to this issue were obligation and innovation leaders. In the most part, obligation was only applicable for using BIM. When discussing the motivators behind other Industry 4.0 technologies, respondents mentioned innovation leaders, design visualisation, coordination, time and cost savings, and international tenders.

#### Obligation

Since all the respondents' companies were involved in international projects, project-specific regulations and client specifications required them to adhere to certain technology standards. The comment below illustrates the impact of client specifications to the value chain:

If the client makes [the use of Industry 4.0 technologies] a *must*, then you have to adhere to get the job. It is a matter of supply and demand. As long as the client wants something, you *must* adapt and improve. When you do, your subcontractors will have to follow suit. It's a chain reaction. (R4)

When talking about obligation, Respondent 3 focused on government mandates, giving England's example:

Level 2 BIM is mandatory for public tenders in England. If you want to win a tender in England, you have to meet these conditions. This isn't something that

just happens from within a construction company by some reflex. It's an external push, either by the client or by the government or by your main contractor, if you have one. It's something that is *imposed* on you. (R3)

Likewise, Respondent 1 frequently emphasized that “regulations and standards are the main trigger point” for digitalization. Respondent 2 added that internationally, clients are not the only stakeholders who add digitalisation clauses in their specifications, rather contractors have technology preferences as well: “many foreign contractors are adding collaborative software programs like Aconex into their contracts . . . often they get accustomed to it due to obligation and then experience the benefits, which makes them *want* to use it” (R2). The theme of obligation persisted while discussing solutions as well, which will be presented in the subsequent section.

### **Innovation leaders**

One respondent stated that despite the lack of standards or client specifications, their company was invested in Industry 4.0 practices because that is where the future is headed. Incidentally, theirs was the sole company among the interviewed who employed analytics tools using SAP, which was an initiative started by management. As the respondent put it:

We invest in technology because as a company we're aware of the added value this brings. And we know that this is where the future is headed. The earlier we integrate these technologies into our business processes, the further we will be ahead . . . One very important factor is how visionary the management is. Like with SAP: they witnessed its use in other countries, they worked with it, and they applied it here. (R5)

Another respondent reported that their employer instigated their project's digitalisation and led the team towards BIM: “Our employer spearheaded this [digitalisation] despite being over 50 years old. Really, we achieved what we did due to them” (R2). In both cases, the interview data reveals that people in leadership positions have a crucial influence in shaping the industry. First, they have the authority to implement new practices. Second, many stakeholders witness the benefits of these practices, which affects decisions for future projects.

## **Design visualization**

A common view amongst most of the respondents was that Industry 4.0 technologies aided in design visualisation, and consequently design development. In one case, Respondent 3 described using 6D BIM for sunlight simulations in a large-scale luxury housing project to meet detailed client specifications. A similar application had been done for a shopping centre project, where sunlight simulations revealed that the food court area would reach an uncomfortable heat. Talking about these studies, the respondent said that BIM helped them visualise several possibilities and provided a better understanding on how the units worked with each other: “At the design development stage, we conduct studies that show us how different functions work and interact with each other, and whether units are positioned in the right places” (R3). Respondent 4 talked about using AR and VR to visualise structures in the early stages of a project and present it to relevant stakeholders:

We have several AR and VR applications that we apply to hospital projects. We mainly use VR. The purpose behind this is to have a visual on the end-product and to critique design decisions and daylight studies at the early stages of a project. Naturally, we often use these applications for management presentations. Imagining spaces on paper can be difficult; VR glasses helps management to virtually walk around the buildings and better understand the spaces. (R4)

Respondent 5 discussed the decision of using drones to capture an extensive amount of data that would have otherwise been difficult and time-consuming to collect. The captured footage would later be visualised using VR headsets. They commented:

The project is situated in a very large area: 20 million square metres. Using drones to see the bigger picture is very important. And photogrammetric modelling is much more economical compared to laser scanning. Basically, the drone takes hundreds of pictures from a certain height. It’s a simple and cost-effective solution. (R5)

It can be seen that a variety of project specifications or circumstances can lead decision makers into adopting new technologies. An important factor is that key stakeholders are aware of the benefits and potentials of these technologies.

## **Coordination**

Whilst all agreed that use of innovative technology significantly improved coordination, less than half of the respondents described it as a main motivator. In one case, Respondent 2 discussed an industrial project in Sudan, in which project drawings were produced in Izmir, components were fabricated in China and Germany; the project management team was Istanbul-based, while the consulting firm was German. This entailed an abundance of international approval processes among stakeholders. The contract required that eight copies of drafts be shipped from Izmir to Istanbul, followed by Germany, and finally to Sudan. By convincing the client and consultants to migrate these approval processes to a cloud-based collaborative software, the project management team realized immense time and cost savings on document management operations. Some drafts were revised over 30 times and with traditional methods, the coordination amongst parties would have required hundreds of shipments of documents across four countries. The same respondent elaborated on the benefits of working in a CDE. Site workers were given tablets and trained to navigate BIM models using the collaborative cloud application. The accessibility of up-to-date data combined with clash detection software Navisworks prevented the team from making costly and time-consuming errors. A noteworthy contribution to this issue was made by Respondent 1, a digital transformation consultant. They asserted that when asked about their priorities, clients first mentioned their difficulties in coordinating: “During the digitalisation process, we first ask clients about their biggest problem. The first issue they mention is an inability to communication and coordinate with other stakeholders and difficulty to exchange documentation” (R1). Based on this statement, it can be said that while coordination is not a primary motivator for some respondents, it is a common reason for undergoing digitalisation within the industry.

## **International tenders**

For one respondent whose company tendered in exclusively international projects, adapting to global technology trends and specifications was vitally important. They said:

It is unlikely to win tenders by employing traditional methods, turning your back to technology, and denying the reality of Industry 4.0. In fact, it is unlikely to finish the job at all . . . International bids have precise specifications: which cloud-based software to use, how to submit documents. If you want to get these big projects, you have to invest in the technology infrastructure first. (R3)

Talking about this issue, another respondent detailed how Turkish contractors employ different project methods for international projects:

We're more traditionalist here [in Turkey]. The same contractor company has different systems regarding digitalization here. But when it gets a tender in Dubai or Abu Dabi, its way of operating changes. It invests [in technology] because the government, client, consultant, and engineers there... they have higher expectations. So the contractor meets these expectations; but when it returns to local projects, it resumes previous practices. (R5)

The observation that Turkish contractors operate differently abroad was mentioned by all the respondents; similarly, all respondents highlighted the importance of having mandatory standards and regulations. Respondent 4 considered their firm's annual reports to be another important concern, as these reports are an important publicity tool with a global readership:

We publish annual sustainability reports where we present the environmental effects of our projects, our relations with non-governmental organizations, and our vision to improve our green rating. This gives us an upper hand during tenders. Clients are more environmentally conscious now. They care about more than just technology. They consider how environmentally conscious a bidder is and the carbon footprint of its past projects. They question whether a company uses innovative, sustainable methods. [These factors] determine whether or not you get the job. (R3)

Another matter of concern was getting a high ranking on the Engineering News-Record List, which Respondent 3 asserted is impossible without investing in



technology infrastructure. High rankings and awards can also be a motivating factor for top management. Respondent 5 mentioned that their drone application won a prestigious innovation award, which became a source of encouragement for the team.

### 3.4.6 Solutions

This section focuses on discussing the solutions needed for widespread adoption of Industry 4.0 in the Turkish construction industry. Table 3.12 summarizes the solutions that were suggested by the respondents.

**Table 3.12** Solutions for Industry 4.0 adoption in the Turkish construction sector

Solutions	No.	Respondents				
		1	2	3	4	5
Standards and regulations	5	✓	✓	✓	✓	✓
Education and training	4	✓	✓	✓	✓	
Innovation leaders	4	✓	✓	✓		✓
Support from the government	3	✓			✓	✓
Setting an example	3	✓	✓			✓
Raising awareness	3	✓	✓			✓

#### **Standards and regulations, support from the government**

As previously mentioned, the respondents agreed that a lack of standards and regulations is the most important barrier to Industry 4.0 adoption. Consequently, all the respondents believed that the primary solution is the establishment of mandated standards and regulations by the government. This view is illustrated in the excerpts below:

First, regulations from local governments . . . These regulations are needed both on a local and on a national scale. The second is standards . . . The reason why England started undergoing digital transformation around 2010 is because a standard came up. This standard is the BS 1192, and it has been used there for years. They were quickly established and implemented. So as I said, this kind of obligation is one of the biggest factors in the implementation [of these technologies]. (R1)

Respondent 4 added:

It's extremely important that state institutions and organizations support [the use of Industry 4.0 technologies]. When the state supports these works and makes it mandatory, there's going to be an immense transformation. We're already seeing that steps are being taken regarding BIM. (R4)

Likewise, Respondent 3 reiterated the theme of obligation. While their company was obligated to digitalise due to client requirements, the rest of the sector had to be obliged by the government for an industrywide change. They discussed this obligation:

If the state passes some kind of regulation, then everyone will quickly move to Industry 4.0. For instance, how did so many companies in the private sector undergo digital transformation this past year? Because of Coronavirus. It's not because of the CEOs, it's not because of the CFOs, it's entirely because of *circumstance*. For us, because we're in the private sector, we *have* to embrace these technologies because that's what clients expect in international tender bids. We *have* to do it to win the bids. (R3)

Commenting about the necessity of government mandates, Respondent 5 mentioned that BIM implementation is central to Industry 4.0 adoption. They also mentioned the importance of R&D support:

State institutions must add a digitalisation clause in specifications, especially in public projects. The biggest factor for transitioning to Industry 4.0 is BIM. The more we use BIM, the faster we'll adapt to new technologies . . . The relevant ministries and state institutions must create regulations— they must provide the structure and support for reaching a certain level. In fact, it should be an obligation. It's important that the state dictates that certain projects must adhere by certain technologies or pursue R&D efforts. (R5)

Furthermore, they suggested that financial incentives can be given to companies that switch to BIM, use Industry 4.0 technologies, or pursue R&D efforts: “Financial incentives from the state for technology investments is one of the most important factors” (R5). This idea was supported by two other respondents.

## **Education and training**

Four respondents shared the belief that education and training were crucial determinants in the sector's adoption of Industry 4.0. Several respondents' accounts on the trainings that took place at a company scale were presented in the previous sections. Respondent 3 introduced a unique account, in which their BIM department organized mock projects for familiarizing the staff with BIM: "The BIM department organizes various pilot projects to overcome the staff's reluctance to use BIM tools. It's training for when we get tenders, so that we don't experience difficulties during a project" (R3). Later, they mentioned the significance of university curriculums:

Universities are now very supportive in teaching parametric modelling and Industry 4.0 concepts. Now, graduating classes are capable of using these technologies. They only lack experience, which they can gain by working in companies [that employ technology]. Eventually, with the internal and external pressures [to adapt], construction companies and the industry will have no choice but to change. (R3)

It can be summarized that education and training is required at three levels: at universities, at a company scale, and at a national scale by raising awareness.

## **Innovation leaders**

Several respondents talked about the importance of innovation leaders, which was also a motivating factor as discussed in the previous section. Respondent 1 talked about the human psyche, commenting that modernization occurs when a small group of innovators and early adapters set an example for the vast majority. According to them, the innovators discover or invent new ways, while the early adapters quickly embrace the novelty. Then, these two groups must present the benefits to the masses and convince them to adopt the innovation. They asserted that in the construction industry, the innovators that set this example come from the private sector, and governments follows behind. Respondent 1's notion about innovators was supported by examples collected from other respondents. For instance, one respondent mentioned that the use of drone applications in their project was due to their leadership and persistence combined with upper management's support. As the respondent put it: "If I hadn't insisted on conducting the project in this way, we wouldn't have these drone-based technologies and tracking systems within our system. I came up with the idea, management supported it fully, and we were able to move forward" (R5). Moreover,

they emphasized the importance of having managers that are competent and interested in technology. A common view amongst several respondents was that appointing an innovation team is necessary. The excerpts below show one respondent talk about a BIM team that is dedicated to combatting traditional methods, while another mentions having an R&D department for digitalisation:

A BIM team or department must be established to oversee these technologies. A group of expert engineers and architects that will lead this process and *resist* the inclination to fall back on traditional methods. (R3)

We have employed a consultant who leads our digitalisation and R&D operations. There's an entire team dedicated to this, which is important. To implement innovative ideas, you must first think of them. And for that, you need to employ, appoint, and value dedicated personnel. (R5)

### **Raising awareness**

One respondent talked about education on a national scale in terms of the benefits of digitalization. They mentioned the recent developments regarding the involvement of BuildingSMART, an international non-profit organization for digital transformation in construction, in the Turkish sector:

BuildingSMART is bringing a great deal of global know-how to Turkey, in Turkish. This is a very important contribution . . . It shows us where to begin and which examples to follow. It helps the ministries create a roadmap. The Turkish Contractors Association can cooperate with BuildingSMART and explain to contractors and stakeholders that these technologies are an opportunity to complete higher quality projects faster, at a lower cost, with increased profitability, efficiency, and productivity. (R1)

### **Setting an example**

Setting an example is an important way to raise awareness on technology benefits, according to the respondents. Respondent 2 revealed that following the Istanbul Metropolitan Municipality's BIM regulation for railway projects, several other cities including Gaziantep and Konya followed suit. All the railway projects in these cities now require the use of BIM. They added that state agencies are affected by each other's implementations after observing the benefits and successful results.

Overall, the respondents presented a strong belief that standards and regulations are critical to the industry's adoption of Industry 4.0. The government has a critical role and must pass mandates, as well as financially support industry players. This would also alleviate the barrier of high investment costs. Another important barrier is resistance to change. Respondents' proposed solutions to overcome this obstacle included appointing innovation leaders, setting examples with successful projects, and raising awareness on the benefits of technology. Admittedly, innovation leaders were a strong theme that emerged both when discussing motivators and solutions for the industry. Lastly, the lack of qualified personnel can be overcome by education and training, which is a theme that reappears throughout the interview transcripts.

### **3.4.7 Future of the Turkish Construction Industry**

This section discusses the respondents' thoughts on the future of the Turkish construction industry. The overall retort was optimistic, and the respondents shared the belief that the industry's adaptation to digitalisation is quickening. Over half of those surveyed emphasized that the younger generations will have a positive impact on the industry. For example, Respondent 1 said:

In terms of project quality, we're preceded by the US and the UK. To surpass them we need to focus on quality, which can only be achieved by digitalisation . . . I see tremendous potential in the younger generation. There's a great amount of interest . . . Once we have regulations and standards in place, and once our young community can benefit from the experiences of what Turkish contractors do both inside and outside of the country, we won't have any trouble keeping up with China, the US or the UK. (R1)

Likewise, Respondent 5 commented that progress will quicken when members of Generation Z become decision-makers:

As the Turkish construction industry gains young and visionary professionals who actively use technology, change will follow. Particularly people that have graduated since 2015 are keeping up with world developments in relation to technology. And they have greater access to it. I remember when laptops were a luxury; now, even children have laptops. In that sense, development is very quick. I believe that the Generation Z will rapidly get us ahead. The faster

they reach management positions and get involved in decision-making, the faster we will improve. Specifications are now becoming mandatory. I mentioned HoloLens and SAP. Perhaps in 10 years, these will become mandatory as well. I don't think that's very far off. Especially in the next five years, I believe that awareness will rise a lot faster. (R5)

Respondent 4 indicated that while the industry is progressing with BIM, they believed that a widespread adoption of Industry 4.0 technologies is farther ahead in the future:

Things are going very well. Adaptation to BIM is rapidly progressing. Public enterprises are beginning to provide support. I believe that soon we will become much more technology oriented. Once regulations are in place, companies will quickly adapt. I am sure that regarding BIM, we'll see a lot of change in the next two or three years. We still have a long way for reaching Industry 4.0, but we're taking steps in that direction.

Despite the positive outlook, several respondents advised caution regarding expectations. Respondent 1 emphasized that having an intermediate command of English is essential to using these technologies, and that the alternative is unfeasible. Additionally, Respondent 5 commented that the construction industry is unlikely to ever keep pace with the manufacturing industry. They argued that this is because of the centrality of the human factor in construction: "We [as the construction industry] cannot match up to the manufacturing industry, because the biggest factor [in construction] is the human factor. Our workforce has a more limited education level, which is difficult to fix in the short-term. But I think that in time, this can be overcome" (R5).

## **3.5 Discussion**

### **3.5.1 Summary of Findings and Discussion**

This section discusses the findings obtained from the qualitative data survey. The purpose of this exploratory, qualitative research was threefold: evaluating the effects of Industry 4.0 technologies, identifying the main barriers to broader adoption of these technologies, and discussing how Industry 4.0 adoption can be realized in the Turkish construction industry. Prior studies have investigated the topic of Industry 4.0 in

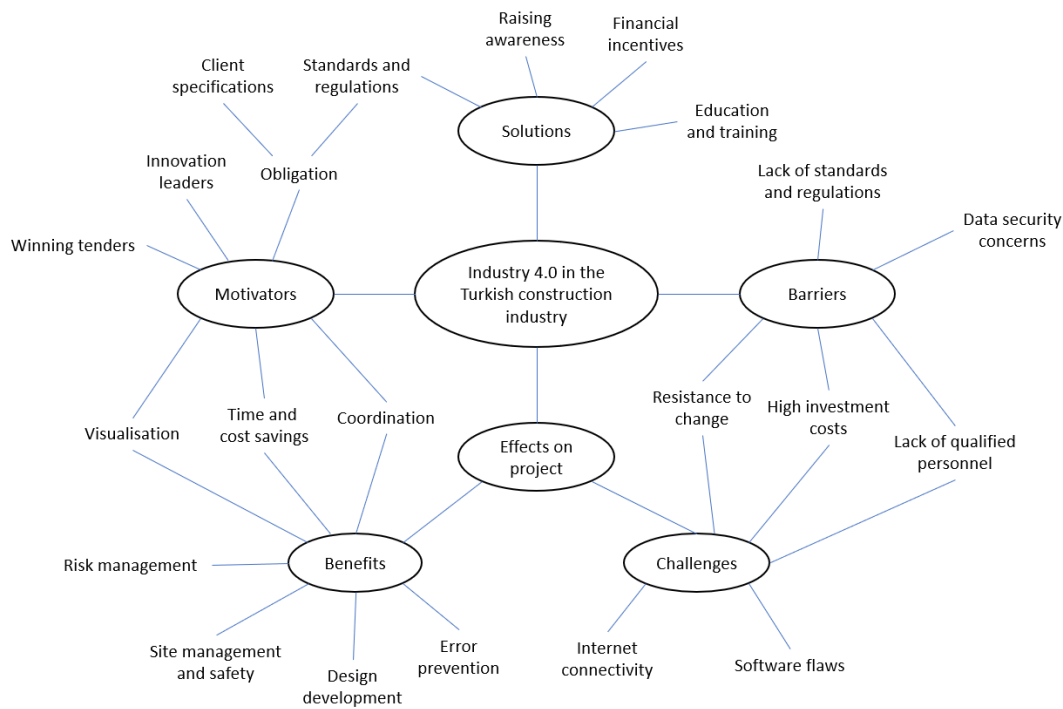
construction, but very little was found in the literature in relation to the Turkish construction sector. Therefore, this study was designed to provide a country-specific perspective. This section contains discussions that help to answer the following research questions in the context of Turkey:

*Question 1.* What effect do Industry 4.0 technologies have on construction projects?

*Question 2.* What are the barriers that hinder Industry 4.0 adoption in construction?

*Question 3.* What solutions can overcome the barriers and enable widespread Industry 4.0 adoption?

The current study found that Industry 4.0 technologies have predominantly positive effects on construction projects. While a variety of aspects were identified, the primary effects are: (a) increased coordination among stakeholders, (b) reduced project durations, (c) cost savings, and (d) improved design development operations. On the question of barriers, this study found that the two most important factors were: (a) the lack of standards and regulations coupled with (b) a strong resistance to change from older generations, followed by (c) high investment costs and (d) the lack of qualified personnel in the sector. It is interesting to note that the latter three themes were also noted as the main challenges faced when adopting Industry 4.0 technologies in a project. Lastly, this study identified that the most critical factor in achieving widespread Industry 4.0 adoption is through standards and regulations mandated by the government. Other major findings include: (a) providing education and training at multiple levels, (b) appointing innovation leaders in companies, and (c) the government providing financial incentives for the use of Industry 4.0 technologies.



**Figure 3.1** A mind map of the findings

By exploring the effects, barriers, and solutions, this study set out to provide an overview of the Turkish construction sector's current state in relation to technological advances. The mind map in Figure 3.1 above illustrates how each of these themes relate to each other. Each topic is described further in the following sections.

### **Use and Effects of Industry 4.0 Technologies**

While the small sample size did not allow for an analysis of all Industry 4.0 technologies, it did provide some insight into the technologies used by several prominent construction firms in Turkey.

All respondents reported using cloud-based project management software and there were several mentions of using CDE's in which project models and documents can be accessed by the entire team. The respondents referenced BIM and cloud technology as vital technologies in facilitating coordination among project stakeholders, different disciplines, and team members. The use of mobile computing on the site was reported as a significant convenience. Ultimately, the improvements in coordination processes were reported to lead to faster decisions, minimized reworks, and fewer manhours spent on a project. This finding supports numerous other studies in this area, including the works of Chong et al. (2014), Newman et al. (2020), and Bello et al. (2021), who cite that cloud solutions enable access to up-to-date data and enhance the organization



and integration of project teams. Moreover, all the respondents noted on the economic benefits of cloud-based collaboration and document management tools. The digitalisation of approval processes and submissions present significant gains in terms of cost and time, especially in international projects where stakeholders are dispersed in several countries.

Respondents expressed that AR and VR applications are highly useful throughout various stages in a construction project, particularly during design development. The interview transcripts show an emphasis on the enhanced visualisation capabilities that enable a deeper and better understanding of complex design aspects. Hence, decision making is improved, and various errors may be prevented. There are similarities between the effects reported by the respondents in this study and those described by Elghaish et al. (2020), who describes a "system of BIM data in VR for collaborative decision-making" (section 4.4, para. 1). This improvement in decision-making also translates to reduced project durations, because design issues can be preemptively identified and solved before construction work begins. Another important finding was that VR headsets or videos can facilitate detailed communication throughout meetings, management presentations, and sales pitches to prospective buyers following project completion. Again, this result further supports the notion of "a cloud-based multi-user VR headset system . . . that facilitates interpersonal project communication in an interactive VR environment" (Elghaish et al., 2020, section 4.4, para. 2).

Alaloul et al. (2020) cites that Industry 4.0 "would ensure little to no errors, increasing quality assurance [and achieving] more effective results through sufficient information" (p. 229). This supports this study's data regarding error prevention. Enhanced visualisation methods, increased coordination, clash simulations, and the use of a shared model all lead to the minimisation of errors. Fewer errors translate to fewer reworks on the site, which prevents budget overruns. Also regarding these features, several respondents discussed the possibility of a potential shift in how the industry operates. For example, the possibility of remote project management was discussed. One respondent pointed out that working on a shared BIM model eliminates the need for in-person meetings, while another mentioned that managers can track site progress using VR technologies. Furthermore, technology has significantly reduced the amount of manual work in design offices; for example, BIM can automatically produce schedules from a model. The respondents agreed that technical offices of the

future may work with fewer staff. These results reflect those of Österreich and Teuteberg (2016) who also found that the industry can expect a series of "organisational and process changes" and a "redesign [of] the current business model" following the adoption of Industry 4.0 (p. 135).

The study found that while BD and analytics are beginning to be more commonly used in Turkish construction projects, applications are generally in tentative stages. Therefore, this study is inconclusive on its effects. However, it appears that R&D efforts to implement AI in analytics are being made, and that the upcoming years may witness significant improvements.

### **Industry Barriers**

The theme of obligation recurred when describing motivators, when noting the differences of Turkish contractor practices in foreign countries, and when describing other countries' adoption of Industry 4.0. In short, all the respondents emphasized this theme throughout each section of the interview survey. In some cases, this obligation referred to client specifications; however, in most cases obligation was local governments' standards and regulations. All the respondents emphasized that without mandated standards and regulations, it is unlikely that any notable improvements will occur regarding digitalisation within the sector. This topic is a consistent one throughout several studies as well. In their study reviewing BIM in the Turkish construction sector, Tekin and Atabay (2018) illustrate that this has been a longstanding issue in this country: "the Turkish construction sector has suffered from the lack of [BIM and CAD] standards, which resulted in many complicated problems" (pg. 4).

The respondents agreed that generally, construction companies are unlikely to undergo major changes without obligation from the government. This is particularly the case with small and medium-sized companies, who undertake simpler projects which can be completed without advanced technologies. Furthermore, smaller and medium-sized enterprises typically cannot afford to finance technological innovations (Osunsanmi, 2018). An implication of this is that the industry cannot fully digitalise, because bigger companies rely on small enterprises for specialty services. Regarding this issue, Newman et al. (2020) report that Industry 4.0 "cannot work for any one firm unless all firms fall in line behind digitization" (pg. 19). Mangialardi et al. (2017) provide further elaboration on this issue, stating that "the level of technology adoption ranges from

low to medium with consequent lack of process commonality, standardization and integration between IT processes and software” (Industries Comparison section, para. 3). The results of this study directly reflected this dependency, illustrating that subcontractors' inadequate use of technology affects the digitalisation of firms higher up the value chain. In order for the Turkish construction sector to digitalise, all industry players must adapt. Therefore, the lack of standards and regulations could be a major factor, if not the only one, preventing the sector from evolving toward Industry 4.0.

It appears that besides a lack of regulations, resistance to change within the industry is the most significant barrier to Industry 4.0. In all five interviews, this theme reiterates throughout the respondents' narratives multiple times. These results are in line with those of previous studies. For example, Österreich and Teuteberg (2016) said: "The construction industry is known for its strong resistance to changes and new technologies as well as the conservatism and inability to adapt by staff members of its companies" (p. 135). Likewise, when discussing the barriers of BIM adoption in Turkey, Tekin and Senbay (2018) mention that "one of the most difficult barriers in BIM adoption is the resistance to new technologies. The lack of open-minded culture, the fear of the unknown and being attached to old habits are the main causes of this barrier" (p. 4). According to the respondents, this resistance primarily comes from people over the age of 50. It is important to note that, while older staff members have difficulty learning and adapting to new technologies, those in decision making positions prevent the industry from evolving. Specifically, the resistance from older members of upper management stem from three sentiments. First, reluctance to change old methods due to the required effort and a conservative outlook. Second, scepticism toward the benefits of these technologies. Third, fear of losing power and authority over practices that are unknown to them.

Another important finding was that there is a significant lack of construction personnel who is qualified and experienced in using Industry 4.0 technologies. According to Tekin and Atabay (2018), even BIM experts are scarce: "the number of experts in the field of BIM is very limited in Turkey" (p. 4). Therefore, the difficulty of finding staff who can employ more advanced technology is unsurprising. It is important to consider that the number of construction firms that use these technologies in Turkey are very limited. Thus, there are limited opportunities for becoming skilled in these specialised areas. Consequently, the firms that want to use Industry 4.0 technologies struggle to

assemble competent teams. In most cases, they provide training in-house. This difficulty further drives many firms' reluctance to adopt new practices.

In reviewing the literature, high investment costs are one of the main barriers in Industry 4.0 adoption. This study confirms that the following factors are significant in delaying or preventing companies from digitalising: (a) the cost of software licenses, (b) the cost of hardware and equipment, and (c) training expenses. It is important to note that cost in the context of developing countries is especially challenging, since license and equipment fees are based on foreign currencies which have significantly higher value. Tekin and Atabay (2018) assert that license fees, hardware requirements, and hiring of BIM experts are the main drivers of cost, which deters most Turkish subcontractors from implementing BIM despite their interest.

As mentioned previously, the lack of qualified personnel in the industry requires companies to provide training for using Industry 4.0 software and equipment. This requires additional budgeting on two accounts: hiring training professionals and the cost of the staff's manhours spent on training. This study found that in most cases, the training is done by BIM managers or related positions in the company, however this also subtracts their valuable manhours from project time. Comparison of the findings with those of earlier studies confirms that this is a common barrier within the industry. For instance, Newman et al. (2020) have also found that "training fees for technical equipment may become costly to an owner. Such training may require out of house specialist to train the current work force for operation, taking up valuable time and money" (p. 13).

### **Solutions**

This study's results show that obligation is the primary motivator for using Industry 4.0 technologies, whether this obligation stems from client specifications or local regulations. That is why all the respondents in this study pertain to large-scale international companies: in order to undertake international projects and abide by the respective countries' standards and regulations, these technologies must be utilized. Comparison of the findings with those of other studies confirms this. Tekin and Atabay's 2017 study found that the majority of Turkish companies who have shifted to BIM have done so to participate in international tenders. Ademci's 2018 study found that professionals from companies that are active in international markets have significantly higher rates of BIM awareness and usage. Correspondingly, the

respondents in this study agreed that a lack of standards and regulations is the most significant barrier against the Turkish construction sector's adoption of technology. Hence, it is unsurprising that government mandates would be the most significant driver of the sector's widespread digitalisation.

Moreover, the findings of this study support the notion that BIM is central to digitalisation, as told by Malev (2021) and Elghaish (2020). For example, several Turkish municipalities currently have BIM specifications in their railway projects; while using BIM, these projects utilized various Industry 4.0 technologies as well. Several respondents identified BIM as a starting point for the sector's shift to Industry 4.0. Therefore, it is imperative that the government extends its standards and regulations for BIM beyond railway projects and implements them for all public projects. This study found that financial incentives, such as tax breaks or R&D support, must be given for companies who utilize and research Industry 4.0 applications, to combat the challenge of high investment costs. These results corroborate the ideas of Österreich and Teuteberg (2016), who suggested that governments must provide "funding programs for industry and research" to motivate companies into adopting costly technologies (p. 135). Furthermore, they mention that world leaders in BIM like the UK and Scandinavian regions owe this success to their governments which "have heavily invested in national funding programs, BIM mandates, implementation plans and incentives" (p. 130). In their study investigating BIM implementation in developing countries, Bui et al. (2016) assert that: "Construction organizations in developing countries appear to expect financial and technical support and guidance from their governments" (pg. 493). This puts even more emphasis on the government's role in the matter.

Education and training are other integral solutions. In response to the lack of technology know-how in the sector, companies must provide training programs for BIM and other Industry 4.0 practices. In some cases, specialised work may be outsourced to technology companies. Part of the responsibility falls on universities, who must integrate new practices into their curriculum.

The presence of a BIM or R&D team is both necessary and highly valuable. Throughout the interviews, discussions regarding motivators and solutions often led to the theme of innovation leaders. The respondents identified that persons or groups who are dedicated to initiating innovative practices have a substantial effect on the

direction of a project. In the same vein, Österreich and Teuteberg (2016) suggested that "companies can involve change agents as opinion leaders during the implementation process" (p. 135) to facilitate acceptance of new technologies.

While not an active solution, the Respondents expressed the belief that digitalisation will accelerate as younger generations assume positions of power. Also, successful projects that implement technology often inspire more projects to follow their example. Further, it can be suggested that as more companies adopt these technologies, more construction professionals will familiarize and specialise in Industry 4.0 practices. Many signs point to the fact that once standards and regulations are implemented for a fraction of construction projects, digitalisation may gain momentum across the entire sector.

### **3.5.2 Limitations and Future Research**

This was an exploratory study, inquiring the accounts and thoughts of five industry professionals. Due to the qualitative nature of the study, it is important to bear in mind the possible bias in the responses. Also, the findings derive from a small sample size and may not be applicable to the entire Turkish construction sector. This study may be coupled with an industry-wide, quantitative research to improve the accuracy and generalizability of the findings.

Moreover, this study is limited in terms of population sample. The respondents work in large-scale companies that take part in international projects. While searching for participants to take part in this study, it was observed that professionals who work in small and medium-sized companies have limited experiences with Industry 4.0 technologies. All the respondents work in technical offices and three out of five are BIM managers. Thus, these results need to be interpreted with caution. A broader demographic of participants may provide more insight. Including participants such as field engineers may provide more data on the effects of Industry 4.0 during the construction stage. Also, a separate study is recommended to research industry barriers; this study should include companies that have not yet employed Industry 4.0 practices.

It is unfortunate that the case study included a limited number of Industry 4.0 technologies. Considerably more work will need to be done to determine the effects of technologies such as IoT, AM, and analytics, among others. However, this may only

be carried out further into the future as such technologies become utilized by Turkish construction companies, and sufficient data is obtained to gain outputs.



## 4 CONCLUSIONS

The construction industry's stagnant efficiency is a widely discussed topic. The low profit margins, inadequate sustainability measures, and high safety risks must be overcome. Beyond only BIM implementation, the sector must prepare the integration of Industry 4.0 technologies which will enable advancement of the design, construction, and operations stages. While even BIM is still a novel practice in the Turkish construction industry, large-scale firms now leverage several innovative technologies to their competitive advantage. It is important that these use cases are presented and that their effects are discussed to raise awareness on the operational benefits that Industry 4.0 can offer the construction sector.

Therefore, this study aimed to explore the effects of Industry 4.0 technologies on Turkish construction projects, identify the barriers, and discuss solutions for widespread adoption. Based on a qualitative analysis exploring the views of five industry professionals, it can be concluded that Industry 4.0 technologies have significant benefits on construction projects and that a widespread implementation heavily relies on standards and regulations. Furthermore, this study found that employing Industry 4.0 technologies in construction projects increases coordination among stakeholders, reduces project durations, provides cost saving opportunities, and improves design decisions. Despite these benefits, the research has also identified significant barriers that hinder widespread adoption of digitalisation in the Turkish construction sector. First, there is a strong resistance to change within the industry, particularly by older generations. Second, Industry 4.0 practices require high investment costs for software, equipment, and training. Third, the lack of construction personnel who are qualified in using these technologies makes it difficult and expensive to assemble teams.

As mentioned in the literature review, the primary reason behind countries that are farthest ahead in using BIM and Industry 4.0 technologies are government mandated



standards and regulations. This was supported in the findings and accepted as the primary solution for the Turkish construction sector's adoption of Industry 4.0. Companies must appoint innovation leaders and departments dedicated to BIM, related technologies, and R&D. A focus is also required on providing education and training, in addition to raising industry awareness on the benefits of digitalisation. Finally, governments must provide tax breaks and financial incentives to combat the high costs implementing Industry 4.0 technologies and conducting research.

In reviewing the literature, it is apparent that much of the industry's focus remains of BIM, while other Industry 4.0 technologies are yet to be explored. Particularly in the Turkish construction sector, research on the use cases and effects of these technologies is lacking. This is a significant gap in the literature that needs to be addressed in order to promote further research and, ultimately, increase adoption of technology across the sector. First, this study provided an overview on how Turkish construction companies that use Industry 4.0 technologies conduct their projects. Second, the effects of these technologies were discussed; the benefits and challenges were compared to ensure an objective standpoint. Accounts of the companies' training and adaptation periods were presented to provide insight into the implementation processes. Industry barriers, along with their solutions, were explored to gain an industry-wide picture of the current situation and how it can be bettered. Notwithstanding the limited sample, the respondents' experiences offer valuable insight into the sector's position regarding Industry 4.0. Nevertheless, an industry-wide quantitative research with a more diverse sample group is recommended to enhance the generalization of this study's findings.

While the global construction sector is behind compared to other industries, AEC applications in developed countries are slowly adapting to Industry 4.0. If Turkey does not follow suit, it risks surrendering its place among the world's top contracting firms and losing an important source of export earnings. Currently, rate of technology adoption is low and the majority of industry players continue to work with outdated methods. The widespread use of BIM, followed by Industry 4.0 technologies, provide a vital opportunity for construction companies to gain competitive advantage and maximize profit margins. The findings of this study suggest several courses of action. The government is strongly encouraged to implement standards and regulations, and fund R&D research in this area. Moreover, their partnerships with organizations like

BuildingSMART will accelerate development and aid both private and public sectors in their transition. Universities play an important role, as their curriculum affects the level of know-how within the industry. Also, companies who appoint innovation leaders and BIM teams will have much to gain. A combination of these efforts coupled with future studies' findings will have important implications for the sector.



## REFERENCES

- 3D-4D Building Information Modeling. Gsa.gov. Retrieved 6 May 2021, from <https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling>
- Acatech National Academy of Science and Engineering. (2011). *Cyber-Physical Systems: Driving force for innovation in mobility, health, energy and production* [Ebook]. acatech – National Academy of Science and Engineering. Retrieved 3 April 2021, from [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech\\_POSITION\\_CPS\\_Englisch\\_WEB-1.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_POSITION_CPS_Englisch_WEB-1.pdf).
- Aconex Project Delivery and Controls. [Oracle.com](https://www.oracle.com/industries/construction-engineering/aconex-project-controls/). Retrieved 4 April 2021, from <https://www.oracle.com/industries/construction-engineering/aconex-project-controls/>.
- Aigbavboa, C., Oke Ayodeji, E., & Mokasha Mpho, D. (2016). IMPLEMENTATION OF SKILL DEVELOPMENT ACT IN THE SOUTH AFRICAN CONSTRUCTION INDUSTRY. *International Journal Of Civil And Environmental Engineering*, 5(9), 53-64. <https://doi.org/10.12803/sjseco.59006>
- Akanmu, A. (2012). *Towards Cyber-Physical Systems Integration in Construction* (Graduate). The Pennsylvania State University.
- Alaloul, W., Liew, M., Zawawi, N., & Kennedy, I. (2020). Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(1), 225-230. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>
- Alavi, H., Lalanne, D., Nembrini, J., Churchill, E., Kirk, D., & Moncur, W. (2016). Future of Human-Building Interaction. *Proceedings Of The 2016 CHI Conference Extended Abstracts On Human Factors In Computing Systems*. <https://doi.org/10.1145/2851581.2856502>
- Ang, P., Pung, Y., Tsai, K., Zulkaply, M., Tey, J., & Kasim, N. et al. (2020). BIM: The setback OR solution to project cost issues in Malaysia construction industry?. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 476. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012011>
- Arowoiya, V., Oke, A., Aigbavboa, C., & Aliu, J. (2020). An appraisal of the adoption internet of things (IoT) elements for sustainable construction. *Journal*

*Of Engineering, Design And Technology*, 18(5), 1193-1208. doi: 10.1108/jedt-10-2019-0270

- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership And Management In Engineering*, 11(3), 241-252. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)lm.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(asce)lm.1943-5630.0000127)
- Barbosa, F., Woetzel, J., Michke, J., Ribeirinho, M., Sridhar, M., Parsons, M., . . . Brown, S. (2017, February). *REINVENTING CONSTRUCTION: A ROUTE TO HIGHER PRODUCTIVITY* (Rep.). Retrieved December 12, 2020, from McKinsey Global Institute website: [https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/BusinessFunctions/Operations/Our Insights/Reinventing construction through a productivity revolution/MGI-Reinventing-Construction-Executive-summary.pdf](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/BusinessFunctions/Operations/Our%20Insights/Reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/MGI-Reinventing-Construction-Executive-summary.pdf)
- Bazjanac, V. and Crawley, D.B. (1997). The Implementation of Industry Foundation Classes in Simulation Tools for the Building Industry. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Becerik-Gerber, B. and Kensek, K. (2009). Building information modeling in architecture, engineering, and construction: emerging research directions and trends. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice* 136: 139–147.
- Bello, S., Oyedele, L., Akinade, O., Bilal, M., Davila Delgado, J., & Akanbi, L. et al. (2021). Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. *Automation In Construction*, 122, 103441. doi: 10.1016/j.autcon.2020.103441
- Bertram, N., Fuchs, S., Mischke, J., Palter, R., Strube, G., & Woetzel, J. (2019). *Modular construction: From projects to products* [Ebook]. McKinsey & Company. Retrieved from <https://www.ivvd.nl/wp-content/uploads/2019/12/Modular-construction-from-projects-to-products-full-report-NEW.pdf>
- Bertschek, I., Niebel, T., & Ohnemus, J. (2019). *Zukunft Bau: Beitrag der Digitalisierung zur Produktivität in der Baubranche* [Ebook]. Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Retrieved 6 May 2021, from [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-19-2019-dl.pdf;jsessionid=9EDA464CDC7B494C7A542243E580CF4C.live11292?\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-19-2019-dl.pdf;jsessionid=9EDA464CDC7B494C7A542243E580CF4C.live11292?_blob=publicationFile&v=1).
- Bhargava, V., Chander, R., Favilla, J., Kaijim, W., & Lin, S. (2019). *Engineering and construction digital supply chains* [Ebook]. IBM Corporation. Retrieved 18 November 2020, from <https://www.ibm.com/downloads/cas/GJOMQOWL>.

- Bhattacharjee, A. (2012). *Social science research*. A. Bhattacharjee.
- Bilal, M., Oyedele, L., Qadir, J., Munir, K., Ajayi, S., & Akinade, O. et al. (2016). Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 500-521. doi: 10.1016/j.aei.2016.07.001
- Blanco, J., Fuchs, S., Parsons, M., & Ribeirinho, M. (2018). *Artificial intelligence: Construction technology's next frontier* [Ebook]. McKinsey & Company. Retrieved 30 January 2021, from <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/artificial-intelligence-construction-technologys-next-frontier>.
- Bock, T., & Linner, T. (2015). *Robot Oriented Design*. Cambridge University Press.
- Boffey, D. (2021). Dutch couple become Europe's first inhabitants of a 3D-printed house. *The Guardian*. Retrieved 15 May 2021, from <https://www.theguardian.com/technology/2021/apr/30/dutch-couple-move-into-europe-first-fully-3d-printed-house-eindhoven>.
- Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual And Physical Prototyping*, 11(3), 209-225. <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>
- Boston Consulting Group. (2016). *BROAD Sustainable Building, Bringing manufacturing principles to the construction of high-rise buildings* [Ebook]. World Economic Forum. Retrieved from <https://futureofconstruction.org/case/broad-sustainable-building/>
- Boton, C., Rivest, L., Forgues, D., & Jupp, J. (2016). Comparing PLM and BIM from the Product Structure Standpoint. *IFIP Advances In Information And Communication Technology*, 443-453. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54660-5\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54660-5_40)
- Brenzel, K., & Jeans, D. (2019). Warped lumber, failed projects: TRD investigates Katerra, SoftBank's \$4B construction startup. *The Real Deal*. Retrieved 31 January 2021, from <https://therealdeal.com/2019/12/16/softbank-funded-construction-startup-katerra-promised-a-tech-revolution-its-struggling-to-deliver/>.
- Building a Digital Supply Chain in the Building Industry. (2017). Retrieved 23 January 2021, from <https://digital.hbs.edu/platform-rectom/submission/building-a-digital-supply-chain-in-the-building-industry/>
- Buswell, R., Leal de Silva, W., Jones, S., & Dirrenberger, J. (2018). 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. *Cement And Concrete Research*, 112, 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.006>

- Chang, P., & Swenson, A. (2020). Construction. In *Encyclopedia Britannica* (10th ed., p. <https://www.britannica.com/technology/construction>).
- Chong, H., Wong, J., & Wang, X. (2014). An explanatory case study on cloud computing applications in the built environment. *Automation In Construction*, *44*, 152-162. doi: 10.1016/j.autcon.2014.04.010
- Cognilytica. (2019). *AI Use Case Series — AI in Construction*. AI Today Podcast [Podcast]. Retrieved 8 February 2021, from <https://www.cognilytica.com/2019/06/26/ai-today-podcast-95-ai-use-case-series-ai-in-construction/>.
- Craveiro, F., Duarte, J., Bartolo, H., & Bartolo, P. (2019). Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. *Automation In Construction*, *103*, 251-267. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011>
- Daylight Analysis in BIM*. Autodesk. (2018). Retrieved 10 June 2021, from <https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/simplecontent/content/daylight-analysis-bim.html>.
- de Guzmán Báez, A., Villoria Sáez, P., del Río Merino, M., & García Navarro, J. (2012). Methodology for quantification of waste generated in Spanish railway construction works. *Waste Management*, *32*(5), 920-924. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.007>
- De Schutter, G., Lesage, K., Mechtcherine, V., Nerella, V., Habert, G., & Agusti-Juan, I. (2018). Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials. *Cement And Concrete Research*, *112*, 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.06.001>
- Dix, A. (2009). Human-Computer Interaction. *Encyclopedia Of Database Systems*, 1327-1331. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9\\_192](https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_192)
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Easton, M., Carrodus, G., Delaney, T., McArthur, K., & Smith, R. (2013). *Oxford Big Ideas Geography* (pp. 270-303). Oxford University Press.
- Ebrahimi, S. (2019). *Awareness of the Turkish Construction Industry Towards Industry 4.0 Technologies and Concepts* (Graduate). Middle East Technical University.
- Edirisinghe, R. (2018). Digital skin of the construction site: Smart sensor technologies towards the future smart construction site. *Engineering, Construction And Architectural Management*, *26*(2), 184-223. <https://doi.org/10.1108/ecam-04-2017-0066>
- Elliott, R., & Timulak, L. (2005). *Descriptive and interpretive approaches to qualitative research* (pp. 147-157). Oxford University Press.

- Ernstrom, B., Hanson, D., & Hill, D. (2008). *The Contractors' Guide to BIM*. Associated General Contractors of America (AGC).
- Ernstsen, S., Whyte, J., Thuesen, C., & Maier, A. (2021). How Innovation Champions Frame the Future: Three Visions for Digital Transformation of Construction. *Journal Of Construction Engineering And Management*, 147(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001928](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001928)
- European Commission. (2015). *EU R&D SCOREBOARD The 2015 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Retrieved from [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC98287/ipts%20jrc%2098287%20\(online\)%20complete.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC98287/ipts%20jrc%2098287%20(online)%20complete.pdf)
- Federal Ministry of Education and Research (BMBF) Division for Innovation and Transfer Policy Issues. (2021). *The High-Tech Strategy 2025 Progress Report* [Ebook] (pp. 9-33). Retrieved 9 May 2021, from [https://www.bmbf.de/upload\\_filestore/pub/The\\_High\\_Tech\\_Strategy\\_2025.pdf](https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/The_High_Tech_Strategy_2025.pdf).
- Gamil, Y., Abdullah, M., Rahman, I., & Asad, M. (2020). Internet of things in construction industry revolution 4.0. *Journal Of Engineering, Design And Technology*, 18(5), 1091-1102. doi: 10.1108/jedt-06-2019-0164
- Gartner. Big Data. *Gartner IT Glossary*. Retrieved from <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data>
- Garza, A. (2018). *Sequencing Made Simpler Bechtel Is Turning to Artificial Intelligence for Megaprojects*. PM Network. Retrieved 24 January 2021, from <https://www.pmi.org/learning/library/bechtel-artificial-intelligence-megaprojects-11404>.
- Generalova, E., Generalov, V., & Kuznetsova, A. (2016). Modular Buildings in Modern Construction. *Procedia Engineering*, 153, 167-172. doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.098
- Ghosh, A., Hosseini, M., Edwards, D., Kassem, M., & Matteo-Garcia, M. (2019). Use cases for the Internet of Things (IoT) in the construction sector: Lessons from leading industries. In *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*. Newcastle, United Kingdom. Retrieved 24 February 2021, from [https://www.researchgate.net/publication/335060450\\_Use\\_cases\\_for\\_the\\_Internet\\_of\\_Things\\_IoT\\_in\\_the\\_construction\\_sector\\_Lessons\\_from\\_leading\\_industries](https://www.researchgate.net/publication/335060450_Use_cases_for_the_Internet_of_Things_IoT_in_the_construction_sector_Lessons_from_leading_industries).
- Guimapang, K. (2021). Construction start-up Kattera receives major bailout from SoftBank. *Archinect News*. Retrieved 31 January 2021, from <https://archinect.com/news/article/150243556/construction-start-up-kattera-receives-major-bailout-from-softbank>.



- Hao, J., Hills, M., & Huang, T. (2007). A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong. *Construction Innovation*, 7(1), 7-21. <https://doi.org/10.1108/14714170710721269>
- Harrouk, C. (2020). *3D Printing for Residential is Market-Ready: Germany's First Building is Under Construction*. ArchDaily. Retrieved 15 May 2021, from <https://www.archdaily.com/949531/3d-printing-for-residential-is-market-ready-germanys-first-building-is-under-construction>.
- Hovnanian, G., Kroll, K., & Sjödin, E. (2019). *How analytics can drive smarter engineering and construction decisions* [Ebook]. McKinsey & Company. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/How%20analytics%20can%20drive%20smarter%20engineering%20and%20construction%20decisions/How-analytics-can-drive-smarter-engineering-and-construction-decisions-vF.pdf?shouldIndex=false>
- İMSAD. Imsad.org. (2021). Retrieved 4 June 2021, from <https://www.imsad.org/hakkinda/kurumsal/verilerle-turkiye-imsad/>.
- IoT in Construction: Analysis of Innovations and Use Cases*. HIOTRON. Retrieved 26 February 2021, from <https://www.hiotron.com/iot-in-construction/>.
- Irizarry, J., Gheisari, M., Zolfagharian, S., & Meadati, P. (2013). Human Computer Interaction Modes for Construction Education Applications: Experimenting with Small Format Interactive Displays. *International Journal Of Construction Education And Research*, 9(2), 83-101. <https://doi.org/10.1080/15578771.2012.720356>
- Jupp, J. (2016). Cross industry learning: a comparative study of product lifecycle management and building information modelling. *International Journal Of Product Lifecycle Management*, 9(3), 258. <https://doi.org/10.1504/ijplm.2016.10001526>
- Katerra*. Katerra. Retrieved 25 January 2021, from <https://katerra.com/>.
- Keskin, U. (2017). *Metro İstasyonu Simülasyonu* (Masters). İstanbul Medeniyet University.
- King, D., Srikukenthiran, S., & Shalaby, A. (2014). Using Simulation to Analyze Crowd Congestion and Mitigation at Canadian Subway Interchanges. *Transportation Research Record: Journal Of The Transportation Research Board*, 2417(1), 27-36. <https://doi.org/10.3141/2417-04>
- Kırlangıçoğlu, C., & Döker, M. (2018). Use of pedestrian simulation technologies in urban planning and architectural design process. *International Journal Of Human Sciences*, 15(3). Retrieved 10 June 2021, from



<https://www.j-humansciences.com/ojs/index.php/IJHS/article/view/5399>.

- Li, X., Yi, W., Chi, H., Wang, X., & Chan, A. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation In Construction*, 86, 150-162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>
- Lingard, H. (2013). Occupational health and safety in the construction industry. *Construction Management And Economics*, 31(6), 505-514. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.816435>
- Lu, W., Chen, K., Xue, F., & Pan, W. (2018). Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework. *Journal Of Cleaner Production*, 201, 236-245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.319>
- Majeed, M., Mustafa, F., & Husein, H. (2019). Impact of Building Typology on Daylight Optimization Using Building Information Modeling: Apartments in Erbil City as a Case Study. *Journal Of Daylighting*, 6(2), 187-201. <https://doi.org/10.15627/jd.2019.17>
- Majeed, M., Mustafa, F., & Husein, H. (2019). Impact of Building Typology on Daylight Optimization Using Building Information Modeling: Apartments in Erbil City as a Case Study. *Journal Of Daylighting*, 6(2), 187-201. <https://doi.org/10.15627/jd.2019.17>
- Malev, M. (2021). *Digitalization of the construction industry: Germany is lagging*. DMEXCO. Retrieved 6 May 2021, from <https://dmexco.com/stories/digitalization-construction-industry/>.
- Mangialardi, G., Di Biccari, C., Pascarelli, C., Lazoi, M., & Corallo, A. (2017). BIM and PLM Associations in Current Literature. *Product Lifecycle Management And The Industry Of The Future*, 345-357. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-72905-3\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-72905-3_31)
- Maskuriy, R., Selamat, A., Ali, K., Maresova, P., & Krejcar, O. (2019). Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry?. *Applied Sciences*, 9(14), 2819. doi: 10.3390/app9142819
- McKnight, J. (2017). Kattera combines technology and modular construction to create large-scale prefab buildings. Retrieved 23 January 2021, from <https://www.dezeen.com/2017/07/19/kattera-combines-technology-modular-construction-large-scale-prefabricated-buildings/>
- Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing* [Ebook] (pp. 2-3). Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology. Retrieved from <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>

- Meža, S., Turk, Ž., & Dolenc, M. (2014). Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system. *Automation In Construction*, 42, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.011>
- Misra, Joydeep. 2017. "Sensors And Actuators In Iot | Enabling Industrial Automation". Blog. *Bridgera*. <https://bridgera.com/sensors-and-actuators-in-iot/>.
- Naser, M. (2019). Autonomous and resilient infrastructure with cognitive and self-deployable load-bearing structural components. *Automation In Construction*, 99, 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.032>
- Newman, C., Edwards, D., Martek, I., Lai, J., Thwala, W., & Rillie, I. (2020). Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study. *Smart And Sustainable Built Environment*. doi: 10.1108/sasbe-02-2020-0016
- NIBS (2015). National BIM Standard United States Version 3. National Institute of Building Sciences, Washington DC, USA. Retrieved from <http://www.nationalbimstandard.org>
- Nölling, K. (2016). *Digitization in the construction industry* [Ebook]. Roland Berger. Retrieved 6 May 2021.
- Oasys. *MassMotion simulation image* [Image]. Retrieved 10 June 2021, from <https://www.oasys-software.com/news/launch-of-massmotion-multi-language/>.
- Österreich, T., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers In Industry*, 83, 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Paolini, A., Kollmannsberger, S., & Rank, E. (2019). Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications, and digital planning methods. *Additive Manufacturing*, 30, 100894. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100894>
- Papadonikolaki, E. (2019). The Digital Supply Chain. *Successful Construction Supply Chain Management*, 13-41. <https://doi.org/10.1002/9781119450535.ch2>
- Papadonikolaki, E., Morgan, B., & Davies, A. (2018). Paving the way to digital innovation: megaprojects, institutions and agency. In *European Group for Organizational Studies (EGOS)*. Retrieved 6 May 2021, from [https://www.researchgate.net/publication/326367707\\_Paving\\_the\\_way\\_to\\_digital\\_innovation\\_megaprojects\\_institutions\\_and\\_agency](https://www.researchgate.net/publication/326367707_Paving_the_way_to_digital_innovation_megaprojects_institutions_and_agency).
- Pehlivan, D. (2020). *Lazer Tarama Genel Anlatım ve Uygulama Notları Örnek Çalışması* [Laser Scanning Overview and Application Notes Case

- Study] [Video]. Retrieved 3 April 2021, from [https://www.youtube.com/watch?v=W5twQEEUq8&ab\\_channel=buildingSMARTT%C3%BCrkiye](https://www.youtube.com/watch?v=W5twQEEUq8&ab_channel=buildingSMARTT%C3%BCrkiye).
- PERI GmbH. (2020). *3D printed construction project* [Image]. Retrieved 15 May 2021, from <https://www.archdaily.com/949531/3d-printing-for-residential-is-market-ready-germanys-first-building-is-under-construction>.
- Perrot, A., Rangedard, D., & Pierre, A. (2015). Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques. *Materials And Structures*, 49(4), 1213-1220. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0571-0>
- Ram, J., Afridi, N., & Khan, K. (2019). Adoption of Big Data analytics in construction: development of a conceptual model. *Built Environment Project And Asset Management*, 9(4), 564-579. doi: 10.1108/bepam-05-2018-0077
- Ribeirinho, M., Mischke, J., Strube, G., Sjödin, E., Blanco, J., & Palter, R. et al. (2020). *The next normal in construction: How disruption is reshaping the world's largest ecosystem* [Ebook]. McKinsey & Company. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-next-normal-in-construction-how-disruption-is-reshaping-the-worlds-largest-ecosystem>
- Saggi, M., & Jain, S. (2018). A survey towards an integration of big data analytics to big insights for value-creation. *Information Processing & Management*, 54(5), 758-790. doi: 10.1016/j.ipm.2018.01.010
- Sakin, M. (2019). *Development of BIM Implementation Framework for Digital Construction In Turkey* (Ph.D). Hasan Kalyoncu University.
- Schober, K. (2020). *Artificial intelligence in the construction industry*. Roland Berger. Retrieved 8 February 2021, from <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Artificial-intelligence-in-the-construction-industry.html>.
- Sethi, P., & Sarangi, S. (2017). Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications. *Journal Of Electrical And Computer Engineering*, 2017, 1-25. doi: 10.1155/2017/9324035
- Shen, L. (2015). *HUMAN-BUILDING INTERACTION (HBI) Design Thinking and Energy Efficiency* [Ebook]. Center for Energy and Environment. Retrieved 27 May 2021, from [https://www.mncee.org/getattachment/Resources/Resource-Center/Technical-Reports/Human-Building-Interaction-\(HBI\)-Design-Thinking/HBIwhitepaper-final.pdf.aspx](https://www.mncee.org/getattachment/Resources/Resource-Center/Technical-Reports/Human-Building-Interaction-(HBI)-Design-Thinking/HBIwhitepaper-final.pdf.aspx).
- Sholli, S. (2019). Construction Industry Spent Record £351M On Research Last Year. *New Civil Engineer*. Retrieved 8 February 2021, from

<https://www.newcivilengineer.com/latest/rd-plummets-14-in-uk-construction-sector-03-04-2020/>.

Smith, E., 2019. *Applications Of Artificial Intelligence In EPC*. [online] Bechtel Corporate. Available at: <https://www.bechtel.com/blog/innovation/april-2019/applications-artificial-intelligence-epc/> [Accessed 24 January 2021].

Sørensen, A.Ø., Olsson, N., & Landmark, A. (2016). Big Data in Construction Management Research.

Sousa, J. (2012). Energy Simulation Software for Buildings: Review and Comparison. Retrieved 10 June 2021, from <https://www.semanticscholar.org/paper/Energy-Simulation-Software-for-Buildings-%3A-Review-Sousa/b4b6593df77024a585b68d066bf2bd668838f852>.

Taner, Z., & Bicer, Z. (2020). Industry 4.0 Impact on Project Management Factors. In *6th International Project and Construction Management Conference (e-IPCMC2020)* (pp. 203-211). Istanbul; Istanbul Technical University. Retrieved 2 March 2021.

Tay, Y., Panda, B., Paul, S., Noor Mohamed, N., Tan, M., & Leong, K. (2017). 3D printing trends in building and construction industry: a review. *Virtual And Physical Prototyping*, 12(3), 261-276. <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724>

Tekin, H., & Atabay, Ş. (2019). Building information modelling roadmap strategy for Turkish construction sector. *Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Municipal Engineer*, 172(3), 145-156. <https://doi.org/10.1680/jmuen.17.00001>

Terzi, S., Bouras, A., Dutta, D., Garetti, M., & Kiritsis, D. (2010). Product lifecycle management &ndash; from its history to its new role. *International Journal Of Product Lifecycle Management*, 4(4), 360. <https://doi.org/10.1504/ijplm.2010.036489>

The Government of the United Kingdom. (2013). *Construction 2025* [Ebook] (pp. 7-71). Retrieved 9 May 2021, from [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/210099/bis-13-955-construction-2025-industrial-strategy.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/210099/bis-13-955-construction-2025-industrial-strategy.pdf).

*The High-Tech Strategy of Germany*. ZVEI. (2021). Retrieved 4 May 2021, from <https://www.zvei.org/en/subjects/education-research/the-high-tech-strategy-of-germany>.

TMB. (2018). *Türk Yurtdışı Müteahhitlik Hizmetleri* [Ebook] (p. 8). Türk Müteahhitler Birliği. Retrieved 4 June 2021, from [https://www.tmb.org.tr/doc/file/YDMH\\_Nisan-2018.pdf](https://www.tmb.org.tr/doc/file/YDMH_Nisan-2018.pdf).

- Türkeri, D. (2020). *Dudullu-Bostancı Metro Ortaklığı BIM Yöneticisi Damla Altındal Türkeri'nin Sunumu* [Dudullu-Bostancı Metro Joint Venture's BIM Manager Damla Altındal Türkeri's Presentation] [Video]. Retrieved 3 April 2021, from [https://www.youtube.com/watch?v=57chV-zB8TQ&ab\\_channel=Penguenist](https://www.youtube.com/watch?v=57chV-zB8TQ&ab_channel=Penguenist).
- Turner, C., Oyekan, J., Stergioulas, L., & Griffin, D. (2021). Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, 17(2), 746-756. <https://doi.org/10.1109/tii.2020.3002197>
- Turu, U. (2019). *Dünya Türkiye İnşaat Sektörü* [Ebook]. Türkiye Müteahhitler Birliği. Retrieved 4 June 2021, from [https://www.tmb.org.tr/arastirma\\_yayinlar/tmb\\_bulten\\_ekim2019.pdf](https://www.tmb.org.tr/arastirma_yayinlar/tmb_bulten_ekim2019.pdf).
- UN-Habitat. (2021). *The Value of Sustainable Urbanization 2020*. Nairobi, Kenya: United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). Retrieved from [https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr\\_2020\\_report.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_report.pdf)
- Vassigh, S., Ortega, F., Barreto, A., Tarre, K., & Maldonado, J. (2018). Use of 3D Human-Computer Interaction for Teaching in the Architectural, Engineering and Construction Fields. *Universal Access In Human-Computer Interaction. Virtual, Augmented, And Intelligent Environments*, 149-159. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92052-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92052-8_12)
- Wang, H., & Zhai, Z. (2016). Advances in building simulation and computational techniques: A review between 1987 and 2014. *Energy And Buildings*, 128, 319-335. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.080>
- What is Artificial Intelligence?*. (n.d.). Retrieved from [https://insights.sap.com/what-is-artificial-intelligence/?source=social-Global-sap-LINKEDIN\\_COMPANY-MarketingCampaign-Business+Technology+Platform-AI-abtestmedia-video-spr-4408662370-ST2\\_Intelligent\\_Enterprise&campaigncode=CRM-YD21-SOC-GBSM001](https://insights.sap.com/what-is-artificial-intelligence/?source=social-Global-sap-LINKEDIN_COMPANY-MarketingCampaign-Business+Technology+Platform-AI-abtestmedia-video-spr-4408662370-ST2_Intelligent_Enterprise&campaigncode=CRM-YD21-SOC-GBSM001)
- What is Human-Computer Interaction (HCI)?*. The Interaction Design Foundation. (2021). Retrieved 26 May 2021, from <https://www.interaction-design.org/literature/topics/human-computer-interaction>.
- What is the Difference Between CPS and IoT?*. (2020). [Blog]. Retrieved 3 April 2021, from <https://blog.engineering.vanderbilt.edu/what-is-the-difference-between-cps-and-iot>.
- World Economic Forum, & The Boston Consulting Group. (2016, May). *Shaping the Future of Construction A Breakthrough in Mindset and Technology* [PDF]. Geneva: World Economic Forum.

- Wyman, O. (2018). *DIGITALIZATION OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY: THE REVOLUTION IS UNDERWAY* [Ebook]. Marsh & McLennan. Retrieved 6 May 2021, from <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/sep/digitalization-of-the-construction-industry.html>.
- Ye, X., & König, M. (2019). Applying eye tracking in virtual construction environments to improve cognitive data collection and human-computer interaction of site hazard identification. In *36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction* (pp. 1073-1080). Canada; International Association for Automation and Robotics in Construction I.A.A.R.C). Retrieved 26 May 2021, from.
- Yousefnezhad, N., Malhi, A., & Kinnunen, T. (2021). Product Lifecycle Information Management with Digital Twin: A Case Study. In *International Conference on Industrial Informatics (INDIN 2020)*. Retrieved 7 June 2021, from [https://www.researchgate.net/publication/344173962\\_Product\\_Lifecycle\\_Information\\_Management\\_with\\_Digital\\_Twin\\_A\\_Case\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/344173962_Product_Lifecycle_Information_Management_with_Digital_Twin_A_Case_Study).

## **APPENDICES**

**APPENDIX A:** Survey Questionnaire

**APPENDIX B:** Interview Transcripts



## APPENDIX A

Bu anket, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapım Proje Yönetimi Yüksek Lisans Programı dahilinde yürütülen bir tez araştırması için kullanılacaktır. Bilgilerinizin başka bir amaçla kullanılmayacağı ve üçüncü şahıslara verilmeyeceği teminatımız altındadır.

Sera Özkıvanç  
Sema ERGÖNÜL

Prof. Dr.

Yüksek Lisans Öğrencisi  
Danışmanı

Tez

### 1. Mesleğiniz nedir?

- İnşaat Mühendisi       Makine Mühendisi       Mimar  
 Diğer: .....

### 2. İnşaat sektöründe kaç yıllık deneyim sahibisiniz?

.....

### 3. Firmanızdaki ünvanınız nedir?

- Proje Yöneticisi       BIM Manager       Danışman  
 Diğer: .....

### 4. Firmanızdaki görevleriniz neleri kapsıyor?

- Planlama       Risk Yönetimi       Sözleşme Yönetimi  
 Maliyet Yönetimi       Tasarım       Kalite Yönetimi  
 Şantiye Yönetimi       BIM Yönetimi  
 Diğer:.....

### 5. Firma türünüz nedir?

- Yatırımcı       Ana yüklenici       Alt yüklenici  
 Danışmanlık       Tasarımcı       Proje Yönetimi  
 Diğer: .....



**6. Firmanızın çalışan sayısı nedir?**

- 1-49       49-99       100-249       250-999       1000+

**7. Firmanız ne tür projeler yapmaktadır?**

- Konut       Ticari       Altyapı       Endüstriyel  
 Diğer: .....

**8. Firmanız uluslararası projelerde yer alıyor mu?**

- Evet       Hayır

**9. Evet cevapladıysanız, projeler çoğunlukla hangi ülkelerde gerçekleşiyor?**

.....

**Araştırmanın röportaj aşaması, bu teknolojilerin kullanıldığı bir proje üzerinde yoğunlaşacak. Lütfen aşağıdaki soruları seçtiğiniz proje için cevaplayın.**

**10. Projedeki BIM kullanımını hangi seviyede gerçekleştirdi?**

- 3D BIM ve CAD (3 boyutlu model ve 2 boyutlu çizimlerin karma kullanımı)  
 3D BIM (3 boyutlu model)  
 4D BIM (3 boyutlu ortak model üzerinde çalışma, iş programı entegrasyonu, simülasyonlar)  
 5D BIM (maliyet yönetimi, değer mühendisliği)  
 6D BIM (sürdürülebilirlik çalışma ve analizlerinin 3 boyutlu model üzerinden yürütülmesi)  
 7D BIM (bakım ve onarım süreçlerinin 3 boyutlu model üzerinden yürütülmesi, tesis yönetimi)

### 11. Projede hangi teknolojilerden faydalanıldı?

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Nanelerin İnterneti (IoT)          | <input type="checkbox"/> Bulut bilişim                |
| <input type="checkbox"/> Büyük Veri/Analitik                | <input type="checkbox"/> Yapay zeka/Makine öğrenmesi  |
| <input type="checkbox"/> 3-boyutlu yazılım                  | <input type="checkbox"/> Otomasyon/Robotik            |
| <input type="checkbox"/> Sanal/Artırılmış Gerçeklik (AR/VR) | <input type="checkbox"/> Proje yönetimi yazılımları   |
| <input type="checkbox"/> Prefabrik/Modüler inşaat           | <input type="checkbox"/> Product Lifecycle Management |
| <input type="checkbox"/> Cyber-physical/Embedded systems    | <input type="checkbox"/> Human-Computer Interaction   |
| <input type="checkbox"/> Diğer: .....                       |   |

**Katkılarınız için içtenlikle teşekkür ederiz.**



## APPENDIX B

### Interview #1

#### Respondent 1, Digital Transformation Expert

25.03.2021 14:00

---

**Sera Özkıvanç:** [Web sitenizde] dijitalleşmeye iki başlıkta yaklaşıyorsunuz: yazılım ve servis olarak değişim yönetimi. Önce yazılımları sormak istiyorum; nelerden faydalanıyorsunuz? Bu yazılımlar hangi teknolojileri barındırıyor?

**Respondent 1:** Biz 2010'da kurulduğumuzda Aconex'le başladık. Adı da biraz aslında geldiği yeri ve yaptığı işi anlatıyor. Avustralya merkezli Aconex, o yüzden Australian Construction Exchange. A-CON-EX birleşiyor, olmuş Aconex. Aconex ile çevredeki Avrupa, Ortadoğu ve Afrika bölgesinde bayağı bir proje yaptık. Son bir yıldır Aconex'in yanına Asite'ı ekledik. Asite da Londra merkezli bizim sektörde en yenilikçi yazılımlardan sistemlerden biri olarak bilinen bir ürün. Aslında Asite bir platform. Yani çok esnek bir altyapı. O bize birçok esneklikleri ve birçok hareket kabiliyetini veriyor. Bunlar bizim inşaat yönetim tarafında çalıştıklarımız.

Ayrıyeten, şantiye yönetimi dediğimiz ofisler dışında sahanın dijitalleşmesini sağlayan teknolojiler var. Orada da biz Crane diye bir yazılım geliştirdik. Tamamen Türkiye'de geliştirdiğimiz bir teknoloji. Şu anda 1915 Çanakkale Köprüsü'nde iki saha süreçlerinin dijitalleşmesinde kullanılıyor. Crane'in şöyle bir güzelliği var. Herhangi bir sistemle entegre olabiliyor. Dolayısıyla Aconex veya Asite kullanılsa da Crane'i kullanabiliyorlar. Crane'i tek başına da kullanabiliyorlar. Herhangi bir sisteme bağımlılığı yok. O bize yıllardır gelen bir talepti saha ekipleri için-- sahanın yönetimi için ayrı bir sistem isteniyordu. Onu da gerçekleştirmiş olduk.

Hangi teknolojileri barındırıyor dersin yani bu iş aslında biraz departman ve süreç gibi düşünülüyor inşaatla. Dolayısıyla ihale teklif yani daha bu iş ilk başındayken belki projeye ilgili mimari firma ilk karalamaları yaparken mimari firma ile işveren arasındaki sürecin dijitalleştirilmesinden tut da, işin ihale teklif aşaması sonrasında yapım aşaması, yapım aşaması sırasında tasarım onay süreçlerinden, sahadaki planlanan ve gerçekleşen— yani sahayı günlük izlemeye kadar giden ayrıntılı yapıları izlemek. İş bittikten sonra bu geçici kabul ve isim kalıp dediğimiz süreçleri ayrı ayrı izlemek çok ama çok büyük sıkıntılar. İstanbul'da bazı metro projeleri var ki 20 yıl önce bittiği halde hala kesin kabulü yapılamamış. Sonrasında da işletme aşaması var. İşletme aşaması da bazı durumlarda işi yapan yüklenici, müteahhit firma işletebiliyor. Bazı durumlarda ise yüklenici firma ayrı bir şirket kuruyor, o işletebiliyor. Dolayısıyla elimizdeki teknolojiler, bir eserin ilk çizimlerinden yapılması sonrasındaki işletmesine kadarki bütün süreçleri kapsayan bir altyapı.

Yani ihale teklif süreçlerinden tasarım onaya, teknik ofisin bütçe ve hakediş takibinden taşeron performansına, malzeme onaydan imalat kontrole, İSG'den [İş Sağlığı Güvenliği] BIM ve nesnelerin internetine, kurumsal zekâ uygulamalarından birçok veri kaynağından bilgi çekip raporlamaya, hatta yeri geldiğinde bir portalde Excel'leri konsolide etmeye kadar değişik çözümleri üretebilecek teknolojik altyapılara sahibiz. Neden bunu dedim veya bu neden ekleme ihtiyacı duydum: Biraz sonra bana inşaat

sektöründe dijitalleşmede ne sıkıntılar var diyeceksin. Her şirketin teknolojik anlamda veya yazılım anlamında çok ciddi yatırımlar yapma imkânı olmayabilir. Bazıları Excel'lerle işi döndürüyordu ama o Excel'leri konsolide, edip bir rapor alıp, bütün derdini çözmeye çalışmak için günler, haftalar, aylar harcadıkları olabiliyor. Her seferinde o Excel'i oluşturmak için adam saat olarak inanılmaz süreler harcanıyor. Biz o projeler için özel bir port alt yapısı geliştirmiştik. Web tabanlı olarak Excel'leri konsolide edip firmanın görmek istediği şekli sunuyorduk. Bunun için arka tarafta dediğim gibi büyük yazılım yatırımları olmadan da yapılabiliyordu bu. Bazı durumlarda ise, o büyük yazılım yatırımları yapılsa bile, kurumsal zekâ uygulamalarıyla birçok farklı kaynaktan veriyi çekip, bunları konsolide edip, ilgili kişilerin önüne getirmek gerekebiliyor. Görmek istedikleri şekilde getirmek gerekebiliyor. Arka tarafta ERP olabilir; biraz önce bahsettiğim İnşaat yönetim sistemi olabilir; saha operasyon yönetim sistemleri olabilir; veya sadece basit bir ortak veri alanı ve bir sürü Excel olabilir. Bu kurumsal zekâ o anlamda da işimizi kolaylaştırıyor. Bazı durumlardaysa yapı bilgi modellemesi ile işin yapılması bir konu— bunu yaparken sahada sensörlerle veri çekilmek istenebiliyor. Nesnelerin interneti burada devreye giriyor olabilir. Çünkü ben aslında BIM'in üç boyutlu bir arayüzü olan büyük bir veritabanı olduğunu düşünüyorum. Üç boyutlu arayüzünden ziyade o BİM'in 'I'sı, *information* kısmı *model* kısmından çok daha değerli aslında.

Dolayısıyla o I tarafındaki bütün bilgiler bu IoT dediğimiz nesnelerin internetinden akabiliyor. Şu an Ortadoğu'da özellikle Dubai ve Abudabi'deki projelerde eser BIM'le yapıldıktan sonra BIM ile işletilirken, işletme aşamasında sensörlerden gelen verilerin BIM'le işlenmesi, BIM veri tabanına işlenmesi ve oradan bunların raporlanması gerekebiliyor. Elimizdeki teknolojiler onu da gerçekleştiren altyapılar dolayısıyla iş buraya kadar gidebiliyor. Bu biraz dijitalleşmeden ilk beklentinin, önceliklerin ne olduğu ile alakalı bir şey. Eğer endüstri 4.0'dan bahsediyorsak konu bambaşka bir yere gidiyor--ama Endüstri 1.0'dayız daha doğru düzgün giden gelen bilgi yönetimini koordine etmeye çalışıyorsak eğer, orada biz firmalara Excel'i bırak, illa bunları kullan kısmına götürmüyoruz. O işi aşamalandırıyoruz aslında, onu da biraz sonra anlatırım.

**SÖ:** Anladım. Bahsettiğiniz “eksenlerin konsolide edilmesi” de sanırım cloud computing aracı ile yapılıyor. Yani birden fazla 'stakeholder' arasında dosya paylaşımı Endüstri 3.0 teknoloji olsa bile, aslında bulut teknolojisi ile bu biraz daha ileri bir noktaya taşınabiliyor ve dediğiniz gibi aslında bu da sanırım çok başta yüksek yatırımlar yapamayacak şirketler için bir çözüm olabilir. En azından başlamak için bir—

**R1:** Bir fırsat.

**SÖ:** Evet.

**R1:** Bir başlangıç noktası. Ama orada şöyle bir şey var yani bu sohbetlerde veya mülakatlarda aynı şeyi yaşayacaksınız. Bazı verileri internete koymaktan çekiniyorlar. Bu bütçeyle ilgili veriler olabiliyor. Bu kurumun kendi içerisindeki özel veriler olabiliyor. Bu ihale teklif aşamasında bir yere o ihale teklifini hazırlarken o teklif hazırlama aşamasında kurumun kendi içerisinde çok özel ve gizli olduğunu düşündüğü bilgiler olabiliyor. Dolayısıyla her şeyi dijitalleştirmekten ziyade biraz daha onların bu çekince ve kaygılarının olmadığı taraftan başlamak çok daha önemli.

**SÖ:** Servis olarak sunduğunuz değişim yönetimini anlatır mısınız? Bir inşaat projesini dijitalleştirmenin adımları nelerdir?

**RI:** Burada aslında bir anekdot var. Onu çok kısaca anlatmak istiyorum. Hikâyede der ki... Bir profesör üst düzey yöneticileri toplar. Profesör bir efsanedir. Üst düzey yöneticiler onun ağzından çıkacak kelimeleri dikkatle dinlerler. O bir kavanoz getirir, kavanozun içerisine önce büyük taşları koyar ve der ki: Sizce kavanoz doldu mu? Herkes der ki, evet doldu. Sonra hemen masanın altından ufak çakıl taşlarını çıkarır, onları ekler yine kavanozu gösterir. Üst düzey yöneticilere sizce kavanoz doldu mu? Evet doldu derler. Birkaç tanesinin biraz daha soru işaretleri vardır. Sonra çok ince kumları çıkartır onu bu sefer kavanozun içerisine doldurur. Doldu mu bu sefer? der. Bazıları artık yüksek sesle, hayır hocam dolmadı der. Çünkü biliyordur bir şeyin daha gelmekte olduğunu ve bir büyük bardak suyu bu sefer kavanoza doldurur-- artık kavanoz gerçekten dolmuştur. Şimdi doldu mu der. Evet doldu, der, bu sefer bütün dinleyici üst düzey yönetici ekibi. Aslında şunu anlatıyor bu hikâye: biz eğer o büyük taşları, yani kavanozun öncesinde, yani kavanoza yerleştirirken önce büyük taşları koyup sonra çakıl taşları, sonra kum tanelerini, sonra suyu koyarsak— yani doğru sırada gidersek, o kavanozdaki boş alanı çok verimli ve doğru bir şekilde değerlendirmiş oluyoruz. Bu da önceliklerle alakalı bir şey.

Dolayısıyla biz dijitalleşme aşamasında öncelik soruyoruz. İlk derdiniz nedir, en büyük derdiniz nedir? diyoruz. İlk şunla başlıyorlar: ‘Biz gelen giden evrakları, firmalarla aramızdaki iletişimi, koordinasyonu hiçbir şekilde sağlayamıyoruz’ diyorlar. Şimdi buradan başladığı zaman, farklı bir kurgu varken, bazıları da geliyor diyor ki: ‘Biz projelerimizde birçok ilerleme yaptık, kendi iç süreçlerimizi de dijitalleştirdik. Artık Yapı Bilgi Modellemesi tarafında ne yapabiliriz? Çünkü BIM projelerine girip teklif vermek istiyoruz. Kendimizi orada geliştirmek istiyoruz’ diyor.

Başkası da geliyor diyor ki: ‘bizim derdimiz ofislerde değil, biz daha ziyade sahayı yönetmek istiyoruz. Şantiye ile ilgili derdimiz var çünkü şantiyede neyin ne olduğunda dair hiçbir fikrimiz yok. Ofiste planladığımız şeyin şantiyede gerçekleştiğini biliyoruz. Ama planlanan ve gerçekleşen arasındaki farkı göremiyoruz. Böyle olunca da yönetemiyoruz.’

Ve şantiye öyle bir ortam ki güneş açtığı zaman bambaşka bir kurgu dönebiliyor. Yağmur yağdığı zaman o günün planı toptan değişebiliyor. Yani havanın anlık değişiminden, taşeronların o gün sahaya geliş sürelerine ve kaç kişiyle geldiklerine kadar her şeyin değiştiği bir konu. O yüzden saha ve şantiye ekipleri sanki bir anda 10 tane tabağı döndürmeye devam ederken hiçbirinin düşmemesine dikkat etmeye çalışıyor. İşini yapmaya çalışıyor, o anlamda zor bir iş.

O yüzden dijital eleştirirken önceliklerinden başlıyoruz ki dijitalleştirmeyi sahiplensinler. Biz kendi önceliklerimizden başlarsak, ‘bu benim derdim değildi ki’ deyip o işi kenara bırakıyorlar. Zaten inşaat sektöründe veya diğer sektörlerde dijitalleşmenin başarısız olmasının nedeni bu. O ekiplerin önceliklerini değil de, bu dijital dönüşümü yapan firmanın aklındaki ajandaya uyulmak istenince o iş tamamen sektörün tabiriyle patlıyor.

**SÖ:** Yani aslında proje veya firma bazlı ‘bespoke’ çözümler olması gerekiyor, anladığım kadarıyla. Peki sizce sürecin proje bazlı mı yoksa firma bazlı mı ilerlemesi daha doğru?

**R1:** E belli bir proje veya belli bir projesini belli sayıda bir projesinin dijitalleştirdikten sonra firma zaten merkezde de dijitalleşmek istiyor. Çünkü artık farklı projelerde farklı ekipler de bunun faydasını görüyor. Artık onun nasıl katkı sağlayacağını hissediyor, bunu somut olarak da görüyor. Ondan sonra diyor ki ‘Ben kurumsal prosedürler yapmaya başlayım, iş süreçlerimi çıkarmaya başlayım, süreçlerini gözden geçireyim. Hatta gerekiyorsa *re-engineering* yapayım. Yani tüme varmayayım da, tümden de geleyim. Kendimi de o anlamda tekrar bir gözden geçireyim ve ne gerekiyorsa onu yapayım’ deniyor. Dolayısıyla bir yazılım alıp o yazılımın onu kurtarmasını beklemekten ziyade, onun artık bu konuda belli bir olgunluğa ulaşması ve olgunluktan sonra dijitalle geçmesi.

Dolayısıyla bizim hep gördüğümüz, projelerin dijitalleşmesi sonra merkezlerin bunu uygulaması şeklinde oluyor. Çünkü firma için proje demek, gelir demek. Proje demek, onun devamlılığını sürdürebilmesi demek. Dolayısıyla önce projenin derdini çözüyor, ondan sonra merkeze aktarıyor bu birikimi.

**SÖ:** Deneyimlediğiniz kadarıyla, hangi departmanlar veya taraflar daha etkin bir şekilde yenilikçi teknolojilerden faydalanmaya açık? Kimler değişime biraz daha direniş göstermekte ve eski usul yöntemlerle çalışmaya meyilli? Ve sizce bunların sebebi ne olabilir?

**R1:** Seninle paylaştığın notlarda *Crossing the Chasm* diye bir grafik var. *Crossing the Chasm* şunu anlatır: bir teknolojinin sahiplenilmesi ile veya değişim dönüşüm tarafıyla ilgili şunu anlatır: her grupta, hangi ülkeye gidersen git, hangi ortamda bulunursan bulun, bir *innovater*’ler vardır. Yani ezber bozup icat çıkaranlar. Bu yeni bir şey keşfetmek de olabilir, bir süreci birçok insanın hayatını kolaylaştıracak bir hale getirmek de olabilir. Inovasyon anlamında. Bir de *early adapter*’lar vardır. Yani hızlıca buna uyum sağlayıp, kabullenip sahiplenip, hayatında kullanmaya başlayanlar. Şimdi bu iki kitlenin öyle bir noktaya gelmesi gerekiyor ki, geniş kitleye bunu anlatabilmesi, gördükleri faydayı onlara ikna edebilmesi ve o diğer kitlelerin de— çünkü *innovater* ve *early adapter*’larının sayısı azdır— bu diğer kitlenin bu *innovater* ve *early adapter*’lardan gördükleri faydayı onlar da sahip olmak için onları takip edebilsin. Her sektörde birkaç lider firma vardır ve o diğer firmalar o lider firmaların arkasından giderler ya, onun gibi olmak isterler ya... dolayısıyla bu teorem hem insan psikolojisi için geçerli hem kurumlar için geçerli.

Bunu soruna bağlayacak olursak genellikle ilk bu işi kabul eden, arkasını getirmek isteyen, ilk uyum sağlayan tasarım olmuş. Mimarlar! İnanılmaz bir şekilde mimarlar- hani o AutoCAD çiziminin AutoCAD yazılımlarının kullanılmaya başlamasında AutoCAD teknolojilerinin onların hayatına çok daha fazla girmesiyle mimarlar bu konuda tasarım sürecinde çok ciddi bir ilerleme kaydetmişler. Mesela reel sektörde, yani üretimin olduğu reel sektörde, muhasebecilerdir bu. İnşaatta ise mimarlar bu *innovater* ve *early adapter* olan grup. *Innovater* ve *early adapter*’lar mimarlar. Sonra projelere, şirketlerde bu işi nasıl yansıtmış? Kamu devlet iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili regülasyonlar getirmeye başlamış. Kurallar kanunlar getirmeye başlamış. Bu sefer İSG’ciler hızlı bir şekilde bu teknolojiyi sahiplenmişler çünkü şantiyeyi an be an

dakika dakika izleyip her şeyi takip etmeleri gerekiyor. İş sağlığı ve güvenliği noktasında. Şantiyede o kadar çok evrak, kâğıt, kürek işleri ve rapor işleri var ki, bunların çoğunda kaliteciler yapıyor. Kalitecilere de bıkkınlık gelmiş. ‘Şu kâğıt kürek işinden kurtulsak da işimizi yapsak’ demişler. Dolayısıyla tasarım, ISG ve kalite; bu üçlü, bu işin early adapter ve innovaterlar’ı.

Yani bunu biz nerelere yayarız da bu konuyla ilgili daha direnç gösteren ekip, yani onları da dahil ettiğimiz zaman bu iş ilerleyecek? Teknik ofis. Çünkü teknik ofis işin bütçesi ve hakedişleri ile o kadar çok uğraşılıyor ki... ve bunlar o kadar çok paranın olduğu ve işin içerisinde sürekli bir rakamların, bazı durumlarda da teknik ofis veya firmalar için *mahrem* denilen. O işin bütçesiyle ilgili rakamların döndüğü kısımlar olduğu için, bunları uzun süre hatta hala kâğıt üzerinden döndürmeye çalışıyorlar ama artık direnemeyip Excel tarafına geçtiler. O Excel de artık onlara yetmiyor. Çünkü projeler büyük, kompleks. Taşeron sayısı çok arttı. Danışman firma sayısı çok arttı. Yani hangisinin hak edişini ne zaman yapacaksın, nasıl bunların evraklarını toplayacaksın da hakediş dosyalarını oluşturacaksın? çok büyük bir sıkıntı. Artık teknik ofisler de dijitalleşiyor. Zaten teknik ofisler dijitalleştiği an, yani iş oraya geldiğinde, inşaatta çok büyük bir duvar yıkılmış olacak. Ve dijitalleşmenin önünü büyük bir kısmı açılmış olacak.

Bunu engelleyen, bütün bu işin bu kadar yavaş gitmesine neden olan da işverenler. İşverenler şartnamelerde bu işleri dijitalleşmeye çekecek şekilde yapmadıkları için, paftaları dörder beşer kopya istedikleri için, teknik dokümanlarda-- ıslak imza gerekmeseyse bile-- illa ıslak imza olsun dedikleri için, bir sistem kurmaktan ziyade alışıla gelmiş şekilde ezberlerini bozmadan devam etmek istedikleri için de... orada bir direnç oluşmuş. Proje yönetim firmaları da işverenleri bu konuda yönlendirmemişler. Onlar da biraz artık düzene uyum sağlamışlar. Bu konularda kamu biraz arkadan gelir. Yani değişim dönüşümleri devletler yapmazlar, özel sektör yapar, devlet sonra bunun faydasını görür ve bunu genel anlamda uygular. Dünyadaki değişim dönüşümler de böyle. Kamu da burada biraz dirençli olunca, bu işler biraz yavaşlamış... Teknik ofis, proje yönetim firmaları, işverenler ve kamu diye sıralayabilirim dirençli olanları.

**SÖ:** Dijitalleşmenin ve endüstri 4.0 teknolojilerinin projelere olan etkilerine örnek verebileceğiniz bir proje anlatabilir misiniz? Bu teknolojilerin inşaatta proje yönetimini ne şekillerde değiştirdiğinden bahsedebilir misiniz?

**R1:** Tabi, seve seve. Şimdi Türkiye'deki Endüstri 4.0 tarafında olan algımız biraz farklı, çünkü dediğim gibi, şartnamelerde veya teknik beklentilerde henüz 4.0 noktasına gelemedik. O yüzden Türk müteahhitlerin yurt dışında yaptığı işlerden bahsedeyim.

Mesela TAV İnşaat'la Dubai'de 600 milyon dolarlık bir adres rezidans projesi yapıyoruz. Burj Al Khalifa'nın yanında Opera District dedikleri bir bölgede üç tane büyük, çok katlı, yüksek katlı bina yapılıyor. Ama şantiye alanı çok küçük çünkü Burj Al Khalifa'nın yanı, Dubai'nin göbeğinde, tam anlamıyla merkezinde. Taksim Meydanı'na böyle bir eser diktiğini düşün. Öyle bir yapı içerisinde sınırlı bir şantiye alanında bunu yapmaya çalışıyoruz ve bütün bunlar yapılırken her türlü planlama ve şantiyenin günlük izlenmesi yapı bilgi modellemesi ile oluyor. Niye? Ben oraya vinç ile konveyörü veya kamyonları aynı anda sokamıyorum. Dolayısıyla BIM'i Sadece 3D ile değil, 4D ve 5D'de kullanmam gerekiyor ki, her türlü simülasyonu planlamaya göre akış olarak görebileyim. Sadece binanın yapımında çakışmaları değil, şantiye saha alanının kullanımı ile ilgili olacak problemleri de önceden öngörüp müdahale edebileyim. Çünkü şantiye kamyonunu soktum, o bir dert. O kamyonu çıkartırken

onun temizlenmesi ve bir sürü bir süreçten geçmesi gerekiyor ki— Dubai yerel yönetimi o kamyonların yolları kirletmesine izin vermiyor mesela. Bir regülasyon BIM’i 3 boyuttan 5 boyuta getirdi bir projede. Yani basit bir ‘benim yollarımı kirletemezsin’ regülasyonu. Oradaki yerel yönetimin bu beklentisi şantiyeyi bambaşka bir boyuta sokuyor. Böyle olunca planlama bambaşka bir yere gidiyor ve her türlü veri, her türlü koordinasyon, dijital anlamda gerçekleşiyor. Maliyet ve planlama ile ilgili iş buraya giderken, bir yandan da bu şantiyede günlük ilerlemeleri ve sahayı da anlık izlemek gerekiyor. Sahadaki sırf kalite ile ilgili— yani yapılan işin kalitesi ve takibi ile ilgili olan— süreçleri dijitalleştirerek, yanılmıyorsam, beş veya altı tane kritik süreçti bunlar. Beş altı kritik süreci dijitalleştirerek, geçen yıl itibariyle— proje daha bitmedi ama— geçen yıl itibariyle TAV İnşaat resmi olarak açıkladı bunu: o projelerin dijitalleştirmesinden bir milyon dolar civarında bir tasarruf sağladı. Sadece kalite dedim. Daha bu işin İSG’si var, teknik ofisi var, planlaması var, tasarım tarafı var. Bütün bunların dijitalleştirilmesinden elde edilen faydanın ne kadar olduğunu şu an için öngöremiyoruz.

**SÖ:** Yani sadece kalitedeki beş sürecin dijitalleştirilmesi bir milyon dolar anlamına geliyor?

**R1:** Evet. Sadece kalitedeki kritik beş süreç: imalat onaydır bunlar, malzeme onaydır, böyle kritik onların süreçleri var... Çünkü dijitalleşmeyi biz sadece olay şantiyede bir şekilde yapıyor gibi hayal ediyoruz. Ama satın alma talebinin— yani taşeron veya tedarikçi seçilip— ona gönderilecek olan satın alma talebin satın alma siparişine dönmesi... O siparişe istinaden gelen ürünün, malın malzemenin, şantiyeye girişinin yapıldığının kayıt altına alınması... Bunun ambara girmesi... Ambara girdikten sonra da imalat yapılırken ambardan çıkartılıp imalata sokulması ve *doğru* zamanda *doğru* malzemenin *doğru* kişinin önüne gelip *doğru* imalat yapıldığını *belgelenip* bunun proje yönetim firmasında sunulup işverenin onayının alınıp hakedişin talep edilip alınması, *inanılmaz* bir süreç!

Yani dijitalleştirmede yapacak o kadar çok iş var ki! Dolayısıyla biz bunların *bir kısmını* hayata geçirip bir kısmını yapılabilmek ilk etapta--çünkü bir anda her şeyi dijitalleştirmek bu sefer insanları bambaşka bir dünyaya ışınlamaya benziyor. Yani ortamı bilmiyorlar, ne yapacaklarını bilmiyorlar. Bu bir süreç. Bunu adım adım gerçekleştirmek lazım. Dolayısıyla bunu yaparak olayı bambaşka bir noktaya getirdik ve bu TAV İnşaat ile yaptığımız altıncı projeydi. Altıncı proje itibariyle söyleyebilirim ki TAV artık Türkiye’de uçtan uca dijitalleşmeyi her anlamda deneyen, gören, uygulayan ilk firmadır. İlk Türk müteahhitlik firmasıdır ve bunda da gayet başarılı.

**SÖ:** Söylediğinizde enteresan bir nokta var aslında. TAV bir Türk firması ama konuşmaya başladığınızda direk yurtdışı projelerinden bahsetmeye başladınız. Araya Dubai’nin bir regülasyonu girdi mesela— yani aslında bunları yapabilecek kapasitede olmamıza rağmen, belki de kendi ülkemizde yurt dışında yapabildiklerimizi gerçekleştiremiyoruz.

**R1:** Orada işveren Emaar’dı. Emaar o bölgenin en büyük işverenlerinden bir tanesi ve bu anlamda işverenin danışmanı Mace’ti. Mace de İngiltere kökenli bir proje Yönetim firması. Emaar ve Mace Şartnameyi, beklentilerini, teknik konudaki teknik şartname dokümantasyonlarını o kadar güzel hazırlamışlar ki, müteahhit firmanın orada çitayı çok yukarıya çekmesi gerekti. Yerel regülasyonlar bu işleri o kadar düzenli hale getirmiş ki, işin operasyonel tarafının da çok üst düzey yönetmek gerekti. O yüzden ben şuna inanıyorum: Mesela ben bu TAV için verdiğim örneği, Protta ve Gülermak için de, Polonya için veririm. Onlar da Polonya’da 3 yıllık metro projesinin ilk bir



yılında her türlü koordinasyonu, yani işin 'digital twin' dediğimiz, önce dijitalde yapılmasını gerçekleştirdiler. Bütün kurguları, koordinasyonu her şey yapıldı. Sonra işveren, ana yüklenici Gülermak, şantiye soktu. Yani bir yıl boyunca ana yüklenici şantiyeye giremedi. Tasarım firması, bütün paydaşlar, bütün danışmanlar, hepsi projenin dijitalleştirilmesi üzerinde, tasarımın 'digital twin' olarak oluşturulmasında çalıştıktan sonra, bu iş işin öbür tarafına geçti. Yani biz bunları yapabilecek güce, birikime, tecrübeye, teknolojiye, altyapıya, proje istediği noktada ulaşabiliyoruz. O yüzden Türk müteahhitleri endüstri 4.0'da çalışabilir, endüstri 4.0'da da çalışabilir.

**SÖ:** Sizce ülkemizde 6D/7D BIM ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımındaki en büyük engeller nelerdir? Neden Finlandiya, İngiltere gibi ülkelerin seviyesinde adaptasyon sağlayamıyoruz? Dijitalleştirme projelerinizden örnek verebilir misiniz?

**R1:** Bunu biz Finlilere sorduk, Norveçlilere sorduk. BuildingSMART çatısı altında onları buraya davet ettik. Bir Hollandalı, bir Norveçli, bir İsviçreli ile— hatta bunun Youtube'da kaydı da var BuildingSMART'ın böyle bir etkinliği ile ilgili. Onlarla oturduk, sohbet ettik, ayrıntılı sorular sorduk. Konunun çıktığı iki tane yer var. Aslında biraz önce de bahsettim aslında. Bir, yerel yönetimlerin regülasyonları. Yani neleri ne kadar, nasıl izin veriyorlar, nasıl olmasını şart koşuyorlar? Bu hem yerelde hem de ülke geneli ile ilgili bir regülasyon kısmı. İkincisi de standartlar. Finlandiya ve Kuzey ülkeleri, ve İngiltere'yi de dahil edelim, mesela İngiltere özelinde bir örnekle hemen ilerleyeyim... Yıllar önce İngiltere'nin 2010 gibi bu işlere başlamasının nedeni bir *standardın* ortaya çıkarmış olması. BS 1192 dedikleri standarda istinaden bu işleri yaptıkları için, British Standards 1192 olarak bu yıllarca İngiltere'deki projelerde kullanılmış. Ve İngiltere yazılı kültürün de çok yüksek olduğu bir ülke olduğu için, bu standartlar hızlıca oluşturularak uygulanmaya başlanmış. Ama dediğim gibi bu bir *zorunluluk* olması da uygulanmasındaki önemli kılan nedenlerden bir tanesi. Sonra bu BS 1192 BuildingSMART International tarafından ISO 19650'ye dönüşüyor. ISO19650 de şu an beş bölüm halinde. Bu beş bölüm de bizim bu bahsettiğimiz sıkıntıları, sorunları adresliyor Aslında. Bunlara çözüm üretiyor. Biz BuildingSMART Türkiye olarak Türk Standartları Enstitüsü ile oturduk, Bir komite oluşturduk, ISO 19650'yi aldık. TSE'nin onayladığı yapıyla bunu Türkiye'de uygulanabilir hale getirdik. Son noktalarını veriyoruz Artık, çalışmanın son halindeyiz. Böylelikle yakında Türkiye'deki projeler için de bu 19650 standardı şartnamelerde hem işverenler tarafından hem de bu projeyi teklif vererek kazanan yüklenici firmalar tarafından da uygulanmaya başlıyor olacak. Dolayısıyla *standart*, regülasyon, beklentiler, yapı, bu işin sadece Ankara'dan değil, yerelden de çözülüyor olmasıyla beraber, yani *herkesin* dahil olmasıyla beraber, bu sorunu Türkiye'de de çözüyor olacağız. Onların farkı, bu konudaki olgunluklarının bizden önce başlamış olması. Kuzey ülkelerinin farklı ise nüfus az. Yapılan projelerle ilgili imkanlar ona göre. Ve süreyle ilgili de aceleleri yok, belli konularla ilgili olarak esneyebiliyorlar. Bu onların bazı şeyleri daha yavaş, daha sindire sindire yapma imkânı elde etmelerini sağlamış. Ama özüne bakacak olursak, ana tetikleyici nokta regülasyonlar ve standartlar. Bu regülasyon ve standartlara şartnamelere girmesi ve herkesin mecburen bu kurallara uyması.

**SÖ:** Bu demin bahsettiğiniz çalışma da zorunluluk olarak mı gelecek peki?

**R1:** Evet, çünkü bir Türk standardı olacak bu. Şartnamelere giriyor olacak. Almanya'da 2020 itibarıyla bütün altyapı projelerinde, mesela Alman hükümeti böyle başladı: altyapı projelerinde BIM4INFRA2020 dedikleri bir program başlattılar. Bütün altyapı projelerinde de BIM'i zorunlu koşular. Biz geçen yıl Almanya'daki bizimle

aynı işi yapan yazılım firmalarıyla sohbet ederken, BIM’le ilgili çok yoğun olduklarını söylüyorlardı. Çünkü bir yandan salgın var, aslında salgınla ilgili birçok sıkıntı var, ama bir yandan da BIM’i devreye almak zorunda kalıyorlar. Çünkü bu hükümet tarafından artık bir zorunluluk haline getirilince de bu dönüşümü bütün firmaların yapması gerekiyor.

Bu arada Avrupa’da— kıta Avrupa’sında, İngiltere’yi hariç tutuyorum— kıta Avrupası’nda BIM’in ne olduğunu bilen ana yüklenici müteahhit sayısı sadece %12. Bu BuildingSMART International raporlarına göre sadece %12. Dolayısıyla bu konu oralarda çok çözüldü de biz geride kaldıktan ziyade, bu işin standartları ve yapısı daha yeni oturuyor. Malzeme üreticilerinin barkod kullanma zorunluluğu daha yeni yeni belli bir noktaya geldi. Ki barkod benim daha önceki yıllarda dijitalleşmesinde yer aldığım otomotiv sektörü gibi, reel sektör gibi, üretim olduğu sektör gibi hızlı tüketim sektörlerinde olduğu gibi çok eski bir teknoloji aslında. Yani inşaatta bunun yeni geliyor olması, bu zorunlulukların artık herkesi belli bir sistematığı, belli bir yapıyı uygulamak zorunda bırakması anlamına geliyor ki, çok iyi bir haber.

**SÖ:** İnşaatta dijitalleşme alanına 2010 yılında girdiniz. “Endüstri 4.0” terimi ise ilk kez Hannover’da 2011 yılında ortaya çıktı. 2010’dan beri sektörde nasıl bir değişim gözlemlediniz?

**R1:** İnanılmaz. Yani ‘*exponential*’ dediğimiz o büyüme var bu konuyla ilgili. Biz 2010’da Libya’daki Türk müteahhitlerin Libya’daki projelerini dijitalleştirerek başladık. Orada tabii çöl şartları, kum fırtınaları, imkanlar hem doğa anlamında hem oranın fiziksel şartları anlamında bayağı zordu. Ama oradaki beklentiler de doğal olarak düşüktü. Endüstri 1.0 olarak onu tanımlayabiliriz. Gelen giden dökümanlarımı paftalarımı yönetebileyim, hatta mümkünse yazışmalarımı da buradan yapayım, o kadar. Onun dışında bir beklenti yoktu.

Endüstri 4.0 noktasında artık işverenlerin hem ağırlıklı olarak yurt dışında hem Türkiye’de de başladı bu: ben ‘*facility management*’ yapmak istiyorum. Yani artık “Yapı Bilgi Modellemesini işletme tarafında uygulamak istiyorum” dediği noktaya geldik. Fakat bunun tam ne olduğu henüz çözülebilmemiş değil. Dolayısıyla biz bir ortak veri ortamı nedir? *Common Data Environment* nedir? işte bunu niye yapması lazım ki? dedim ya BIM büyük bir veritabanı, yani BIM’in altındaki veritabanına bir CDE diyoruz. *Common Data Environment* diyoruz. Bu veritabanı niye kullanıyor olması lazım? bunu niye sonrasında işletme aşamasına da aktarıyor olması lazım? Bu veritabanının niye bina otomasyon sistemleri ile, evdeki diğer sistemlerle veya o eserdeki diğer altyapılarla da entegre olması gerekiyor? O verilerin oraya niye akması gerekiyor? Ki sonrasında bundan yararlanabilsin tarafıyla ilgili kısımları şu an anlatmaya başladık.

Bana 11 yıl önce böyle bir şey olacak ve bunları anlatacağın, işverenlerle artık bunları konuşacağını desen “bir saniye dur, önce şu gelen giden evrakları çözelim çünkü şu an öyle bir derdimiz yok, böyle bir şey hayal bile edemiyoruz” derdim. Dolayısıyla konu oraya geldi. Bir diğer avantajımız, Türk müteahhitleri 1979’dan beri Türk Müteahhitler Birliği’nin verilerine göre 113 ülkede 8900’e yakın proje yapmış durum. 113 ülke. Dolayısıyla biz zaten küresel bir sektörüz. Zaten hem Türkiye’nin en büyük sektörüüz hem küreseliz. Türkiye’deki gayri safi milli hasılanın yüzde 50’ni sağlarken dünyada inşaat yüzde 13 noktasında.

Dolayısıyla aslında küresel bir konu ve bu sorun küresel bir sorun. Ve bunun vardığı yer küresel sonuçları olacak bir yapı. Ha dışarıda öğrenmişiz, içeride uygulamışız. Ha

içeride öğrenmişiz, dışarıda uygulamışız. Günün sonunda her halükârda kazanacağız. Yani nerede yaparsak yapalım, bundan kazançlı çıkacağız. O yüzden 1.0 ve 4.0 arasındaki değişim, dönüşüm, gelişim *inanılmaz*. Ama bu konuda çok geride kaldığımızı söyleyemem. Örnek olan ülkeler de yüzölçümleri ve nüfusları az olduğu için şu an biraz daha ileride gözüküyorlar. Nüfusu büyük olan ülkeler — Almanya daha yeni yeni 2020'dir Almanya'nın bu işe geçmesi. İngiltere biraz önde ama tam varılmak istenen yerde değil. Amerika'da bu iş daha tam oturmuş noktada değil. Tasarım onay süreci mesela tamamen BIM üzerinden dönemiyor. İş Endüstri 4.0'a tam olarak çekememiş durumdadır. Dolayısıyla orada biraz daha yol var. Treni kaçırmadık ama çok dikkatli takip edersek bu yeteneklere sahip olan personeller, ekipler, uzmanlar, profesyoneller dünya çapında bir talebe yetişmeye çalışacaklar. Bu da sektörümüze gönül veren gençler için inanılmaz bir fırsat.

**SÖ:** Türk inşaat sektörünün geleceğini ne şekilde görüyorsunuz? Sizce sektörün dijitalleşme potansiyeline ulaşabilmesi için ülke olarak atmamız gereken adımlar nelerdir?

**R1:** ENR'ın [Engineering News and Record] listesine göre Çin'den sonra o listeye en fazla firma sokan ikinci ülkeyiz. 43 ila 46 arasında değişiyor. Dolayısıyla *nicelik* anlamında ikiyiz. Nitelik anlamında, yani daha kaliteli işler yapma anlamında, Amerikalılar ve İngilizlerin arkasından geliyoruz. Amerikalılar ve İngilizleri geçebilmek için de kaliteye yüklenmemiz gerekiyor. Dijitalleşmeye yüklenmemiz gerekiyor. Onların yapmadıklarını, onların eksik bıraktıklarını yapıyor olmamız gerekiyor ki söylüyorum. Biraz önce söyledim, yine söyleyeceğim. Bu konuda eksiklerimiz yok. Ben bu konudaki gençlerimiz *inanılmaz* görüyorum. İnanılmaz bir potansiyel var. İnanılmaz bir merak var. Oradaki ilgi ve alakanın 10 katı var Türkiye'de. Sadece o projelerin ve o fırsatların karşımıza çıkması gerekiyor. İşte burada bahsettiğimiz regülasyonlar ve standartlar gelirse ve Türk müteahhitlerin dışarıda yaptığı işlerde bu gençlerimiz hem içeride hem dışarıda bu imkanlardan yararlanırlarsa... yani Çinlilerin dediğim gibi öyle çok çok bizden bir ekstrası yok. Amerikalıların İngilizlerin çok çok belki sırası yok.

**SÖ:** Türk inşaat sektöründe bu teknolojilerin daha etkin kullanılması için en önemli rol sahibi kişi veya kurumlar sizce kimdir?

**R1:** BuildingSMART uluslararası anlamda bütün dünyadaki *know how*'u Türkiye'ye Türkçe olarak getiriyor. Bu çok önemli bir katkı. Dolayısıyla bir dil bariyeri yok. Aslında bu işleri yapmak için herkesin kesinlikle minimum İngilizce bilmesi lazım. Yani bunun kaçarı yok. “Ben İngilizce bilmiyorum ama bu işleri takip ediyorum” maalesef. Ona yapacak bir şey yok. *Mümkün değil*. Onu çok kestirmeden söyleyebilirim. BuildingSMART bunu yapıyor. Ve bunu Türk Standartları Enstitüsü ile, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığıyla. Yani paydaşlarıyla, belediyelerle konuşarak bu işin yayılması için ekstra bir katkı sağlıyor.

Bunu alan ve bu birikimi, tecrübeyi bir STK'dan BuildingSMART gibi STK'dan alan bakanlıkların da ilgili aksiyonları ve ilgili çalışmalarını yapmaya başlaması ve devam etmesi gerekiyor. Yani kimler hangi rol sahibi kurumlar dediğin zaman dolayısıyla şöyle bir engeli kaldırıyor, BuildingSMART, nereden başlayacağımızı bilmiyorum deme durumumuz yok. Aslında nereden başlayacağımızı, neleri örnek alacağımızı BuildingSMART sayesinde rahatlıkla takip edebiliyoruz. Dolayısıyla bakanlıklar için bir yol haritası çıkabiliyor.

Türk Mütcaahhitler Birliği ise iř birliklerine giderek kendi üyelerine BuildingSMART vasıtasıyla bunları anlatıp mütcaahhitlerin, ana yüklenicilerin, bu işin içerisinde işi yapan firmaların, aslında bu teknolojiler sayesinde *daha kısa* zamanda *doğru* kalitede işi *düşük* maliyete yapıp *hem karlılıklarını hem verimliliklerini hem üretkenliklerini* arttırma şansını gösterebilir ki, bu söylediğim teorem onlarca projede kendini kanıtlamış durumda. İnşaat Malzemeleri Sanayici Derneđi'nin çatısı altında biz BuildingSMART Türkiye'yi kurduk. Onlar da bu işin yayılması için ellerinden geleni yapıyorlar ki malzeme üreticileri de biraz önce örneğini verdiğim *barkodları* kullanmaya başlasınlar. BIM objelerini malzemeyi üretirken kurgulasınlar. Bu BIM objelerinden kütüphanelerini yapsınlar. Dünyaya bu eserlerini, malzemelerini açabilsinler. Hem dünyaya kütüphaneleri ile beraber satabilsinler hem de entegre olup bu işin yayılmasına katkı sağlayabilsinler. Yani bu işin ihracata da katkısı var, 'know how' transferi olup dünya çapında olmaya da katkısı var, malzeme üreticileri için de. Dolasıyla öyle de bir potansiyeli var bu işin. Herkesin kazandığı bir kurgu aslında.



## Interview #2

### Respondent 2, BIM Manager

25.03.2021 14:00

---

**Sera Özkıvanç:** Projeyi kısaca anlatabilir misiniz? Yer, büyüklük, ortalama bütçe, zaman, katılımcı sayısı gibi maddelere değinebilirseniz sevinirim.

**Respondent 2:** Proje Sudan'da iki tane projeden oluşuyordu. 945 Megawatt gücünde gaz tribün santrali. Birisi Khartoum kentinde başkentte, diğeri de Port Sudan şehrindeydi. İki şehirde toplam. Sudan'ın kurulu elektrik gücünün de üçte birini oluşturuyordu. Üçte birine kadar elektrik sağlayacaktı. Proje baştan sona kadar BIM ile yönetildi. Bir kısım proje Çin'de üretiliyordu, bir kısım proje Türkiye'de üretiliyordu. Bunların hepsi kontrole müşavir firmaya Almanya'ya gidiyordu. Almanya'da onaydan geçtikten sonra Sudan şantiyeye düşüyordu. Şantiyeye geldiğinde Sudan'daki enerji kurumunun da haberi oluyordu. Onlar onay vermek istemedikleri için, sadece “biz görelim yeter” dedikleri için, tüm paftalar dijital ortamda Sudan şantiyede uygulamaya yönelik hazır olmuş oluyordu . . . Bu arada projede şundan da bahsedeyim: Elektromekanik işler bizim şirketin uhdesindeydi. ‘Civil works’ Çinli bir firmanın uhdesindeydi. Türbinler ve tesisler—türbinlerle ilgili tesisler de— Siemens, Alman firma yapıyordu. Montajını biz yapacaktık. Bizim buradaki elektromekanik işler, bizim işimizin kapsamı buydu. Bunun dışında yaklaşık 300 kişi gibi çalışan vardı şantiyede. Türkiye'de bizim merkez ofisimiz İstanbul'daydı. Tüm proje yönetimi İstanbul'dan gerçekleştiriliyordu. Onun dışında bizim İzmir'de de çelik konstrüksiyonlar ve bazı yapılar için bir tasarım firmamız vardı. Yani onay süreçleri İzmir'den İstanbul'a, Türkiye'den Almanya'ya, Almanya'dan Sudan'a ya da Çin'den Sudan'a... Her şekilde onay süreçleri vardı. Bu şekilde projenin imalatı tamamlandı. BIM'de tamamladık.

Sahadaki arkadaşlar da BIM'den faydalandılar. Nasıl faydalandılar dersek, tablet kullanılıyordu. ‘Supervisor’ ve şantiye şefi pozisyonundaki arkadaşlar tablet kullanıyorlardı. Tüm sahadaki imalatın daha başlanmadan BIM modeli hazırlanmıştı.

**SÖ:** Tabletlerde internet bağlantısı var mıydı?

**R2:** Tabletlerde, evet. Şantiyenin internet bağlantısı vardı.

**SÖ:** O halde bulut bilişim teknolojilerinden faydalanıldı?

**R2:** Kesinlikle. Evet.

**SÖ:** Proje zaman veya bütçe aşımına girdi mi?

**R2:** Proje zaman ve bütçe aşımına şöyle girdi: Sudan'da ayaklanma oldu. 2018-2019'da bu yüzden bir duraksama oldu. Bu yüzden gecikme oldu. Onun dışında sonra Koronavirüs nedeniyle, pandemi nedeniyle, bir duraklama daha oldu. Bu yüzden gecikmeler oldu.

**SÖ:** Anket cevaplarınıza göre projede kullanılan Endüstri 4.0 teknolojileri arasında proje yönetimi yazılımları, otomasyon veya robotik ve ‘cloud computing’ bulunuyor. Hangi yazılımlar kullanıldı ve bunlar ne şekilde uygulandı?

**R2:** Biz tüm imalatları BIM’de yaptığımızı söylemişim. Çelik konstrüksiyonlar için Tekla [Structures] kullanıldı. Çelik konstrüksiyonlar için BIM modelleri Tekla’da hazırlandı. Siemens’ten aldığımız türbinler ve tesisler için, onlardan gelen modellerin Macro Station’da üretildiğini düşünüyoruz. Sketch Up’da da bazı modeller vardı . . . İmalatçıdan aldığımız bazı modeller de STEP uzantılıydı onları da IFC’ye çevirdik. Biz kendimizde Revit’te ürettik: mimari tasarım, mekanik modelleme, mekanik, elektrik, piping’leri. Tüm modellerin *collaboration*’ı, bir araya getirilmesi, derlenmesi de Aconex vasıtasıyla yapıldı. Aconex’e herkes modellerini yüklüyordu. Hem IFC, hem de dokümanın, yani modelin orijinal dosyasıyla beraber biz Aconex’e yükledik. Tüm dokümantasyonu ve ‘*workflow*’ iş akışlarını da Aconex üzerinden yürüttük. Modellerin hepsinin *clash detection*’ı da NavisWorks Clash Detection ile yaptık. Bir de Aconex’te yine tüm modellerin takibini gerçekleştirdik.

**SÖ:** Peki bu Aconex’in veya bahsettiğiniz sahada kullanılan tabletlerin, herkesin internete bağlı olup gerçek zamanlı dosya paylaşımı yapabilmelerinin, planlama ve genel proje yönetim sürecine nasıl etkileri oldu? Varsa lütfen dezavantajlarından ve zorluklarından da bahsedebilir misiniz?

**R2:** Şöyle de biz planlama demişken bunu da söyleyeyim. Biz cloud teknolojisini bir de planlamada kullandık. Primavera Enterprise kullandık ve bizim yaptığımız iş programını buluta taşıdık Oracle’da. Oracle bize bir yer verdi. Primavera’da yaptığımız iş programlarını aynı zamanda, yani eş zamanlı olarak, her yerden takip edilebiliyordu. Ve NavisWorks’teki modelleri biz tanımladık, buluttaki iş programını tanımladık ve bir değişiklik olduğu zaman, planlama grubunda bir değişiklik yaptıklarında, biz modeli açar açmaz NavisWorks’te açtığımız zaman otomatik güncelleniyordu.

Cloud teknolojisinden ben yüzde yüz çok memnunum. Bir tek dezavantajı şöyle oldu, bazı yazılımlarda var, bazı yazılımlarda yok. İnternetin çekmediği yerlerde de, özellikle metro inşaatı gibi ya da internetin zor çektiği yerlerde, görüntünün tıkanmaması için ya da dokümanların hepsine ulaşabilmek için internette bağımsız da kullanılan software’lar var. Ama bizimki öyle değildi. Biz internete bağlanmak *zorundaydık*. Tek dezavantajı buydu.

**SÖ:** Anladım. Peki internete bağlanamadığınız oldu mu? Yani bir dakikalık, iki dakikalık zamanlardan bahsetmiyorum ama, çok kritik noktalarda erişiminizin olmadığı durumlar oldu mu?

**R2:** Olmadı.

**SÖ:** Şunu da sormak istiyorum—

**R2:** Çok pardon, bunun için bir önlemimiz olacaktı. Sonradan vazgeçtik. Bir server’a indirip bilgileri server’dan çalıştırılabilirdi. Server’dan, yani internet kesildiğinde de çalıştırılabilirdi, biz tercih etmedik bunu kullanmayı.

**SÖ:** Ama server'a bağlayıp o şekilde çalışınca, mesela tasarım ofisinde biri bir 'clash detection' yapıp bir şeyi değiştirirse sanırım gerçek zamanı ulaşmıyor—

**R2:** Göremiyorlar, ulaşmıyor. Türkiye'de yapılan bir değişiklik şöyle: akşam internet geldikçe böyle peyderpey dosyalar, alışverişi yapılabiliyor. İnternet az çektiği yerde... çektikçe veriler tekrar güncelleniyor.

**SÖ:** Yani bu server ile çalışan kurumlar için geçerli.

**R2:** Evet, böyle de kurabiliyorsunuz tercih ettiğiniz *collaborative software*'ları.

**SÖ:** Anladım. Peki bunları uygulamak için yapılan yatırımdan, eğitimlerden ve adaptasyon sürecinden bahseder misiniz? Özellikle sahadaki kişilerin herhangi bir eğitimden geçmesi gerekti mi? Ve bu süreç nasıl ilerledi?

**R2:** Ben BIM Manager olarak bizzat kendim Sudan'da eğitime gittim. Tüm eğitimleri ben verdim. Türkiye'de de bir arkadaşım vardı bana yardım eden. Türkiye'de de o ben yokken o, ya da beraber eğitimleri verdik.

Bu bir kültür meselesi. Yani bir alışkanlık diyelim, bir şirket kültürü oluşturma konusu bu. Herkesin ürettiği modeli günlük olarak Aconex'e yüklemesi, bunun alışkanlık edinmesi... Tabi biraz daha başından anlatmak gerekirse, öncelikle implemantasyon süreci var. Biz doküman kodlamaya önce çalıştık. Doküman kodlamada neler yapılabilir? Uluslararası standartlar nedir? Bunları öğrendik. Örneğin santralların KKS [Kimyasal Kayıt Sistemi] kodları var. Mesela rüzgâr gibi yenilenebilir enerjiyle çalışan santralların farklı kodlama sistemi var. Biz önce o KKS sisteminin, tüm cihazların hepsinin adları var, buna göre önce doküman numaralandırmayı çalıştık. Doküman numaralandırmayı bitirdikten sonra bunu, işte Aconex'de *bu* doküman sistemi— numaralandırma sistemine '*document management*' sistemine göre ekipmanları, modelleri, çizimleri, yapım yöntemlerinin buna göre yüklenmesini belirttik. Bu bittikten sonra arkadaşlara nasıl numara verileceğini, bir dosya yüklerken neleri seçmesi gerektiğini, bunların hepsine tek tek eğitimler verdik.

Yeni birisi işe başladı. Mesela ilk Aconex yüklendiğinde şirkete hemen gruplar halinde her departmana satın alma, Muhasebe, tasarım ofisi, tüm departmanlara eğitim Aconex'in nasıl kullanılacağını. Revit'e geçişte de aynı şekilde. Daha önceden AutoPLANT kullanılıyordu yanlış hatırlamıyorsam. Revit'e geçişte de eğitim verdik aynı şekilde. Planlamada başından beri zaten planlamacı arkadaşlarla beraber konuşuyorduk neler yapacağımız. Onlarla bizim temasımızın, kontağımızın nasıl olacağını sürekli konuştuk. Herkesin aynı dili konuşmasını sağladık. Bir dokümanı nereye yükleyeceğini herkes biliyordu.

Onun dışında Sudan'a gittim. Sudan'daki *şantiyedeki* arkadaşlara [ses kopukluğu] bir dosyayı aradıklarında, bir çizim aradıklarında nasıl bulabileceklerini, nasıl ulaşabileceklerini ve BIM modellerinin hepsinin bir arada bir platformda olduğunu gösterdim. Bütün şantiye A'dan Z'ye *eski revizyonları* ile beraber bir platformda topladığımı, isteyen istediği dakika bir borunun üst kotuyla, başlangıçtaki kotuyla bitiş kotunu rahatlıkla görebileceğini, bir kapıda iki kolon arası mesafenin rahatlıkla ölçülebileceğini, hiçbir bilgisayar programına ihtiyaç olmadan rahatlıkla sahada bir *supervisor*'ın ya da ofiste oturan bir arkadaşın tüm projeyi A'dan Z'ye dokümanlarını birlikte görebilmesini sağladığımızı anlattık.

**SÖ:** Bu soruyu geçebilirim. Kullanılsaydı, projenin zaman veya bütçe aşımına girmesini engelleyeceğinizi düşündüğünüz teknolojiler olup olmadığını soruyorum genelde. Fakat bu projede *force majeure*'lar yüzünden zaman aşımı yaşanmış...

**R2:** Evet. Biz birçok teknolojiyi kullandık, *clash detection*'lar sayesinde sahada yanlış imalatı çok önceden tespit ettik. Hatalı malzemenin geldiğini tespit ettik. Hatta Sudan Enerji Bakanı'na sunum yaptığımızda, “Biz keşke bunu 10 yıl önce fark etseydik. Çok fazla zayıyatımız var, sahaya çok fazla malzeme yanlış geldi. Diğer projelerimizde bunun gerçekten de önüne geçmiş olduk çok memnunuz” diye teşekkür etti.

**SÖ:** Anladım, yani gerçekten avantajlı—

**R2:** Kesinlikle! Sadece burada değil, sözleşmede paftalar 8 nüsha olarak üretilecek, Türkiye'den kargo ile Almanya'ya gönderilecek, orada müşavir firma onaylanıp Sudan'daki elektrik kurumuna gelecek, oradaki kaşelerle “tamam” dendikten sonra sahaya inecek diye sözleşmede madde vardı. *Bütün* bu yükün *hepsini* kaldırdık! *Tamamen* onaylar dijitale alındı. Ve bu parasal olarak da çok yüksek bir oranda fayda sağladı.

**SÖ:** Peki bu şartnamedeki basılı paftaların gereksinimin dijitale dönüştürülmesine kim sebep oldu? Bu dönüşüm nasıl meydana geldi?

**R2:** Şöyle, biz bir öneride bulunduk. Aconex'i anlattık. Sudan hükümetine de anlattık, Siemens'e de anlattık. Biliyorsunuz bu işin ayaklarından biri de Siemens'ti ürünleri getiren. Çinlilere anlattık. Ve müşavir firmaya da anlattık. Onlar bunu çok makul ve mantıklı buldu. Bunun üzerine bir protokol imzalattık. Sözleşmede böyle yazmasına rağmen, biz tüm onaylarımızı Aconex'in—dünya bankalarının kullandığı veri koruma teknolojisine sahip olduğunu, ISO 27001'e dahil olduğunu ve verilerin garantiyle silinmeyecek olduğunu, *kesinlikle hiçbir verinin* silinmediğini, tüm yapılan aktivitelerin logların tutulduğunu anlattık— ve bunu da bir protokolle işveren müşavir müteahhitlerin imzası ile bir protokolle anlaşma yapmış olduk. Protokole bağladık. Bunun üzerine bu pafta silsilesinden ve onay silsilesinden—yani tahmin ediyorsunuz ki birçok kez revizeler oldu, kimi paftalar'ın 30. revizyonuna kadar gitmiştik. Bunların bir de basılı olarak iptal edilmesi, tekrar gönderilmesi, kargo masrafları, ülkeler arası kargo yapılması, inanılmaz bir masraftan kurtardı bizi.

**SÖ:** Evet, gerçekten o kadar büyük bir mesafe arası kamyon kamyon paftaların gidip gelmesi büyük bir ziyan.

**R2:** Evet, onu işin başında karar verdik. Bu arada şunun da bir etkisi var. Bizim ilk işin başında önemli bir yazışmanın kaybolmasıyla başladı her şey. Önemli bir yazışma kaybolmuştu elden ele, ülkeden ülkeye giderken kayboldu (...) Yani vesile oldu. Bunun üzerine patron, “nasıl bir program olabilir bizim hiçbir şey kaybetmeyeceğimiz, her şeyin dijital bir yerden bir yere gidebileceği?” Bunun üzerine Aconex'i tercih ettik.

**SÖ:** Farklı departmanlar veya taraflar arasında bu teknolojilerin kullanımı ne derecede değişti? Kimler BIM ve Endüstri 4 0 imkanlarından daha etkin şekilde faydalanırken, kimler eski usul yöntemlerle çalışmayı tercih etti? Tabi böyle bir grup varsa.

**R2:** Var. Mesela teknik ressam arkadaşların bir kısmı, özellikle yaşları 50'in üzerinde olanlar çok zorlandılar. 50'in altındaki arkadaşlar kabul ettiler. Yani bu dijital



dönüşümü tamamen kabul ettiler. Genç arkadaşlar zaten ilk günden itibaren çok heveslilerdi ama yaşı 50'nin üzerinde olanlar gerçekten ortalama olarak çok direttiler. Çok fazla kişi yoktu ama çok zor oldu. Ki bu işin öncülerinden biri de patronumuzdu. Onun yaşı 50 üzerindeydi ama o öncü oldu, önyak oldu. Gerçekten onun sayesinde bu kadar bu noktaya geldi.

**SÖ:** Teşekkürler. Peki bu projede dijitalleşme bağlamında bazı 'lessons learned' maddeleri çıkarıldıysa veya siz kendiniz için çıkardıysanız bunları paylaşabilir misiniz? Örneğin, bundan sonraki projelerde uygulamak istediğiniz ne gibi uygulamalar var?

**R2:** Tabii ki. Biz bir 'case study' yaptık. Burada da bazı şeyleri tespit ettik. Doküman numaralandırmaya daha dikkat etmemiz gerektiğini anlattık. Gereksiz yere sınıflandırmalarda... insanların başına iş açmaya gerek. Sınıflandırmaları oldukça sade yapmamız gerekiyor. *Work flow*'ları, iş akışlarını belirlerken çok uzun uzadıya düşünmek gerekiyor. Yani etraflıca konuşmak, görüşmek gerekiyor. Biz iş akışlarını oluştururken sahayı da dahil ettik ama işin başında fark etmediler belki. Daha sonra kendileri revizyon istediler iş akışlarında ama iş akışında revizyonlar olumlu değil bence. Başından her şeyi: Kimden onay alınacak? Bir dosya nereden nereye gidecek? Başlangıç noktası ne olacak? Kimlerin onayı gerekecek? Kimlerin görüşü alınacak? Bunları çok net konuşmak ve tespit etmek gerekiyor. Bunun dışında ortak dilin kullanılması. Alanlar, bölgeler konusunda ortak dil konusu çok önemli. Bunu fark ettik, aklıma gelen şeyler.

**SÖ:** Teşekkürler, bir sonraki soruya geçiyorum. Deneyimlediğiniz kadarıyla Türk müteahhitlerin yurt dışında ve yurt içinde yaptıkları projeler arasında dijitalleşme bağlamında ne tür farklar var? Kıyaslayabilir misiniz?

**R2:** Şöyle kıyaslarım tabi ki çünkü ilk 2007'de ben Libya'ya gittim. Orada 2009'daki bir projede 13 şantiyenin merkez şantiyesindeydim. İçinde toplu konut, tiyatro gibi farklı şeylerin olduğu 13 farklı proje, iki üç tane farklı şehirde. Bunların hepsini o zamanlar bir programla araya getirmişti. Gerçekten zorunluydu. Yani böyle bir şeyi kullanmak zorunluydu bu kadar büyük çaplı bir şey için. Ve gelirleri de yurt dışında iyi olduğu için, tahmin ediyorum, müteahhitler yurt dışı projelerinde böyle dijitalleşmeye önem veriyorlar. Bir de yurtdışında daha çok yabancı müşavir firmalar bu şekilde, özellikle Aconex gibi programları şartnamesinde yazıyorlar. BIM şartnamesi de oluyor zaten. Bu *zorunluluktan* dolayı kullanıyorlar, kullandıkça hoşlarına gidiyor. Ya da zaten alışmış oluyorlar büyük şirketler, o yüzden kullanmanın ne kadar faydalı olduğunu biliyorlar. Türkiye'de de sadece şimdilik metrolarda BIM şartnamesi var. Onun dışında bir zorunluluk olmadığı için küçük ve orta ölçekli firmalar tercih etmiyorlar. Ama büyük firmalar sonuna kadar VR [sanal gerçeklik], AR [artırılmış gerçeklik] sonuna kadar götürüyorlar. Büyük firmalar Türkiye'de de kullanıyorlar. Eski usulün yani artık pek faydalı olmadığını biliyorlar.

**SÖ:** Zorunluluktan bahsettiğiniz, zorunluluk olmasının büyük bir etken olduğundan bahsettiniz. Sizce bizde bu teknolojilerin benimsenmesinde hangi kurumların desteğine ihtiyacımız var ülke olarak? yani bu engelleri nasıl aşabiliriz, hangi kurumlar veya kişiler veya tüzel kişilerin hangi adımları olması gerekiyor sizce?

**R2:** Şimdi BuildingSMART diye bir durum var. Biliyorsunuzdur sanırım. Bunlar dünyada bir kurum. Türkiye'de de bunların bir ayağı var. Türkiye'deki yaptıkları

çalışmalara ben de dahil oldum. Özellikle kurumlarla bu işin şartnamesinin oluşturulması konusunda kurumlarla görüşüyorlar. Türkiye’de yapılmıyor değil. Ama İBB’de [İstanbul Büyükşehir Belediyesi] özellikle. İBB’de görerek Antep Belediyesi. Aynı şekilde metrolarında BIM şartnamesi var. Bugün mesela Bursa metrosunda yine bir BIM şartnamesi var. Aynı şekilde başlayacak olan Konya Metrosu’nun yine BIM şartnamesi var. Yani belediyeler birbirlerinden gördükçe etkileniyorlar. Ama bunun dışında kurumların bu işe—AYGM [Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü] bu arada Konya’daki işveren. AYGM mesela tabi Türkiye’deki yapıları gördükçe, Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, bunu gördükçe bunu her yerde bunun kullanılmasını istiyor. Bunun kurumlara önce anlatılmalı, BuildingSMART gibi, gidip kurumlara anlatılırsa bu iş her yerde zorunlu olur. Dediğim gibi boşa masraf edilen kalemler var, paftalar olsun, boşa kaybedilen zaman var, israf edilen ziyan olan malzemeler var. Dediğim gibi, mesela Sudan’da yanlış bir parça—Çin’de imal ediliyordu çelik konstrüksiyon malzemeleri. Çin’den yanlış üretim gelse, bir daha onun doğrusu üretilmesi 6 ay sürecekti. Yani bu BIM’de yapılmış olmasaydı, bu *clash detection* yapılmış olmasaydı, görülmeyecekti.



### Interview #3

#### Respondent 3, BIM Manager

03.04.2021 10:00

---

**Sera Özkıvanç:** Öncelikle projeyi kısaca anlatabilir misiniz lütfen?

**Respondent 3:** Bizim işverenlerimizin talepleri doğrultusunda proje scope'larımız değişebiliyor. Kimilerinde Endüstri 4.0 noktasında, maliyet planlama, projen yönetim, kalite açısından değerlendirmeleri ya da değer mühendisliği çalışmaları açısından farklılıklar yer alıyor . . . Şu an mevcut olarak çalıştığımız iki tane proje var. Bunlardan biri [X Projesi], diğeri de Petersburg'daki hastane kompleksi projesi. Biz bunu BIM platformunda çalışıyoruz. Bütün disiplinler BIM platformunda çalışıyor. Statik, mekanik, mimari— hepsini oradan çalışıyoruz. Neler var içerisinde: normal bir ana hastane binası var, onkoloji merkezi var, oteli var, yönetim binaları var. Bayağı büyük bir proje. Yaklaşık 13 tane binadan oluşuyor. Büyük bir kampüs diyebiliriz buraya.

Bu tarz büyük ve iç içe farklı fonksiyonları bir arada bulunduran projeleri geleneksel yöntemlerle değil de BIM platformunda yapıp, hem sorunları daha erkenden görmeyi hedefliyoruz hem de diğeri disiplinlerle, paydaşlarla, iş verenlerle ve danışmanlarla daha yalın, istenilen bilgiyi, istenilen bilgi kadar tanımlamaları ya da doğru kişiye yeteri kadar bilgiyi *aktarabilme* kabiliyetini esasında sunmaya çalışıyoruz bu tarz teknolojileri ve platformları kullanarak . . . Biz sadece hastane projeleri değil, altyapı projeleri de yapıyoruz. Üst yapı projelerinde de çok farklı projeler yapabiliyoruz. Yani bizim Rusya'da kendi yatırımlarımız var, alışveriş merkezleri var. Bundan sonra kamu binaları, ofis binaları var, yüksek yapılar var . . . Yani çok geniş bir skalamız vardır bizim. Tarihi eserlerden yüksek yapılara, daha geleneksel kamu binalarından alışveriş merkezlerine, hastane projelerinden, havalimanlarına kadar bayağı bir çalıştığımız proje oluyor. Bunlar kendi içerisinde her biri özelleştirerek bir şeyi yapıyor— yani işveren talepleri doğrultusunda scope'larımız belirleniyor. Karma bir şekilde, oradan bunu yaptık, şuradan bunu yaptık şeklinde sorularını cevaplamaya çalışacağım.

**SÖ:** Tamamdır, o halde ikinci soruya geçiyorum. Anket cevaplarınıza göre kullandığınız Endüstri 4.0 teknolojilerini '*cloud computing*', büyük veri, analitik ve proje yönetim yazılımları olarak listelemişsiniz. Hangi yazılımları kullanıyorsunuz ve bunları ne şekilde uyguluyorsunuz?

**R3:** Tabi şunu söyleyebilirim, [firmamız] kurulduğundan bu yana hep teknolojiyle içi içe ve teknolojiye ayak uydurabilen bir firma. Kendi içerisindeki trendleri ve uluslararası ihalelerdeki şartnamelere göre kendini tekrardan hep *modifiye* etmek zorunda kalıyor. Çünkü Türkiye'de yaptığı herhangi bir şey yok. Hep yurt dışında işler oluyor. Bu noktada [firmanın] kendi bir yatırımı var. Kendi yazılım programı var. Bu tıpkı Autodesk'in bulut tabanlı programları, BIM 360 gibi ya da Aconex'in bulut tabanlı programı gibi. [Firmanın] kendi sisteminde yaklaşık 60 yıldır harmanladığı, tecrübe ettiği bilgiler doğrultusunda hazırladığı bulut tabanlı bir sistem var. Bu doküman yönetim sistemi olarak da aynı zamanda BIM modellerimizi de içerisinde yüklediğimiz bir *Common Data Environment* diyebiliriz. Bütün bilgi akışlarını takip ettiğimiz, dosya paylaşımlarını gördüğümüz, modellerini paylaştığımız bir platform oluyor burası. Bu noktada biz bütün paydaşlarımıza, diğeri disiplinlere, işverene, hep bu platform üzerinden yayınlar gerçekleştiriyoruz. Yani geleneksel olarak önceden nasıl bütün projeler kendi bilgisayarlarımızda yer alıyordu, sonra *server*'larda yer

almaya başladı. Ama bundan sonra hep bulut sistemi üzerinden yaptığımız çalışmalar oluyor. Bu sadece projesel anlamda da değil. Makine ekipman sevkiyatlarından tutun, alımlarından tutun, ya da mesela modellerde oluşturduğumuz metrajların satın almalarıyla alakalı taleplerin oluşturulduğu ve hatta bütün çalıştığımız firmaların veri tabanlarının bulunduğu ve onlar üzerinden ihale yöntemiyle de satın almaların yapıldığı bir platformdan bahsediyoruz . . . Proje yönetim tarafında da bizim bu ek doküman yönetimi sistemi olsun, yine iş programıyla alakalı olsun, satın almayla alakalı malzeme paketlerinin oraya girilmesi ile alakalı işler olsun... Bu süreçleri hep kısaltmak, şantiye ile dizayn arasındaki koordinasyonu, eşgüdümü ve senkronize olacak şekilde çalışabilmesini sağlamak. Bu tür avantajları var. Yani biz burada ne yapıyoruz? Bir, işin kalitesini bir kere düşürmemiş oluyoruz. İkincisi, zamanlama konusunu optimize ediyoruz. Yani o çok önemli bizim açımızdan. Bundan sonra üçüncüsü, doğru mühendislik ve mimari çözümleri şantiye *uygulatabiliyoruz*. Yani anlık olarak hep birlikte daha çok fazla iletişim kurabildiğimiz ve ortak bir platformda buluşabildiğimiz zaman, bu noktadaki yanlış anlaşılmaları ya da bilgi *kirliliğini*, bilgi fazlalığını ortadan kaldırmış oluyoruz. Daha net ve daha sade, daha doğru bilgileri aktarabilme şansımız oluyor. Bunlar bizim için çok büyük bir avantaj oluyor. Zaten bizim gibi firmaların dünyanın birçok noktasında iş yapabilme becerisi tamamen bundan kaynaklı. Yoksa diğer türlü daha geleneksel yöntemlerle, ya da teknolojiyi arkasını dönerek “Ben Endüstri 4'e inanmıyorum” diyerek ne bir ihale alabilme şansımız olabilir, ne de başladığımız işi bitirebilme şansımız olabilir. Hatta direkt iflas bayrağını çekmiş bile olabilirdik diyebilirim.

**SÖ:** BIM'i bir projede 6D seviyesinde kullandığınızı belirtiniz ankette. BIM'i *cloud computing*, büyük veri ve analitik teknolojileriyle entegre ettiniz mi?

**R3:** Evet.

**SÖ:** Peki bu inşaat aşamasında şantiye süreçlerini ne şekilde etkiledi?

**R3:** Burada çalıştığımız teklif projelerden bir örnek vereceğim. Bir de kendi yatırımlarımız olan alışveriş merkezlerinde yaptığımız çalışmalardan bir tane örnek vereceğim. Teklif projesinde 6D BIM'i nasıl kullandık, öncelikle ondan bahsedeyim. Bir toplu konut projesi vardı. Çok büyük bir projeydi. Lüks bir projeydi. Bizden istenilen şöyle bir durum vardı: büyük bir arazide yapılacak farklı tip binalar var, konut binaları, rezidans binaları var. Bunların birbiri üzerine gölge düşmemesi lazım ve belli saatlerde minimum gün ışığının içerisine girmesi gerektiği saatler belirlenmişti. Yani oradaki devletin belirlediği şeyler var. Biz buna yönelik oluşturduğumuz bu rezidans tiplerini, buradaki araziye doğru şekilde oturtup gün ışığı analizleri gerçekleştirdik mesela. Yani yaptığımız çalışma mevsimsel olarak da aynı zamanda yani kışın, ilkbahar, yazın, sonbahar, bundan sonra en uzun gün, en kısa günde binaların birbirinin üzerine gölgenin düşmesini engelleyip, aynı zamanda tipik dairelerin içerisine de gün ışığının ne kadar süre içerisinde yer aldığı ile alakalı tespitler yaptık. Yani böyle bir çalışmamız olmuştu. Tamamen bizim hem bu toplu konut projesinde nasıl bir oturum düzeni sağlayıp da, daha doğru bir site tasarlamamızı, tasarımı yapmış olduk hem de güneş analizleri ile de ilgili tipik daire planlarıyla alakalı çözümlerimizi de değiştirmek zorunda kalmıştık mesela. Bu tarz bir çalışma gerçekleştirmiştik, bu tabii teklif projesinde yaptığımız bir çalışmaydı. Şimdi gelelim alışveriş merkezi çalışmamıza. Bizler ne yapıyoruz mimarlar olarak? Biz daha çok uygulama tarafında, daha yüklenici tarafında yer alıyoruz. Ama kendi tasarım geliştirme ve '*design development*' dediğimiz tarafıyla ilgili yaptığımız çalışmalarla fonksiyonların birbirleriyle nasıl

çalışabildiğini ve birimlerin doğru yerlerde kullanılıp kullanmadığı ile alakalı çalışmalar gerçekleştiriyoruz.

Mesela yaptığımız alışveriş merkezinde bu ‘food court’ alanı akşam güneşin olduğu tarafa denk geliyormuş. Yani Batı tarafında komple ve tamamen cam bir cephe ve bunu dünyadaki gerçek konumunu tutturduğumuz zaman akşam saatlerinde gelen kişilerin ‘food court’ bölümünde oturamayacağını fark ettik. Yani inanılmaz bir güneş, sıcak. Yani burayı bir mekanik ekipmanla soğutabiliriz evet ama bu sefer de maliyeti arttırıyoruz. Bu bizim için önemli bir şey. Sonuçta biz karbon ayak izimizi de düşürmeye çalışan bir firmayız. Yani bununla ilgili de çalışmalar yapıyoruz daha yeşil binalar olsun diye. Ki Rusya'nın ilk yeşil bina sertifikasına sahip olan proje bizim projemizdir. Sonrasındaki de aynı şekilde – ikinci yaptığımız alışveriş merkezi de – bu yeşil bina sertifikasyonunu aldı. Bu noktada Revit’le çalıştığımız için parametrik modelleme programında oluşturduğumuz olan binanın gün ışığı analizlerini yaparak o bölgeyle alakalı cephe tasarımımızı – hatta biraz da fonksiyonun değiştirilmesi ile ilgili – çalışmalar gerçekleştirdik. Bu bize hem mekanik ekipmanlar konusunda ciddi bir kâr ettirdi, hatta bazı noktalarda cephe güneş kırıncıları tasarlamamız gerektiği ile alakalı ve bunların performanslarıyla alakalı ölçümler gerçekleştirdik. Ve şantiyeyi de bu şekilde yönlendirmiş olduk.

Tabi şöyle bir şey var, [firmamız] inşaatları çok hızlı bitirir. Zaten en büyük rekabet avantajlarından birisi de bu. Bazı noktalarda nasıl oluyordu? Eş zamanlı bir taraftan biz projeyi yayınlıyoruz, öbür tarafta hemen imalat başlar. Yani o kadar hızlı. Yani bir gün bir şey atlamaz. Böyle durumlar söz konusu oluyordu. Bu sürede bir aksaklık yaşadık mı diye soracak olursak, mesela o projede yaşamadık. Ama tespitlerimiz işletme tarafına döndüğü zaman– yani “binayı yaptık artık yaşayalım,” *yaşayan* bir bina haline geldiğinde, [bahsettiğimiz teknolojiler] birçok problemi en baştan öngörerek çözmemizi de sağlamış oldu diyebilirim.

**SÖ:** Projelerinizi bu kadar hızla bitirmenizi sağlayan faktörler nedir?

**R3:** Çok agresif çalışıyoruz. Bizim uzun zamandır– mesela Rusya'daki projeler için söyleyebilirim– oturmuş bir düzenimiz ve sistemimiz var. Çalıştığımız kişiler var. Oranın yönetmeliklerine hâkim ve kurulu bir ilişki düzenimiz var. Merkez tarafında ise, [firmamız] çok fazla işe alım yapmaz. Neden? Çünkü mevcut kadrosunu korur, korumaya çalışır. Yani diğer mimari ofisler gibi bir ‘doldur boşalt’ sirkülasyonu çok yoktur . . . Ama bir yandan bir bayrak teslim etme sürecimiz de var çünkü inanılmaz derecede uzun süredir çalışan kişiler oluyor. Onların yerlerini artık yeni arkadaşlara teslim etmeleri gerekiyor.

Teknolojiyi kullanabilmek önemli bir faktör bizim açımızdan. Aynı zamanda nitelikli ve yetkin insanlarla çalışıyor olabilmek. Yani işini bilen, nasıl olması gerektiğini, nasıl yapılması gerektiğini yönlendiren tecrübeli insanların olması. Bu ikinci ana bir faktör.

**SÖ:** Büyük veri ve analitik kullanımınızdan bahsedebilir misiniz? Hangi verileri topluyorsunuz, nelerin analizlerini gerçekleştiriyorsunuz? Bunlardan ne yönde fayda sağlıyorsunuz?

**R3:** Yaptığımız her bir projenin bir kapanış raporu oluyor. Bu kapanış raporlarında *‘lessons learned’ler*, *‘best practice’ler* bunların her biri kendi kategori başlığı altında sınıflandırılarak kaydediliyor. Bu yaptığımız işler bir sonraki proje aşamasında, özellikle *risk yönetimi* tarafından, risk kriterlerinin belirlenmesi ve risk yönetimi tarafında değerlendiriliyor. Bunlar tabi daha çok hangi aşamalarda yer alıyor ve kimler faydalıyor diye bakacak olursak, bir PMO’cular [Project Management Office], yani

proje yönetim ofisi. Bizim kendi içimizdeki proje müdürleri. Onlar o bilgiler doğrultusunda hareket edebiliyorlar, kararlarını alabiliyorlar ya da bir kick-off toplantısı başlamadan önce hazırlıklarını buradan gerçekleştirebiliyorlar. Her ülkenin kendi içerisinde zaten bir SWOT [Strengths Weaknesses Opportunities Threats] analizi oluyor. Yani “yatırım yapılması gerekiyor mu gerekmiyor mu” şeklinde raporlamalar olabiliyor. Ya da o bölgelerde yaptığımız olan projelerdeki yaşadığımız zorlukları, mesela bir proje veya imalat tarafında aldığımız doğru kararları bir sonraki aşamaya arttırabilmek için– unutmamak için– kaydettiğimiz için bunlardan faydalanabiliyor. Böyle bir çalışmamız var kendi içimizde. Yine kendi doküman yönetimi platformumuzda isteyen ya da hak sahibi olan kişiler girip bu raporları okuyabiliyorlar.

**SÖ:** Bu doküman yönetimi platformundaki belgeler de bulut üzerinde saklanıyor, doğru anladıysam?

**R3:** Kesinlikle. Yani bu bir kural bizde. Hatta şöyle söyleyeyim, bu bilgi güvenliği kapsamında asla kendi lokalimizde herhangi bir dosya kaydetmiyoruz. Yani bütün çalışmalarımızın hepsi server üzerinde ya da bulut üzerinde olması gerekiyor.

**SÖ:** Kullandığınız teknolojilerin projeye olan etkilerini biraz anlattınız gerek maliyet gerek *design* ve proje yönetimi açısından. Varsa, lütfen dezavantajlarından ve zorluklarından da bahseder misiniz? Engeller yaşadınız mı?

**R3:** Tabi. Şimdi söyle bir şey var. Çok büyük bir tecrübe var dedik. Mesela 40 sene, 50 sene, 55 senedir [firmamızda] çalışan abilerimiz ablalarımız var. Bize işleri gösteren, öğreten. Ama ne tür sıkıntılar oluyor? Birincisi şu: biz bu son alımımızı yapmayana kadar nitelikli personel— daha doğrusu bu teknolojileri kullanacak yetkin personel eksikliğimiz vardı. Eski personelin de bu konulardaki direnci— ki inşaat sektörünün sen de içindesin, biliyorsun... Yeni bir şeylere adapte olma ya da değiştirme şekli çok zordur. Yani hep bir dirençle karşılaşıyorsun. Halbuki dünya öyle değil, çok daha hızlı adapte oluyor. Biz daha gelenekselci takılmayı seviyoruz. Bu noktada tabi yaşadığımız zorluklardan biri bu diyebiliriz. Yani yeni personelin hem adaptasyon sorunu olabiliyor hem de eski personelin de yeni teknolojilere karşı direnci.

İkincisi, mesela her yazılım kusursuz değil. Yani mutlaka eksikleri oluyor, sıkıntılar oluyor, çözülmemiş bir şeyler oluyor. Birileri size bir platform, bir servis sunuyorlar; siz de bu çalıştığınız serviste yaşadığınız sıkıntıları bildiriyorsunuz. Onlar da bir sonraki update'lerinde veya versiyonlarında çözüp tekrardan o servisi size sunuyorlar. Yani bunun bilincinde hareket etmek lazım. Yani “oo çok güzel BIM 360 şöyle yapıyor, Aconex şöyle yapıyor”– bu [yazılımlar] size her şeyi sunuyor şeklinde bir algıya kapılmak en büyük dezavantaj olur. Mesela Revit'te ne kadar yapabileceğimize dair hep bir soru işareti vardır. Benim mülakatlarda sorduğum bir soruyu söyleyeyim. Benim tek bir sorum var: Revit'te bir model yaparken en çok zorlandığın komut hangisi? Şimdi bu soru öyle bir soru ki, karşı tarafın vereceği cevap zaten onun ne kadar bir Revit bilgisi olduğunu açıklıyor. Yani oturup da model yaptırmaya veya farklı farklı testlere falan sokmaya gerek yok. Bu [soru] onun hem programa ne kadar hâkim olduğunu hem de bu programda ne tür projeler yaptığını çok güzel anlatıyor . .

[Bir başka sorun ise] yüksek altyapı maliyetleri. Genellikle iş insanlarının söylediği şey şu: “Ben bu işi zaten bu teknolojiyi kullanmadan bu fiyata yapabiliyorum. Neden bu teknolojileri satın alayım da, ekstra bu maliyetleri üstlenip zaten bitirebileceğim

işte kâr oranımı düşüreyim?” Yani bu zihniyetli insanlar da olabiliyor. Bu işleri kullanmamak adına bir bahane üretmiş oluyorlar. Sonuçta ticari firmaların en büyük kaygısı kârdır, işi bitirmenin dışında tabii. Bunun ne gibi dezavantajı olur? Belki sen bir projeden daha fazla kâr edebiliyorsun ama bizim girdiğimiz uluslararası ihalelerde en çok bize söylenen şey şu: “Sen bu tarz bulut sistemi programlarını kullanmak zorundasın, projelerini bu bulut sistemi üzerinde saklamak zorundasın. Buradan paylaşmak zorundasın” gibi şartlar söylüyorlar. Yani sen eğer yurtdışında ahbap çavuş ilişkisiyle aldığın projelerin dışında daha büyük projeler almak istiyorsan, o zaman senin bu teknoloji altyapı yatırımını da yapman gerekiyor. Yapmazsan artık ENR [Engineering News Record] listesinde kendini üst sıralarda görme şansın çok olmuyor. Daha aşağılara girmiş oluyorsun. Hatta ENR listesinden çıkmak zorunda kalıyorsun.

Bu zorluklarıydı, dezavantajlarıydı. Peki ne tür *tedbirler* alabildik? Nitelikli personel eksikliğini, personelinin zorluklarından bahsetmişken teknolojiye karşı direnci, hem de yeni personelin de teknolojiye karşı yatkınlığı ama tecrübe eksikliği demiştim. Yani şimdi bu noktada biz ne yaptık? Personele çeşitli eğitimler vermeye başladık. Yani hem eski personelin teknolojiye yatkınlığı olması açısından hem de yeni personele tecrübe edinmek açısından; hem mesleki hem de yetkinlik eğitimleri vermeye başladık. Bunun için [firmamızın] kendi içerisinde [bir akademi] bünyesi var. Bu akademi bünyesinde bu kişilerin ihtiyaçlarını yöneticiler belirleyip bu kişileri eğitimleri gönderebilir veya o kişiler açılan eğitimlerde taleplerde bulunabilir, “ben *bu* tarz eğitimlere katılmak istiyorum” diye. Bu da ayrı bir bütçe oluyor. Yani çok fazla inşaat firmalarında olan bir şey değil. Hep [firmamız] bir okul gibidir derler ve gerçekten de öyledir . . .

İkincisi, mesela bu teknolojiyle alakalı BIM tarafında bir BIM takımının ya da BIM departmanının kurulması gerekiyor. Yani bu işi devamlı ‘lead’ edecek, ondan sonra *direnç* gösterecek — geleneksel yöntemle dönmemesi açısından *direnç* gösterecek, bu konularda uzman mühendis, mimar arkadaşların bir arada olduğu bir grup olması gerekiyor. Aynı zamanda teknoloji tarafında mesela [bizim firmamızın] yatırımı nedir? *Kendi* teknoloji firmasını kuruyor bu bulut tabanlı platformların oluşturulması için. Bunların her birini esasında birer *direnç* gibi görebilirsin. Biraz çok stratejik hamlelerdir çünkü bunlar. Aynı zamanda bu BIM takımındaki olan kişiler, ya da BIM departmanındaki olan kişiler, personelin bu BIM araçlarına karşı olan isteksizliğini ya da *direnç*lerini kırmak için çeşitli pilot projeler gerçekleştiriyor. Yani nedir bu? Gerçekten bir ihale aldığımız zaman, sonrasında herhangi bir zorluk yaşamayalım diye bununla alakalı antrenmanlar yapıyoruz diyebiliriz. Ki bizim BIM takımında 8 sene önce yaklaşık tekrardan bir BIM takımı reorganize oldu. Ben de zaten oraya girmiştim. Orada biz kendi çalışmalarımızı, kendi sistemimizi [şirket] kültürüne uygun olacak şekilde kurduktan sonra – önce kendi departmanımızda başladık, şimdi [firma] geneline BIM farkındalık eğitimleri veriyoruz. Yani o noktada kendi içimizde de bir eğitim planlamamız oldu. Ve artık bu altyapı bütçelendirmeleriyle alakalı teklif projelerinde fiyatlandırma yaparken, bunları da artık bir kalem olarak ekstra olarak belirtiyoruz. Çünkü madem sen böyle bir platformda istiyorsun, madem böyle teknolojik süreçleri içerisinde de projeyi hem görmek hem hâkim olmak istiyorsun, o zaman bunun bedeli budur. Yani buna göre biz fiyatlandırmamızı yapıyoruz, buna göre teklifimizi sunuyoruz şeklinde daha açık ve beyan bir şekilde bunları sunmuş oluyoruz. Bu gibi tedbirlerde bulunduk.

**SÖ:** Deneyimlediğiniz kadarıyla, Türk müteahhitlerinin yurtdışında ve yurtiçinde yaptıkları projeleri dijitalleşme bağlamında kıyaslar mısınız?

**R3:** Onunla alakalı şöyle söyleyebilirim; [firmamız] sadece yurtdışında proje yapmıyor, aynı zamanda yurtdışında yaptığı gibi yurtiçinde de yapıyor. Yani bu noktada gördüğümüz, tespit ettiğimiz şeyler var bizim de. Yani Türkiye'de kullandıkları iş yöntemini, ondan sonra iş prosesini, yani iş akış süreçlerini yurtdışında kullanmıyor. Yurtdışında yoğunlukla farklı yapıyor, yurtiçinde farklı yapıyor. Yani bu tamamen *nereden* ihale aldığına göre değişiyor. Yani kâr marjlarını çıkabilecek ya da ekstra bütçe alabileceğini düşündüğü yerlerde çok fazla teknolojik yatırım tarafında bütçelendirme çok yapmıyor diyebiliriz. Ama yurtdışında öyle değil. Yani siz artık bir uluslararası platforma çıkıyorsunuz ve uluslararası platformda yaptığımız her iş *o kadar* farklı kişi ve kurumlar tarafından gözleniyor ki, burada size bir notlandırma süreci oluyor. Belki biliyordunuz, bizim gibi firmaların her yıl bir faaliyet raporu yayınlanır o yıllara alakalı.

Biz ayrıca 2018 yılından itibaren de her yıl bir de sürdürülebilirlik raporu yayınlıyoruz. Yaptığımız çalışmalarda hem çevreye olan etkileri, hem STK'larla [Sivil Toplum Kuruluşu] olan ilişkilerimizi, hem de bir sonraki projelerde ne tür daha çevreci yeşil projeler yapacağımızla alakalı ilgili raporlamalar sunuyoruz. Bu raporu neden yapıyoruz? Keyfimizden yapmıyoruz. Tamamen bir sonraki ihalelerde girdiğimizde bu tarz raporlar bizim elimizi güçlendirir. Çünkü işveren diyor ki — artık işveren de bilinçli. Tamam, teknolojiyi kullanıyor mu? Kullanıyor. Peki teknolojiyi kullanıyor ama çevreci bir firma mı? Yani karbon ayak izi nasıl? Yaptığı projelerde ne tür yenilikçi yönler, ne tür çevreci kararlar almış da hani bu şekilde projelendirmiş? Bunlarla alakalı hem analizlerini yapıyor hem değerlendirmelerini yapıyor. Ona göre sana o işi verip vermeyeceğine karar veriyor.

Yani elbette fiyat politikası çok önemli. Mesela ben bir değer mühendisliği ile ilgili yaptığımız bir çalışmadan bahsedeyim. Bunu söylememde sakınca yok. Mesela Katar'da bir Dünya Kupası yapılacaktı ve bu Dünya Kupası ile alakalı stadyum projelerinde ihaleler yapılıyor. Ve biz de ona girdik . . . Katar şeyhi bir sürü stadyum yapma kararı alıyor. Çünkü ortada stadyum yok ve bununla alakalı birçok tasarım firmasına da projelendirmesini yaptırıyor. Mesela bizim girdiğimiz bir ihalede işveren, yani Katar şeyhi, bir milyar dolarlık bir stadyum projesi tasarlatıyor size ve buna diyor ki “Benim 500 milyon dolar bütçem var. Hadi bana bir değer mühendisliği çalışması yapın da, bu bir milyar dolarlık stadyumu ben 500 milyon dolara gerçekleştirebileyim.” Şimdi bütün firmalar, Çin müteahhitler, Türkiye'den giren müteahhitler ciddi bir değer mühendisliği çalışması yapıyor. Ve değer mühendisliği çalışmasında tamamen bu teknolojik programları kullanarak yapabiliyor. Yani analizlerini vesaire raporlamaları ve sunumları bu şekilde gerçekleştirilebiliyor. Hatta öyle bir şey ki, bu tüm projeleri Dünya Kupası bittikten sonra yine âtıl kalacağı için, tekrardan fonksiyonlarını değiştirerek bunları otel, hastane gibi yapılara dönüştürme yolunda da sizden bir de teklif istiyor. Yani diyor ki “Ben buraları yıkacağım, bu yıktıklarımı da – bunlar çöp olmasın, bu alanlarda kullanmak istiyorum” . . . O fonksiyonlara göre mesela bir stadyum projesi kaç farklı fonksiyona, kaç farklı binaya çevrilebilir ki? sorusunun cevabını *o kadar çok* farklı binalara çevirebildik ki, biz bile şaşırдық. Yani bu tarz çalışmalar yapıyoruz. Bunlar hem çok kıymetli hem de gerçekten de *maliyet, tasarım, uygulama* faktörlerinin bir şekilde optimize etme çalışması gibi bir şey oluyor. Yani ortak buluşabildiği– ve bunu işin kalitesini düşürmeden yapmamız. Bu da çok önemli bir kıstas.

**SÖ:** Peki bunu ne kullanarak yapıyorsunuz?



**R3:** Tamamen BIM araçlarını kullanarak yapıyoruz. Yani nedir? Revit'i kullanıyorduk, Navisworks'ü kullanıyorduk. Bununla alakalı enerji performansını ölçeceğimiz. Mesela [bizde] bir de LEED takımı vardır. Bu Amerikan Yeşil Binalar Konseyinin verdiği uzmanlık sertifikaları. Ben aynı zamanda oradayım da. LEED AP [Accredited Professional] olarak çalışıyorum. Burada oluşturduğumuz modellerin malzeme performanslarını, gün ışığı analizlerini, aydınlatma değerlerini vesaire girerek LEED'den kaç puan alabileceğimizi burada analiz ediyoruz. Biz şimdi ne yapıyoruz, Autodesk'in kendi bulut sistemine gönderiyoruz. Ondan sonra oradan bu performansıyla alakalı raporlar geliyor. Ve bu raporları ondan sonra şekillendiriyoruz. Hatta binanın oturma yönüne göre bile pencere genişliklerinin ya da enerji performansları ile alakalı her türlü değerle alakalı raporlar çıkarabiliyoruz. Bu tip çalışmalar da yapıyoruz yani.

**SÖ:** Bir sonraki soruya geçiyorum. Sizce Türkiye'deki inşaat projelerinin dijitalleşmelerindeki engeller neler?

**R3:** Esasında biraz önce o zorluklardan bahsettiğimiz şeydi. Yani personelle alakalı. Ondan sonra yazılım yetersizlikleri ile alakalı ve altyapı maliyetlerinin çok yüksek olması ile alakalı. En büyük zorluklar onlar. Yani çok kolay bir şey değil.

**SÖ:** Peki Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinde hangi kurumların desteğine ihtiyacımız var? Engelleri aşmak için hangi adımların atılması gerekiyor?

**R3:** Bu çok güzel bir soru. Öncelikle kurumların, yani eğer devletin bir zorunluluğu olursa bu noktada bütün firmalar çok hızlı bir şekilde şeyi Endüstri 4'e geçer. Hatta ben şu örneği de vereyim, firmalar ya da özel sektör nasıl dijitale adapte oldu ve nasıl geçti diye bir soru vardır. O da Korona sayesinde derler. CEO değildir, CFO değildir bunu yapan, tamamen *şartlardır*. Mesela biz kendi girdiğimiz uluslararası ihalelerde, biz özel sektör olduğumuz için söylüyorum, bu tarz işveren talepleri olduğu için biz geçmek *zorundayız*. Yani bu ihaleleri alabilmek için. Ama devlet tarafında, kamu tarafında da yapılan çalışmalarda, sana hiçbir şekilde "geleneksel yöntemlerle bu projeyi üret" demiyor, sana "*bunları kullan*" diyor. "Ben bunlarda proje istiyorum" diyor. "Bu şekilde adapte et, bu şekilde koordinasyonu çöz." İngiltere bunun öncülerinden bir tanesi. İngiltere'de özellikle kamu ihaleleri – hatta [BIM'in] Level 1, Level 2 seviyeleri var, biliyorsun sen de. Artık [BIM kullanımı] Level 2 seviyesinde zorunlu hale geldi diyebiliriz. Yani eğer sen bugün İngiltere'den bir iş almak istiyorsan ya da bir iş yapmak istiyorsan, tamamen bu şartları sağlaman gerekiyor. Bu asla inşaat firmalarının kendi içerisindeki, kendi refleksleri ile olacak bir şey değil. Onu söyleyebilirim. Hep dışarıdan, ya işveren tarafından ya devlet tarafından, ya da eğer bir alt yükleniciysen kendi yüklenicisi tarafından, devamlı *dikte* edilerek yapılabilecek bir şey.

Tabi şöyle bir durum da var. Üniversitelerin de hakkını yememek lazım. Artık üniversiteler de bu Endüstri 4 tarafında ya da parametrik modelleme programlarının öğretilmesi konusunda çok büyük destek veriyor. Yani oradaki kişileri hazırlıyor. Oradan mezun olan kişiler bu niteliklere sahip oluyor. Sadece tecrübeleri eksik oluyor. Bu tecrübelerini de işte bu tarz firmalara girerek, alttan da bir baskı, üstten de bir baskı olduğu zaman, artık inşaat firmalarının ya da endüstrinin değişmeme gibi bir şansını olmuyor.

## Interview #4

### Respondent 4, BIM Manager

23.04.2021 16:00

---

**Sera Özkıvanç:** Anket cevaplarınıza göre, projelerinizde faydalandığınız teknolojilerden bazıları AR ve VR [artırılmış gerçeklik ve yapay gerçeklik]. Bu konudaki uygulamalarınızı anlatır mısınız?

**Respondent 4:** AR ve VR çalışmalarımız var farklı hastane projelerinde uyguladığımız. Daha ağırlıklı olarak VR çalışmalarını kullanıyoruz. Bunu kullanmamızın amacı da daha projenin ilk başından, projenin sonunu görerek tasarımsal kararlarımızı, gün ışığı kararlarımızı, bunları kritik etmek. Bir de tabii ki idari sunumlarda çok kullanıyoruz. İdareden gelen kişilere o VR gözlüklerini taktırıyoruz ve binanın veya mahalın içinde gezdiriyoruz, çünkü her şeyi kâğıt üzerinde hayal etmek çok zor. Bu tarz teknolojilerle bir mekânı net bir şekilde görebilmek – o alanın veya mahalın içerisinde gezerek projeyi çok daha net bir şekilde kavrayabiliyorsunuz. Bu ayrıca şantiyelerdeki [kesinti] o kadar çok kullanabildiğimiz bir teknoloji değil ne yazık ki. Keşke kullanabilsek. Ama inşaat firmalarında son dönemde çok daha yaygın olarak, özellikle yurtdışında kullanılmaya başlandı. Saha imalatlarını bile artık AR üzerinden takip ediyorlar. Mesela sahada bir yere yerleştirilecek çelikleri direk AR teknolojisi üzerinden takibini yapıyorlar. Veya sahada yapılan imalat takiplerini o şekilde yapıyorlar. Buna ilişkin çok farklı uygulamalar var . . . Biz buna tasarımsal kararları daha kolay verebilmek için ihtiyaç duyduk. Hasta yatak odaların o tasarımsal kararlarını hızlı verebilmek için, malzeme kararlarını hızlı verebilmek için yaptık. Peyzaj tarafında biz bir VR [sanal gerçeklik] çalışması yaptık. Orada da peyzajla ilgili kot anlamında sıkıntılarımız vardı. Yani ön göremediğimiz yerler vardı. Onları kritik edebilmek için VR çalışması yaptık. Nitekim de hakikaten o peyzaj alanının VR'ını yaptığımızda o kot farklılıkların – o peyzajla ilgili sıkıntıları çok net analiz edebilir hale geldik. O açılardan avantaj sağladı. Yani aslında her şey ihtiyaçtan dolayı ortaya çıkıyor.

**SÖ:** Peki bu teknolojiyi yurtdışı projelerin yanı sıra yurt içi projelerinde de kullanıyor musunuz?

**R4:** Evet, biz Türkiye'de yapmış olduğumuz projelerde bunu kullanıyoruz. Yurtdışı olarak bünyemizde firmalarımız var, mesela Hollanda'da – orada da farklı uygulamalar yapıyorlar. Fakat o taraftan çalışmalarımız bağımsız ilerliyor.

**SÖ:** Bu teknolojilerin projeye olan etkinlerinden bahsedebilir misiniz? Ve hangi yazılımlardan faydalanıldı?

**R4:** Biz bir firmayla anlaşarak kendimize özel bir yazılım yazdırdık bunun için. Tamamen [firmamızın] talepleri doğrultusunda geliştirilen bir yazılım. *Unity* oyun moturu ve *HTC Vice* Sanal Gerçeklik gözlüğü kullanıldı. Tamamen bizim taleplerimizle şekillenen bir yazılım. Bazı yerlerde 3D modeller kullandık, bazı yerlerde de 'render' ve gerçek malzeme numunelerin fotoğraflarını kullandık. Çünkü bu tip çalışmalar yapabilmek için modelin çok detaylı olması gerekiyor, VR çalışması yapmak için modeli de o kadar detaylandırmak çok ciddi adam saat demek. Çok ciddi

maliyetler demek. Buna da gerek olmayabilir. Biz çoğunlukla o nedenle VR'dan ziyade renderlardan ve mevcut malzeme fotoğraflarından ilerledik. Bu tabi projeye çok ciddi hız kazandıran bir şey. Çünkü biz özellikle tasarım aşamasında çok vakit kaybediyoruz genelde inşaat sektörü olarak. Çünkü tasarımsal kararlar değişiyor, malzeme kararları değişiyor, bunun için sürekli *mock-up*'lar yapılıyor sökülüyor. Bu da hem maliyet hem de zaman kaybına yol açıyor. Mesela VR çalışması yaptığımız zaman bunların önüne geçmiş oluyorsunuz. İdare için yapılan sunumlarda çok etkili oluyor, özellikle idareye bir iş yapıyorsanız. Veya kendi içimizde yaptığımız sunumlarda çok etkili oluyor, toplantılarda. Bu yüzden hem maliyet hem de zaman anlamında ciddi fayda sağlıyor.

**SÖ:** Bu teknolojileri kullanmanın dezavantajları ve zorlukları oldu mu?

**R4:** Biz bu teknolojiyi kullanmaya başladığımızda bu işi yapabilecek firma bulmada biraz sıkıntı yaşadık, çünkü çok yaygın kullanılan bir teknoloji değildi. Aslında kullanılıyor ama emlak sektöründe çok kullanılıyor. Konut satışlarında insanların alacakları dairede manzarayı görmesi, içinin nasıl görüneceğini görmesi için çok sık kullanılıyor. O anlamda onunla ilgili firma bulurken biraz tereddütlerimiz oldu. Bir de kendi yazılımımızı yazdırmayı istediğimiz için biraz tereddütlerimiz oldu. Ama hiçbir sıkıntı yaşamadık. İlk çalıştığımız firmalarla hemen sorunsuz bir şekilde sistemi kurduk.

**SÖ:** Bu teknolojileri uygulamak için yapılan yatırımdan, eğitimlerden ve adaptasyon sürecinden bahsedebilir misiniz?

**R4:** Biz bunu tamamen dışarıya taşımaya çalıştık, 'internal' yapmadık. Çünkü her şeyi 'internal' yapma şansınız yok, bütün yazılımları öğrenme şansınız da yok. Sonuçta biz bir BIM ekibiyiz bu iş ise biraz daha animasyon tarafına giren bir iş. O anlamda bir bu işi taşımaya çalıştık. Ama tabi ki gerekli ekipmanları almamız gerekti. Ekipmanları sürekli olarak anlaştığımız firmadan kullanamazsınız. Bunun için de çok güçlü bilgisayarlar ve çok iyi donanım gerekiyor. Bu ciddi bir maliyet getirdi bize. Onun dışında da yazılım için gerçekten çok yüklü paralar ödemedik – hatta çok uygun fiyatlara yaptırdık diyebilirim. Ve çok iyi, çok güzel sonuçlar elde ettik.

**SÖ:** Ankette 3D printing kullandığınız projelerin de olduğunu belirttiniz. Bundan biraz bahsedebilir misiniz?

**R4:** 3D printing'i daha çok tasarım ofisi kullanıyor. Biz ona girmiyoruz açıkçası.

**SÖ:** Bir konferansta, sağlık kompleksi projenizi anlatırken, şantiyede kameraların bulunduğunu belirtmişsiniz. Bu kamera görüntülerini ne şekilde kullanıyordunuz?

**R4:** Navisworks'te zaman bazlı bir simülasyonumuz vardı. Kamera görüntülerini eş zamanlı olarak aynı tarihte Navisworks simülasyonu ile kıyaslamalı olarak raporlara koyuyorduk. Mesela simülasyonu tarih olarak bugüne ve bu saate getirdiniz, simülasyondaki modelin görüntüsüyle, sizin o tarihte o saatte elde ettiğiniz kamera görüntüsünü kıyaslıyorsunuz. Birbiriyle ne kadar örtüşüyor, bakıyorsunuz. Tamamen kıyaslama amacıyla kullandığımız bir sistem. Genellikle üst yönetime sunum yaparken bu kıyaslamalı fotoğraflar çok işe yarıyor çünkü herkesin bu BIM programlarını kullanmasını bekleyemezsiniz. Bu yüzden hem süreci yalınlaştırmak hem daha anlaşılabilir kılabilmek için bu tarz sistemler kullanıyoruz.

**SÖ:** Proje yönetim yazılımlarından faydalaniyor musunuz?

**R4:** Aslında tümüyle bir proje yönetim sistemi kullanılmıyor. Çünkü bütünüyle böyle bir şey kullanabilmeniz için şirketteki ilgili departmanlarının da bunu kullanıyor olması gerekiyor. Bu daha ağırlıklı yurtdışı projelerinde kullanılan bir şey; bizim de yurt dışı firmalarımız tarafından kullanılan bir şey. Çünkü oralarda zaten bu *zorunluluk* haline gelmiş durumda. Biz proje yönetim sistemlerinin ancak belli bölümlerini kullanıyoruz, çok aktif kullanmamakla birlikte. Örneğin, proje yönetim sistemlerinin bir DDC [Doküman Kontrol Sistemi] bölümü vardır, uyumsuzlukların takip edildiği bir bölüm vardır – yani Aconex gibi bir yazılım düşünün, bunun üzerinden bütün sistemi, yazışmalar olsun proje arşiv sistemi olsun, bunları yürüttüğünüz düşünün. Biz bunun belli bölümlerini kullanıyoruz, bütün olarak değil.

**SÖ:** Süreçlerin dijital şekilde ilerlediği projelerinizden çıkarmış olduğunuz *'lessons learned'* maddelerini paylaşabilir misiniz?

**R4:** Mesela her şeyin tek tek modellenmesinin gereksiz olduğunu gördüm geçmişteki projelerden. Bazı şeyler iki boyut devam etmeli. Çünkü her şeyin 3D modellenmesi avantaj sağlamayabiliyor. Buna çok fazla adam saat harcamanız da size tam tersine kar yerine zarar veriyor, zarara sebep oluyor. Neleri üç boyutlu yapıp, neleri BIM sistemi üzerinden yönetip, neleri eski sistemle yürütülmesinin kararının verilmesi – *ilk başta* verilmesi çok önemli. Mesela AR'ın kesinlikle inşaat süreçlerinde kullanılması gerektiğini düşünüyorum. Bu çok avantaj sağlıyor. Şantiye ekiplerinin buna adapte edilmesi, bu sistemi kullanabilir hale gelmesi bence çok faydalı olacaktır. Çünkü siz saha ekiplerini bu teknolojilere adapte ettiğiniz zaman gerçekten inanılmaz verim elde ediliyor. Mesela biz bir psikiyatri hastanesi projesinde saha ekibine bir BIM Viewer programını kullanmayı öğretmiştik. Tamamen ücretsiz bir yazılım ve inanılmaz sonuçlar elde ettik. Bizim atlamış olduğumuz ve gözden kaçan bütün tasarımsal sıkıntıları, veya saha imalatındaki problemleri, direk bize saha ekipleri feedback olarak geri verdi mesela. O açıdan çok ciddi avantaj sağladı ve insanların hakikaten işe olan hakimiyetini artırdı.

**SÖ:** Projeye başka ne gibi etkileri oluyor? Risk yönetimi, iş güvenliği – bu açılarda bir faydasını gördünüz mü?

**R4:** Biz şu anda iş güvenliği tarafında bunu çok aktif olarak kullanmıyoruz ama iş güvenliği tarafında kullanıldığında da iş kazalarında çok ciddi azalmalar olduğunu biliyorum yurt dışındaki uygulamalarımızdan. Sürdürülebilirlik anlamında çok önemli. Bunu sadece inşaat aşamasında da düşünmemek lazım. Aynı zamanda oluşturmuş olduğunuz modeller bir arşiv görevi görüyor ve işletmede de aktif olarak kullanılıyor. Yani siz binanın işletmesinden de sorumlusanız, binanın neresinde ne olduğunu çok net bilir hale geliyorsunuz, ki şu an bence en büyük problemlerden birisi budur Türkiye'de. Yani bir *as-built* proje teslimini biz Türkiye'de doğru düzgün yapamıyoruz hala. Yarım yamalak projeler *as-built* proje olarak sunuluyor. Veya *as-built* projede gösterilen ekipmanların yerleri gerçekten yerinde orada değil. Bunun gibi pek çok uyumsuzluklarla karşılaşıyoruz. Bu anlamda BIM modelleri gerçekten kılavuz görevi görüyor. Size o binanın, o yapının bütün hikayesini anlatıyor. Modellerin içinde bulundurduğu bilgilerle birlikte. O açıdan çok ciddi bir avantajı var.

Sadece para olarak bakmamak lazım olaya. Zaman önemli etkenlerden. Bir tanesi de zamanında bir işi bitirmek. Hatta zamanından *önce* bitirmek ve işletmeye açmak, size

o anlamda da para kazandıran bir şey. Şu konuda çok büyük avantaj sağlıyor. Eskiden yapmış olduğumuz çalışmalarda ne yapıyorduk? İki boyutlu çalışma yapıyorduk. İşte onun koordinasyonunu iki boyut üzerinden yapmaya çalışıyorduk. Görebildiğimiz kadarıyla. Bütün metraj çalışmalarında iki boyut üzerinden manuel yapıyorduk. Bir kere tüm sistem BIM üzerinden yürüdüğü için metraj otomatik çıkıyor. Siz tabi ne kadar doğru modellerden. O çok önemli. Metrajları yaptırmak için kullanmış olduğunuz ekibi başka yerlerde değerlendirebiliyorsunuz. Yani teknik ofiste önceden belki beş kişi çalışıyordu, metraj ayağı da olduğu için. Az kadro ile teknik ofisi yönetebiliyor oluyorsunuz. Adam saat anlamında çok ciddi avantaj sağlıyor. Onun dışında iki boyutta gözden kaçan her şeyi üç boyutlu yakalama şansınız var. Çünkü onları net olarak görüyorsunuz. Projedeki sıkıntıları net olarak görebiliyorsunuz. Gözden kaçma riski çok azalıyor. Atlanan detay sayısı çok az oluyor. Ekibin koordineli çalışmasına imkân veriyor . . . Farklı farklı disiplinleri bir araya getirmek çok zordur. Gerçekten zordur. BIM sayesinde insanlar uzakta bile çalışsalar aynı model üzerinden koordine bir şekilde çalışabilir hale geliyorlar. İlla yüz yüze bir toplantı yapmanız gerekmiyor veya yüz yüze bir toplantı yapsanız bile, veya online bir toplantı yapsanız bile, aynı model üzerinden konuşuyorsunuz. Aynı sıkıntıları değerlendiriyorsunuz. Bunlar çok büyük avantajlar

**SÖ:** Deneyimlediğiniz kadarıyla, Türk müteahhitlerinin yurtdışında ve yurtiçinde yaptıkları projeleri dijitalleşme bağlamında kıyaslar mısınız?

**R4:** Yurt dışında tabi ki çok daha yaygın dijitalleşme hatta yaygından ziyade bir zorunluluk olmuş durumda. O nedenle zaten oralarda mecbursunuz bunu kullanmaya. Yani yurt dışında zorunluluktan dolayı zaten her şey projelerde dijitalleşmiş durumda; ama Türkiye'de öyle bir zorunluluğumuz yok. O nedenle bazı projeler hala projeler AutoCAD ile ilerletiliyor. Ama firmalar kendileri için bunu dijitale taşıyorlar. Yani biz, bir proje AutoCAD'de gelse bunun mutlaka 3D modelini oluşturup BIM sistemiyle projeyi yürütüyoruz. Çünkü bu bizim ihtiyacımız ve bu bizim işimizi kolaylaştıran bir şey. Bu bir zorunluluk olmasa bile Ama Türkiye'de bir şey zorunluluk olmadığı zaman ne yazık ki çok yaygın kullanılmıyor. Türkiye'de de şu an BIM ile iş yapan firma sayısı çok fazla değil. Modellemeyi BIM zanneden firmalar var. Ama 3D modelleme tek başına BIM değildir. Bu yavaş yavaş anlaşılmaya başlandı. İlerleyen süreçte daha da yaygın kullanılacak diye düşünüyorum.

**SÖ:** Peki sizin bu teknolojileri kullanmanız da ki ana sebepler nelerdir?

**R4:** Bir kere çok ciddi zamandan tasarruf ediyoruz. Risklerimizi minimize ediyoruz. Çünkü öngörülemeyen hiçbir şey kalmıyor. Modeli ayağa kaldırdığımızda. Her şeyi çok net olarak görüyorsunuz. Her şeyi çok net olarak, görselleştirilmiş olarak görebiliyorsunuz. Süreçlerinizi o model üzerinden yönetebiliyorsunuz ve ayrıca koordinasyon anlamında çok ciddi bir avantaj sağlıyor. O anlamda bir kere süreden çok ciddi avantaj sağlıyor. Proje süresi konvansiyonel sisteme göre, yani Autocad'le yapılan sisteme göre daha uzun, ama saha imalat süresi çok ciddi anlamda kısalıyor. Çünkü sahaya imalata girerken bütün problemleri çözmüş olarak imalata gidiyor. Geriye dönüşler *çok ciddi* anlamda azalıyor. Bu açılarından çok avantaj sağlıyor.

**SÖ:** Bu teknolojileri daha sık kullanmanızdaki engellerden bahsedebilir misiniz?

**R4:** Daha önce de bahsettiğim gibi ne yazık ki bu teknolojileri çok fazlasıyla bulamıyoruz. Çünkü ülke şartlarını da dikkate almak gerekiyor. Siz bu teknolojileri

kullansanız bile bunun karşılığını bulacak, karşı tarafta muhatap bulmanız lazım. Her şeyi 'internal' yapma şansınız olmadığı için ancak belirli bölümlerini bu teknolojileri kullanabiliyoruz. BIM, VR gibi teknolojiler kullanıyoruz. Yani biz bu işi en iyi yapan firmalardan biri olmamıza rağmen daha 6D ve 7D aşamasına geçebilmiş değiliz. Şimdi biz mesela projeleri dışarıya taşere ediyoruz. Proje müellifleri oluyor modellerimizde projelerimizde– inanın 3D proje üreten firma sayısı çok kısıtlı. Herkes ürettiğini iddia ediyor ama Hakikaten bu işi hakkıyla ve bilerek yapan firma sayısı çok fazla değil. O anlamda bu teknolojiyi öyle çok, belki de sizin hayal ettiğiniz detayda kullanamıyoruz.

**SÖ:** Anladım. Peki bu kontekste kullandığınız teknolojiler ne derecede işverenin isteklerine bağlı oluyor?

**R4:** İşveren bunu zorunlu hale getirirse siz o işi almak için bunu mecbur yapacaksınız. Arz talep olayı. Karşı tarafı bunu istedikçe siz bu konuda mecburen kendini geliştirmek zorunda kalacaksınız. Siz bunu talep ettikçe *alt taşeronlar* bunu yapmak zorunda kalacaklar. Bu bir zincirleme reaksiyon. Bu tamamen taleple ilgili: talep olmazsa karşı tarafta bunun karşılığında alamıyorsunuz. Veya şöyle bir şey oluyor, iki boyutta çalışan firma size iki lira fiyat veriyorsa, üç boyutlu çalışmasını istediğinizde bu fiyat 10 liraya çıkıyor. Yani bunun gibi sıkıntılar da var. Maliyetleri de çok artırıyor teknoloji kullanmaya kalktığımız zaman. O nedenle biz bunun yolu tamamen kendi içimizde ihtiyaçlarımız doğrultusunda kullanmakta bulduk. Ama mesela AR veya VR zorunluluk olmadığı için çok aktif kullanmıyoruz. İhtiyaç duyduğumuz noktalarda kullanıyoruz. Ama zorunluluk olursa sürekli kullanacağız. Tüm projelerimizde doğru kullanmakla yükümlü olacağız.

**SÖ:** Farklı departmanlar veya taraflar arasında bu teknolojilerin kullanım seviyesinde farklar gözlemliyor musunuz?

**R4:** Bir kere saha ekipleri teknolojiye biraz daha uzak. Sahada çünkü teknoloji anlamında kalifiye eleman sayısı, uzmanlaşmış eleman sayısı oldukça azdır. Özellikle Endüstri 4.0 konularında kalifiye eleman bulmak zaten çok zor Türkiye’de. Genel bu tarzda çalışan ekipler sahalarda değil merkez ofislerde çalışıyor veya teknoloji firmalarında çalışıyor.

Onun dışında merkez ofiste de ağırlıklı olarak design ofis ve BIM ekipleri bu teknolojileri kullanıyor. Onun dışında geri kalan teknik olursa olsun satın alma ekipleri olsun vesaire diğer ekipler olsun çok fazla teknolojik çözümlerle ilgili çalışmalar yapmıyorlar. Çünkü onlar teknolojik çalışmaların ürünlerinden  *faydalanan* ekipler. Yani [ses kesintisi] almış olduğunuz metrajı teknik ofis ile paylaşıyorsunuz, mesela satın alma ile paylaşıyorsunuz. Bu tarz ekiplerin zaten bu teknolojiler ile işi yok çünkü onların işi sizin bu teknolojilerden üretmiş olduğunuz ürünlerle ilgili.

**SÖ:** Anladım. Zorunluluktan bahsettiniz– sizce zorunluluk olmaması dışında, Türkiye’deki inşaat projelerinin dijitalleşmelerindeki engeller neler?

**R4:** İnsanlar sistemi değiştirme konusunda müthiş bir direnç gösteriyorlar. En büyük etkenlerden birisi bu. Bir de kalifiye eleman sıkıntısı. Çünkü bu konuda gerçekten eleman bulmakta da çok zorlanıyoruz. BIM konusunda özellikle. BIM’e hâkim olabilmek için saha tarafına da hâkim olmak çok önemli. Süreçleri aktif olarak yürütmek adına. Onun için de yetişmiş ve kalifiye eleman bulma sıkıntısı var. Eğitimler çok pahalı. Dolar ve Euro üzerinden ağırlıklı eğitimler. Onlar tabi ki

insanları zorluyor. Yazılımlar çok pahalı, Dolar ve Euro'ya endeksli olduğu için. Bunlar da firmaların bu BIM geçişine ilgili sıkıntılarını körükleyen bir şey. Küçük ölçekli firmaların BIM'e geçişi özellikle bu maddi sebeplerden dolayı çok sorun oluyor. Ama en büyük etken kesinlikle insanların değişime açık olmaması bence.

**SÖ:** Bu direnci en fazla kimler sergiliyor?

**R4:** Özellikle belli bir yaş üstündeki yöneticilerden– çünkü bir kaygı ortaya çıkıyor. Yeni bir sistem. Hiç bilmedikleri bir sistem. Bilmedikleri bir şeyde kontrolü kaybetmek korkusu olduğu için direnç gösteriyorlar. Elleriindeki gücü kaybetmek istemiyorlar. Bundan dolayı yeni bir sisteme geçişle ilgili müthiş bir direnç gösteriyorlar.

**SÖ:** İleri seviyede BIM ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinde hangi kurumların desteğine ihtiyacımız var? Engelleri aşmak için hangi adımların atılması gerekiyor?

**R4:** Bir kere kamunun bu işi destekliyor olması çok önemli. Kamu bu işi desteklediği ve zorunlu hale getirdiği noktada müthiş bir dönüşüm olacak, ki bunun adımları atılmaya başlandı BIM anlamında. Ama 6D ve 7D'ye gelene kadar daha çok yolumuz var. Biz daha BIM'in başındayız ülke olarak. Ona gelinceye kadar biraz daha BIM konusunda eğitilmemiz ve yetişmemiz gerekiyor. Kamu da bunun adımlarını attı. Çok hızlı bir şekilde bu süreci zorunlu hale getirmekle ilgili çalışmalar yapmaya başladılar.

Atılması gereken adımlara gelince– bir kere ben bunu her zaman söylüyorum– zorunluluk haline getireceksiniz. Aynen belki İngiltere'de olduğu gibi belirli metrekarelerin üzerindeki projelerle başlatabilirsiniz. Sonrası tüm kamu projelerinde zorunlu hale getirilir. Belediye onay süreçlerini BIM modelleri üzerinden yapabilirsiniz Singapur'da olduğu gibi. Onayları bu şekilde yürütürseniz zaten insanlar ister istemez teslimlerini BIM modelleri üzerinden yapmak zorunda kalacakları için BIM'e geçiş yapacaklar.

**SÖ:** Türk inşaat sektörünün geleceğini nasıl görüyorsunuz?

**R4:** Kesinlikle gidişat çok iyi. Özellikle bu BIM adaptasyon süreci çok hızlı ilerliyor. Kamu da bu işi çok ciddi anlamda desteklemeye başladı. Bu da çok sevindirici. İlerleyen süreçte bu işi kesinlikle daha teknoloji ağırlıklı ve daha profesyonel yapılar hale geleceğiz diye düşünüyorum. Ve bütün firmaların bu adaptasyon süreci de zorunlulukla birlikte çok ciddi anlamda hızlanacak. Ben iki üç seneye kadar çok farklı bir noktaya gideceğimize eminim. O anlamda. Endüstri 4.0'a tamamlama anlamında hala çok yolumuz var ama adımlar atılmaya başlandı. Bu sevindirici tabii.

## Interview #5

### Respondent 5, Planning and Control Manager

23.04.2021 18:00

---

**Sera Özkıvanç:** Projeyi anlatabilir misiniz?

**Respondent 5:** Bizim Konya’da bir güneş enerji santrali projemiz var. Burada 3 boyutlu modelle iş programına entegre edip, 4 boyutlu model üzerine cost'u ekleyip, 5 boyutlu planlamayı gerçekleştirdik. Bir de bunun dışında bir gerçeklik modeli diye bir kavram var, onu da kullandık. Nasıl oluyor? Aşama aşama gittiğimizde, ilk önce 3 boyutlu renkli oluşan modelle iş programı– Primavera’da hazırlanan iş programı. SYNCHRO diye bir yazılım var, Bentley sistemi. Bununla entegre edildi. Sonraki aşamada, 4 boyutlu planlamanın üzerinde bizim gerçeklik modeli dediğimiz, drone ile arazinin belirli yükseklikten yüzlerce fotoğrafı çekiliyor ve bu *Context Capture*– Bentley’in yine bir yazılımı– *Context Capture* ile gerçeklik modeli oluşturuluyor. Bu da BIM modellerle entegre bir takip sistemi. Aslında çok boyutlu bir dijital proje yönetim sistemi.

Arazi olarak dört milyon metrekarelik bir alandan bahsediyoruz. Kabaca baktığımızda 2’ye 2 kilometre gibi bir alan. Burada Güneş enerji santrali kurulumu yapılıyor. Paneller var, bunların tamamının 3 boyutlu modellemesi yapıldı. Daha sonra Primavera ile hazırlanan iş programı. SYNCRHO’da 3 boyutlu modelle Primavera, SYNCHRO programı aracılığıyla 4 boyutlu planlama üretildi. Sonraki aşamadaysa, arazinin gerçeklik model oluşturuldu. Gerçeklik modeli de şu: belirli ölçekte fotogrametrik modelleme, bizim tercih ettiğimiz yöntem. Bir lazerle tarama, bir de fotogrametrik modelleme var; bunun hybrid kullanıldığı projeler de var. Bu projede arazinin belirli yüksekliklerden yüzlerce fotoğrafı birleştirilerek, gerçeklik modeli oluşturuldu. Böyle bir takip sistemi.

**SÖ:** Gerçeklik modeli, ‘digital twin’ mi yoksa farklı birşey mi?

**R5:** Aslında ‘digital twin’ gibi yani gerçeklik modeli. Fotogrametrik gerçeklik modelleme . . . Gerçeklik modelle BIM modeli çakıştırıyor ve de simülasyon yapıyor. Yani işin ilerleyiş sekansını görüyorsunuz.

**SÖ:** Ne tür simülasyonlar yapıyorsunuz?

**R5:** İş programının simülasyonu. İş programının sahaya göre ilerlemesi.

**SÖ:** Drone ile fotogrametrik modellemeyi tercih etmenizin sebebi neydi?

**R5:** Şimdi arazi çok geniş. Yani bahsettiğimiz alan aslında tamamında, tüm fazlar bittiğinde, 20 milyon metrekare. Yani 20 milyon metrekare demek, yaklaşık bir ucu 4 kilometre, diğer ucu 5 kilometre olan bir alanı düşünebilirsiniz. Yani çok geniş bir alan. Arazi tabii çok geniş olunca drone tercih ettik. Bunu insan yöntemiyle gidip manuel ölçmek yerine doğrudan drone’u uçuruyorsunuz, drone arazinin gerçeklik modelini oluşturuyor. Yapılan imalatları direkt drone ile takip edebiliyorsunuz. Böyle bir avantaj sağlıyor. Yani oradaki insan faktörünü aradan çıkarıyor. Doğrudan model üzerinden hangi panel imalatı yapılmış, hangisinde gecikme var. BIM modelle iş programını entegre edince bunu görebiliyorsunuz.

**SÖ:** Peki bu yapay zekâ ve makine öğrenmesi kullanımları aynı projede mi gerçekleşti?



**R5:** Evet, [birlikte çalıştığımız üniversite] ile bu drone ölçümünü yapıyoruz. Hangi panel montajı yapıldığını. Makine öğrenmesi ile ilerlemenin otonom aktarılması. Biz şu an onu manuel yapıyoruz ama bu çalışmayla bu fotoğraflardan ya da modelden ilgili paneli tanıyacak ve otomatik aktaracak modele. Böyle bir çalışma var üniversiteyle yürüttüğümüz. Onda da makine öğrenmesini kullanıyoruz. VR tarafında da HoloLens 2 ile gerçeklik modeline bunun digital twin'ini oluşturup takip etmek. Bir hologram teknolojisi kullanıyoruz– HoloLens yatırımı yaptık şirket olarak. Şimdi bizim modeli bulut ortamına taşıyıp onu içerisinde herhangi bir yerde tutup bıraktığımızda, doğrudan bunu hologram olarak karşınızda gösterecek bir teknoloji.

**SÖ:** Bunların projeye maliyet, planlama, proje yönetimi, kalite veya güvenlik veya bahsetmek istediğiniz başka herhangi bir açıdan olan etkilerinden bahsedebilir misiniz?

**R5:** Tabii bu teknoloji, yani böyle bir çalışmayı Türkiye'de ve dünyada böyle bütünlük yapan proje sayısı sınırlı. O yüzden biz aslında bu tür teknolojileri bir taraftan hem tanımaya çalışıyoruz, daha aktif nasıl kullanırız diye. Özellikle bu teknolojiler iş sağlığı güvenliği ile ilgili simülasyonların yapılması, ondan sonra proje koordinasyonunu artırmaya yönelik çok büyük etkisi olacağını düşünüyoruz. Biz tabii özellikle mesela bu bahsettiğim alan çok geniş bir alan ve Konya'nın çok ücra, çöl diyebileceğimiz bir alanda. Şimdi patronun ya da üst yönetimin buraya erişimi çok kolay olmayabilir ama bizim hazırladığımız video raporlarla, patron hiç sahaya gitmeden projenin hangi aşamada olduğunu görebiliyor. Bu patron açısından çok ciddi bir avantaj. Şimdi biz bir de bunu HoloLens ile göstereceğiz, yani hologramını. Bir gözlük takacaksınız, oturduğunuz yerde projenin içerisinde bu gerçeklik modeli üzerinde Konya'daymışsınız gibi bunu tecrübe edebiliyor olacaksınız. Orada da belirli bir aşamaya geldik. Tabii model çok yüklü bizim bu alan da çok geniş olunca. Onun için de Amerika'dan destek alıyoruz Bentley'den. Bir iki hafta içerisinde artık burada birebir yansıtıyor olacağız. Şu an daha düşük bir ölçek üzerinden, belirli bir alanda bu görselleştirmeyi yapıyoruz. Şimdi tamamını, tüm güneş enerji santrali, o tarlanın, bu güneş enerjisi tarlası, bunu tecrübe etme şansını yakalayacağız. Bu, özellikle koordinasyon, projenin ilerlemenin takibi... Artı bunu şimdi yeni başlayacak projelerimizde de hastane, metro, burada da aktif kullanmak istiyoruz. [Ses kesintisi] Proje üzerinden daha iyi algılanamayacak konuları daha böyle görsel, drone ile videosunu ve gerçeklik modelini açıp burada bir tartışma ortamı oluşturacak. Bir taraftan tabii İSG ile ilgili risk analizi yapma şansımız olacak. Kule vinç yerleşiminden tutun, ondan sonra riskli bölgeler nereler, ya da iş makinelerinin güzergahı nasıl olacak? Yani bunların hepsi daha somut. Proje, iki boyutlu çizim üzerinden değil de, gerçeklik model üzerinden tartışabilir hale gelecek. Resime daha yukarıdan bakma imkânı doğacak.

Bu bağlamda maliyet avantajı açısından da bunun çıktılarını birazcık zamanla görmek lazım. Yani bu ilk deneme projemiz. Maliyet etkisini direk buradan tartamıyoruz. Burada en büyük etkisi bize *progress* takibi, ilerleme takibi– aslında zaman faktörü. Yani ben buradaki gecikmenin, panel üretimindeki– paneli de biz üretiyoruz, güneş enerjisi panellerini. Burada maliyet etkisini ölçmek bu etapta biraz zor görünüyor. Ama tabii genel kabullerde bu tür teknolojilerin yüzde 20 civarında, özellikle süre, işletme, bu anlamda yüzde 20-30 civarında bir katma değerinin olduğu, böyle bir kabul var. Ama bizim bunu parametrik ölçtüğümüz bir sistem şu an henüz yok. İlerleyen aşamalarda bu tür çalışmalar da yapılabilir.

Avantaj olarak bir kere arazi çok geniş bir yerde. Ben İstanbul'dan Konya'ya gitmeden oradaymışım gibi projeyi yönetebiliyorum. O ciddi bir kazanım. Bir taraftan özellikle bu HoloLens hologram teknolojisi geleceğin teknolojisi. O anlamda çok ciddi fırsatlar olduğunu da biz bu çalışmayla görmüş olduk. Ve bu konuda da aslında dünyada böyle çok yapılan çalışma kısıtlı, o anlamda ciddi bir fırsat var. Yani insanlar lokasyon gözetmeksizin, doğrudan bu tür teknolojileri kullanarak oradaymış gibi sorunları çözebilir hale gelecek. Yani belki de proje yönetim maliyetleri bağlamında ciddi anlamda düşürür. Belki daha az, kısıtlı kadro ama daha çok teknoloji ve karar destek sistemlerin olduğu bir yapıya doğru gidilebilir. Ve gün sonunda tüm dünyada bu tür teknolojilere olan ilgi çok sıcak ama çok fazla yapılmış çalışma da yok. Bizim bu yaptığımız çalışma gibi böyle bütünleşik kullanan... Açık konuşmak gerekirse, buna benzer çalışmalar vardır diye düşünüyordum ama çok sınırlı. Bu anlamda da çok fırsatlar var.

**SÖ:** Bu teknolojilerin herhangi bir dezavantajını deneyimlediniz mi? Veya yaşadığınız zorluklar oldu mu?

**R5:** Şöyle yani dezavantajı aslında. Tabi biraz önyargı ile yaklaşıyor insanlar. Şartlar böyle '*conservative*' bir yönetim ve takip sistemi olduğu için inşaat sektöründe tabi önyargı oluyor. Hani bunların gerçekten ne gibi fayda sağlayacağı ama çıktıkları gördüğünde insanlar ve bahsettiğim işlevi görüp uygulaması gibi. Ama bunları çıktıya dönüştürdüğünüz zaman bu algı değişiyor. Bir taraftan dezavantajları demeyeyim de zorluklarından bahsedeyim. Zorluk tarafında bu teknolojileri kullanan yetişmiş kalifiye personel pek yok. Bunları alıp sizin kendiniz yetiştirmeniz gerekiyor ve ilk yatırım maliyeti birazcık insanların gözünü korkutuyor. Baktığımız zaman bir drone yatırımı ya da bir yazılım alıyorsunuz. Bunun hızlı geri dönüşü ile ilgili bir tabi bir önyargı oluyor. Bu tabi projenin başlangıç aşamasında yönetime kabul ettirmede bir dezavantaj. Ama bir işi aksatma ya da böyle çok işin önünü tıkama gibi bir şeyi olmuyor; bunlar, bahsettiğim drone eğitimini verdiğimiz arkadaşlar yine proje bünyesindeki harita mühendisleri. Harita mühendislerine ilaveten bu yazılımı kullanmasına, drone pilotaj eğitimini aldırıp doğrudan onlar üzerinden bu sistemi işletebiliyoruz. Tabi bir öğrenme ve bir tecrübe süresi oluyor ve bu tür çalışmalar hem dünyada hem Türkiye'de sınırlı olduğu için, bunun gelişimi ile ilgili birazcık sizin daha inatçı olmanız lazım. O anlamda bu tür zorluklar oluyor.

**SÖ:** Anladım. Ben de yatırım, eğitim ve adaptasyon süreciyle ilgili birkaç soru soracaktım, o konuya girmiş olduk. Bu teknolojilerin kullanım seviyesinde farklar gözlemlediniz mi? Herkes adaptasyon sağlayabildi mi?

**R5:** Adaptasyon tarafından... Tabi daha çok bu tür teknolojileri daha böyle yeni nesil, genç arkadaşlar çok daha ilgili. Biz de onlarla yola çıktık. O yüzden onların adapte olması çok hızlı oldu. Hiç drone kullanmayan arkadaşlara drone eğitimi aldırarak, çok hızlı bir şekilde öğrendiler. Bu yazılımı hiç kullanmamış arkadaşlara bunun eğitimini aldırarak, çok hızlı bir şekilde öğrendiler. O anlamda, özellikle yeni nesil bu teknolojilere çok ilgili olduğu için, onun da avantajıyla çok hızlı implemente ettik. Yani böyle bir projeyi iki buçuk üç ayda ayağa kaldırdık. Modellemesinden tutun eğitimlerine. O anlamda adaptasyon çok problem olmadı. Tabi şantiyede bu tür bizimki daha böyle görsel ve çıktıya dayalı şeyler olduğu için, yani somut görebildiği için, onlar da bunu çok benimsedi. Yani toplantılar bunun üzerinden yapıldı. Tabi bir de bu çalışma Fast Company'nin En İnovatif Şirketler değerlendirmesinde de ödül aldı. Bu anlamda insanlar açısından da motivasyon oldu. Yani bu teknolojiyle herkes

ilgili ama nasıl başlayacağını bilmiyor. Bu tür girişimler de aslında bunları cesaretlendiriyor. O anlamda adaptasyon, eğitim, yani çok ciddi sorunlarımız olmadı.

Bir de tabii şey de önemli, firma üst yönetiminin bu konudaki yaklaşımı çok önemli. Üst yönetim bu konuda cesaretlendirici ve teşvik edici yönde olduğu için, biz hızlı ilerledik. Normalde daha geleneksel yöntemlere alışmış, birkaç önceki jenerasyonlar bu konularda daha tutucu. Bu ne gibi avantajlar sağlayacak gibi soru işaretleri varken, daha genç neslin, bu tür teknolojileri iyi kullanan, bizim doğrudan üst yönetimimiz bu anlamda daha farkında olduğu için çok hızlı adımlar attık. O yüzden üst yönetimin bu konudaki yaklaşımı çok önemli. Onu vurgulamamda fayda var. Onun dışında şantiye bu tür yeniliklere sıcak bakıyor. Yani o anlamda çok ciddi bir direnç olmadı diyebilirim.

**SÖ:** Anladım, teşekkür ederim. Big Data ve yapay zekâ kullanımlarınız ile de ilgili bilgi verebilir misiniz?

**R5:** Bizim Big Data ile ilgili onlarca projemiz var. Onlarca projede binlerce data oluşuyor. Biz bu dataları SAP– kurumsal kaynak planlama yazılımı– bunu kullanıyoruz ve burada birçok farklı, satın alma olsun, sözleşme hakediş süreçleri olsun, stok hareketleri olsun, muhasebe olsun, insan kaynakları olsun... SAP veri girişimde bulunuyor. Ve biz de bunu, SAP Analytic Cloud diye bir ürün var, orada patronlarımıza haftalık bazda buradan karar destek süreçlerini, yönetim sistemleri kurduk. Dashboard'lar tasarladık ve burada hem haftalık hem aylık bazda tüm projelere ait ilerleme, bütçeye göre planlanan gerçekleşen mukayeseleri, ya da adam sayılarından tutun fiziksel ilerleme performansları. Ve bunları raporlar hale geldi. Bunu da tabii yapabilmekteki en büyük avantajımız, birçok veri SAP'de. Bizim veri ambarında toplandı ve bunlar akıllı raporlarla, dashboard'lar ile, üst yönetime raporlanmış oldu. Tabii bunu yapabilmek için birçok veri kaynağından beslenen bir sistematığın olması lazım. Bunun da yöntemi ERP'ler ve proje yönetim yazılımları. Bizim tarafta avantajlı olduğumuz SAP olduğu için çoğu projemizde, bu sistematığı oluşturduk. Bu anlamda yönetime karar destek mekanizmaları kurmaya çalışıyoruz, Kurduk. Devam ediyor bu çalışmalar.

**SÖ:** SAP'nin yapay zekâ özelliğinden faydalanıyor musunuz?

**R5:** SAP Analytic Cloud'un bir planlama özelliği var. Geçmiş performanstan geleceğe yönelik öngörü yapabiliyor. Ama bunu çok aktif kullanmıyoruz şu an. Kısmi kullanıyoruz. SAP tarafında daha çok karar destek mekanizmaları kurup, projeksiyon tarafında biraz başlangıç aşamasındayız. Yapay zekayla ilgili çok somut çıktılar daha tam ortaya koymadık ama sistemleri kurduk ilk etapta. Önemli olan veri oluşturup, veri toplamak. Daha sonra bunları çıktılara dönüştürmek. Şu anki aşaması aslında biraz daha yapay zekayı kullanıp risklerle ilgili 'alert' mekanizmaları kurmak. O alanda da çalışmalar devam ediyor.

Yani [firmamız] böyle büyük projelere, büyük yatırımları yönetmenin başka bir platformu yok, onun farkında olduğu için SAP'ye ciddi bir yatırım yaptık. Kendi içimizde de doğrudan SAO uzmanlarımızın olduğu bir departmanımız var. SAP'nin de bir sürü modülünü kullanıyoruz. Tabii bunları yapabilen çok inşaat firması yok. Biz de o anlamda bunu efektif kullanan Türkiye'de sayılı firmalardan diyebilirim.

**SÖ:** Bu teknolojilerin kullanıldığı projelerden dijitalleşme bağlamında bazı 'lessons learned' maddeleri paylaşabilir misiniz?

**R5:** Bunu kullandığımız birkaç tane proje var. Onlar da daha uygulama aşamasında. Onu tam söyleyebilmek için projeyi bitirmiş olmak lazım. Mesela Konya'daki proje 2023 yılında bitecek; 2023 yılında daha detaylı yorumlayabiliriz. Şu an projeyi yaşıyoruz. Şu an bir şey söylemem çok erken oluyor. Bu projeyi bitirmiş olmak lazım anlatmak için. Zaten bu tür teknolojileri kullanıp da, özellikle inşaat üzerindeki projeler, daha böyle uzun vadeli en az iki üç senelik projeler olduğu için, bu tür konularda geri bildirim alabileceğiniz proje ve uygulama da sınırlıdır. Belki iki üç seneye mümkün olabilir. Şu an insanlar bunu deneyimlemeye çalışıyor, tecrübe ediyor, uygulamaya çalışıyor. Çıktı anlamında projeye olan etkisini tartmanın biraz zaman alacağını düşünüyorum.

**SÖ:** Ankette firmanızın yurtdışı projeleri de olduğunu belirttiniz. Türk inşaat firmalarının yurt dışında ve yurt içinde yaptıkları projeleri dijitalleşme bağlamında kıyaslar mısınız?

**R5:** Yurtdışında özellikle doküman yönetim sistemi, planlama ile ilgili kullanılan yazılımlar, artı çalıştığımız coğrafyaya göre... Amerika veya Avrupa'da daha aktif kullanılıyor. Ama Türkiye'de de bu konuda çok geride değiliz. Bu konuda yapılmış güzel çalışmalar var aslında BIM tarafında. Şimdi son dönemde Ulaştırma Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu BIM standartları geldi. Artık işi nasıl İngiltere'de kamu projelerinde BIM'i zorunlu hale getiriyorsa, Türkiye'de de yavaş yavaş bu dönüşüm sağlanacak. Yani biz de o konuda fena değiliz ama mesela Dubai'de veya Katar'da veya Abu Dabi'de bu teknolojileri adamlar direk şartnameye ekliyor. Yani kullanacağımız doküman yönetim sisteminden tutun, iş programı yazılımı ya da BIM tabanlı olması. Bunlar tabi daha katı ve bu konuda ciddi bir insan kaynağı var, projelerde istihdam edilen. Türkiye'de maalesef bu aşamada değiliz. Türkiye'de böyle bu teknolojileri ve dijitalleşmeyi inşaat sektöründe kullanan sayılı firmalar var, sayılı projeler var. Yani nispeten biraz daha geride diyebiliriz ama bu farkındalık çok hızlı bir şekilde artıyor. İstanbul Büyükşehir Belediyesi mesela BIM tabanlı takip sistemiyle ilgili artık şartnamelerine bir madde istiyor. Ulaştırma Bakanlığı ekletti. Ama yurt dışına göre biraz daha gerideyiz...

Tabi hangi coğrafya ile mukayese ettiğimiz ile de ilgili. Belki Rusya'ya göre veya Kuzey Afrika'ya göre iyiyiz ama bu işi profesyonel yapan, Amerika veya İngilizler veya İtalyanlar—onlarda çok daha içselleştirilmiş durumda. Ama bizde de bu konudaki merak, oluşumlar var. Üniversiteler bu konuda artık müfredatına bu tür eğitimleri koyuyor. Ama dijitalleşme tarafında ben o makası çok hızlı kapatabileceğimizi düşünüyorum. Ama bahsettiğim ülkelerdeki firmalara göre, o segmentteki firmalara göre yeterli seviyede değiliz. Hala doküman yönetim sistemi ile ilgili, proje takibi olsun, daha manuel yöntemler tercih ediyor. Ama kısa sürede açığın giderileceğini düşünüyorum.

**SÖ:** Sizce Endüstri 4 0 teknolojilerinin benimsenmesinde hangi kurumların desteğine ihtiyacımız var? Engelleri aşmak için hangi adımların atılması gerekiyor?

**R5:** Burada en büyük etken devlet. Devlet ve kamu özellikle projelerinde, yani yaptığı işlerde şartnamede bu tür teknolojilerin kullanılmasını teşvik etmesi. Artı bu tür teknolojilere karşı yapılan yatırımlara maddi teşvikte bulunması en büyük etkenlerden bir tanesi. Çünkü inşaat üzerinde düşününce, biz daha işi geleneksel yöntemlerle yönettiğimizden, bu konuda biz aynı müteahhit firma Türkiye'deki işinde bu sistemleri, özellikle dijitalleşmeyi daha farklı kullanırken, gidiyor yurtdışında iş alıyor – atıyorum Dubai'de, Abu Dabi'de – oradaki iş yapış şekli daha farklı oluyor. Yani orada gidiyor bu tür yatırımları yapıyor. Neden? Çünkü bu konuda devlet veya işveren,

müşavir, mühendis... bu konuda daha beklentisi yüksek. O yüzden o beklentiyi karşılamak için yurtdışında böyle çalışıyor ama Türkiye'de dönüyor, kendi yöntemleriyle çalışıyor. Burada tabii biraz devletin şartnamelerde, Özellikle *kamunun* yaptığı işlerde bunu zorunluluk haline getirmesi, dijitalleşmenin daha aktif kullanılması. Bizde Endüstri 4.0'la ilgili en büyük geçiş etkeni BIM. Yani bu geçişte projelerde BIM'i ne kadar yaygın kullanırsak bu tür teknolojilere daha hızlı adapte olacağız.

Tabii bir taraftan da inşaat, bir endüstri sektöründeki gibi ya da üretim sektöründeki gibi, o robotların kullanıldığı, insan faktörlerden—bu tür mekanizma biraz zor. Bununla ilgili inşaatın doğasından kaynaklanan zorluklar var. Ama 3D yazıcılar olsun daha modüler yapıları olsun, bu tür kullanımlar zamanla artacak. Böyle bir eğilim var. Ama burada bu regülasyonu yapacak ilgili bakanlıklar, kamu. Burada belirli seviyeye çekecek yapı ve destek onlardan gelmeli. Hatta biraz bunun zorunluluk olması gerektiğini düşünüyorum. Bazı projelerde, “bu tür imalatlarda veya projelerde bu teknolojiler kullanılmalıdır” ya da “ARGE olmalıdır” gibi kamunun bizi yönlendiriyor olması önemli.

**SÖ:** Sizi bu teknolojileri kullanmaya motive eden unsur ne oldu? Hangi faktörler sizi bir yurtiçi projesinde bu şekilde çalışmaya itti?

**R5:** Alan çok geniş bir alan. Bahsettiğimiz 20 milyon metrekaresi, yani büyük resmi görebilmek için drone'u kullanmak çok önemli. Bir de fotogrametrik modelleme lazer tarama teknolojisine göre daha ekonomik. Aslında yaptığımız iş, drone ile yüzlerce fotoğraf çekmek belirli yükseklikten. Basit bir çözüm yani. Maliyeti bir çözüm değil lazer teknolojisine göre. (...) Bir zorunluluk yok ama biz bu takip sistemini orada kuruyoruz. Kendi ilave bu yatırıma katlanıyoruz çünkü biz firma olarak hem geleceğin burada olduğunu hem de bu teknolojinin katma değerinin farkındayız. Ve ne kadar erken bu süreçleri kendi iş süreçlerimize dahil edebilirsek, o kadar daha önde olacağımızı düşünüyoruz. O yüzden mesela bahsettiğim Trabzon'da böyle bir zorunluluğumuz yok ama biz böyle bir şeye giriştik. Gelecek bu yönde, onun farkındayız.

**SÖ:** Aynı soruyu Big Data ve SAP çalışmalarınız için de sormak istiyorum.

**R5:** Şirket içerisindeki profesyonel kadroların bu konudaki eğilimi çok önemli. Özellikle şirket içerisindeki üst yönetimde ve yönetimde teknolojiye yakın, teknoloji aktif kullanmak isteyen profilin olması buradaki yapılacak çalışmalarda insanları cesaretlendiriyor. Bizim şirket özelinde [patronumuz], inşaat yönetim kurulu üyesi ve inşaat grubuna bağlı, bu tür teknolojileri zaten gündelik hayatında kullanmak isteyen ve uluslararası gelişmeleri takip eden, buradaki trend'i görebilen vizyoner bir lider olduğu için böyle bir teşvik var çalışanlara karşı. Tabii bunu da yapabilecek profesyonel ekibin olması önemli. Örneğin bizim kendi çalışmamızı doğrudan Planlama Kontrol Grubu olarak tasarladık. Bu uygulamaya geçirdik. Biraz da burada fonksiyon grup yöneticilerinin bu konudaki yetkinliği ve teknolojiye olan yaklaşım. Örneğin ben doğrudan burada ısrarcı olup projeyi üretmesem, drone ile ilgili bu teknoloji ve takip sistemi bünyemizde olmayacaktı. Yani ben bu fikri çıkardım, yönetim bunu destekledi, artı tam destek bu alanda yürümemizi sağladı. SAP tarafından bahsedecek olursak, o da yönetimin bu konudaki vizyonu çok önemli. Yani yönetim onlarca projesinde yüzlerce datayı yönetebilecek mekanizmanın SAP olduğunu kararı veriyor. Bunu görüyor. Zaten yurtdışında bunun kullanımını görüyor, buralarda çalışmış, buradaki firmalarla birebir iletişim kurmuş görmüş.

Bizim dijitalleşme tarafında da Ar-Ge çalışmalarıyla ilgili süreçlerini 'lead' eden bir [danışmanımız] var. Yani doğrudan spesifik, tamamen işinin bu olduğu bir kadro var. Bu tabii önemli. Bu tür fikirleri gerçekleştirmek için önce bu fikirlerin oluşması lazım. Bunun için de bu tür personellere istihdam sağlanıyor olması, değer veriliyor olması, çalıştırılıyor olması lazım.

**SÖ:** Türk inşaat sektörünün geleceğinin ne şekilde görüyorsunuz?

**R5:** Ben 2007 yılında mezun oldum ve iş hayatına başladım. Bu bir jenerasyon meselesi. Yani biz işi devraldığımızda, işe başladığımızdaki yöneticiler... yani hayatında bilgisayar notebook açmamış insanlar vardı. Bilgisayarlar olmadan, tamamen kâğıt kalem ile proje üzerinden çalışan bir profil vardı. Şimdi biz geldik, biz biraz daha bu standartları, dijitalleşmeyi, ayak uydurmayı fark ediyorsun. Bizden sonraki jenerasyon *çok* daha bu tür teknolojileri kullanıyor. O anlamda ben bunu biraz şöyle ilişkilendiriyorum, Yani Türkiye inşaat sektöründe de genç, vizyoner, teknolojiyi iyi aktif kullanan çalışanlar, profesyoneller görev aldıkça buradaki ivme çok daha hızlanacak. O yüzden özellikle 2015'ten itibaren yeni mezunlar bu konuda hem dünyadaki gelişmeler olsun hem de artık teknoloji bizim için çok daha rahat erişebildiğimiz bir şey. Bizim zamanımızda notebook bile lüksken, şimdi çocuklarda bile notebook var. Bu anlamda gelişim çok hızlı oluyor. Özellikle Z kuşağının buradaki makası çok hızlı kapatacağını düşünüyorum. O anlamda inşaat sektöründeki profesyonel yöneticiler ne kadar gençleşir ve karar alacak konuma gelirse, bu süreç o kadar hızlanır. Dünya da bu şekilde gidiyor. Artık şartnameler de zorunlu hale geliyor. Ben şimdi HoloLens'ten bahsettim. Belki 10 yıl sonra bu da zorunlu hale gelecek. Bu hologram teknolojisiyle bu süreçleri yönetmek. Artı SAP ERP programını kullanıyor olmak zorunlu hale gelecek. Ama bunun çok uzakta olmadığını düşünüyorum. Yani önümüzdeki 5 yıl içerisinde, özellikle inşaat sektöründe, bu anlamda farkındalık çok daha ivmeli bir şekilde artacak. Ama hiçbir zaman üretim sektörünü yakalama şansımız yok çünkü en büyük faktör insan ve bizdeki projelerde eğitim seviyesi daha kısıtlı bir iş gücüyle çalıştığımız için bunu değiştirmek kısa vadede çok kolay gözüküyor. Ama zamanla bunun da ben kapanacağını düşünüyorum.