

PAPER DETAILS

TITLE: TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR
ARASTIRMA

AUTHORS: Hande ALADAG

PAGES: 973-986

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2300721>



TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Hande ALADAĞ*

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Dijitalizasyon, Dijital Adaptasyon, Dijital Dönüşüm, Endüstri 4.0, Türk İnşaat Sektörü.</i>	Endüstri 4.0 ve dijitalleşme bütün sektörleri etkisi altına aldığı gibi Türkiye ekonomisinde önemli bir yer tutan inşaat sektörünü de etkilemiştir. Ancak, inşaat sektörünün diğer sektörlerle göre teknolojiyi kullanma ve dijital dönüşüme ayak uydurma noktasında, diğer sektörlerle oranla geride kaldığı yönünde eleştiriler yapılmaktadır. Bu noktada, Türk inşaat sektöründe yer alan firmaların dijital dönüşüm uygulamalarına adaptasyonlarını etkileyen unsurların bulunması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Çalışmada sırasıyla inşaat sektöründe dijital dönüşüm kapsamında karşılaşılan kavramlar, Türk inşaat firmalarını dijital dönüşüme iten unsurlar, Türk inşaat firmalarının dijital dönüşümünü engelleyen unsurlar ile dijital dönüşümün başarı faktörleri ortaya konulmuştur. Belirlenen faktörler özelinde Türk inşaat firmalarında görev alan toplam 50 adet katılımcıya anket yapılmıştır. Elde edilen veriler “Göreceli Önem İndeksi” yöntemi ile analiz edilmiştir. Türk inşaat sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi sıklıkla kullanılmaktayken; zenginleştirilmiş gerçeklik, blokzincir ve akıllı sözleşme gibi uygulamalar henüz sıklıkla kullanılmamaktadır. Türk inşaat firmalarının dijital dönüşüme uyum sağlama yönündeki itici unsurları etkin kalite, doküman ve iletişim yönetimi iken; sektörünün dijital dönüşümü önündeki en büyük engeller yeterli yetkin personel olmaması ve tüm paydaşlar için entegrasyon sağlanamamasıdır. Dijitalleşme etkisinin diğer sektörlerle kıyasla çok düşük seviyelerde kaldığı inşaat sektörü için dijital adaptasyonun artırılması önündeki engelleri, bu adaptasyonu hızlandıracak itici güçleri ve dijital adaptasyon için sahip olunması gereken başarı faktörlerini ortaya koyan çalışmaların sayısı oldukça azdır. Özellikle Türk inşaat sektörü özelinde belirtilen bu faktörlerin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi çalışmanın önemli bir özgün yönünü oluşturmaktadır.

A RESEARCH ON DIGITAL TRANSFORMATION EXECUTIONS IN TURKISH CONSTRUCTION INDUSTRY

Keywords	Abstract
<i>Digitalization, Digital Adaptation, Digital Transformation, Industry 4.0, Turkish Construction Industry.</i>	Industry 4.0 and digitalization have affected all industries as well as the construction industry, that has an important place in the Turkish economy. However, there are criticisms that the construction industry lags other industries in terms of using technology and keeping up with this digital transformation. Thus, finding the factors that affect the adaptation of digital transformation applications in Turkish construction industry constitutes the aim of this study. In this study, the digitalization technologies, driving factors, barriers and success factors affecting implementation of digitalization in construction industry were determined respectively. Then, a survey was conducted with a total of 50 attendees. Obtained data were analyzed by using “Relative Importance Index” method. The results of the analysis show that while Building Information Modeling is frequently used in the Turkish construction industry; applications such as augmented reality, blockchain and smart contract are not commonly used yet. According to the analysis results while effective quality, document and communication management constitute the most important driving factors for Turkish construction companies to adapt to digital transformation; the lack of sufficient competent personnel and the lack of integration for all stakeholders were the crucial factors affecting the digital

* İlgili yazar / Corresponding author: haladag@yildiz.edu.tr, +90-212-383-5258

transformation of the Turkish construction industry For the construction industry, that has the lowest impact level of Industry 4.0 and digitalization compared to other industries, the number of studies that reveal the driving forces, obstacles and the success criteria affecting digital adaptation are few in number. Therefore, comprehensive analysis of these factors specific to the Turkish construction industry constitutes the originality of this study.

Alıntı / Cite

Aladağ, H., (2022). Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 973-986.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Aladağ, 0000-0001-7627-8699

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	10.03.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	14.05.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	15.05.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

21. yüzyılın önemli gelişmelerinden olan Endüstri 4.0 ve dijitalleşme sayesinde bulut bilişim, nesnelerin interneti, yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi teknolojilerin üretim süreçlerine entegre edilmesi sayesinde şirketlerin ürünlerini üretme, geliştirme ve dağıtma biçimlerinde önemli yenilikler yaşanmaktadır (Maskuriy vd., 2019a). Sensörler, yazılımlar, robotikler gibi teknolojiler sayesinde üretim sürecine dair elde edilen veriler; tedarik zinciri, kurumsal kaynak planlaması, müşteri hizmetleri gibi kurumsal sistemlerden gelen operasyonel veriler ile birleştirilerek firmalar için daha yüksek değer içeren veriler oluşturmaktadır. Bahsedilen bu kavram ve teknolojiler, nitelikli verinin elde edilmesinin yanı sıra firmalarda otomasyonun artması, insan gücü yerine makine gücü kullanımının artmasıyla personel hatalarının en aza indirilmesi, yüksek hızlı ve güvenli üretim elde edilmesi, üretim takibi, anlık hata saptanması gibi faydalar sağlamaktadır.

Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm kavramları ve teknolojileri, pek çok sektörde kullanıldığı gibi inşaat sektöründe de uygulama alanı bulmaktadır. İnsan yaşamında temel ihtiyaçları karşılayan inşaat sektörü içinde oluşacak yenilikler doğrudan insan hayatını kolaylaştırmaktadır. Bu bağlamda bina, köprü, havaalanı, baraj gibi yapıların üretimini içeren inşaat sektörü teknolojik gelişmelerden etkilenmekte ve bu nedenle yapım ve yönetim süreçlerinde verim elde etmek için sektörün bu teknolojik değişimlere uyum sağlama ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Endüstri 4.0 ve dijital dönüşümün inşaat sektörüne adaptasyonu üretimde zaman ve maliyet tasarrufu, kalite ve hizmetin standartların artması ile inşaat projelerinde başarı üçgeni olarak tanımlanan maliyet, zaman ve kalite unsurlarının bir arada optimum şekilde kullanılmasını sağlar. Ayrıca inşaat sektöründeki dijital adaptasyon; üretim aşamalarının takibinin kolaylaşması, işçilerin ve projenin takibinin kolaylaşması ile verimin artırılması, operasyonel aşamada anlık sorunlara müdahale için reaksiyon sürelerinin düşürülmesi, gelişmiş iş birliği ve iletişim, güvenliği artırma, sürdürülebilirlik yaklaşımının geliştirilmesi gibi faydalarla da sonuçlanacaktır. Bu katkılar farkına vararak dijital adaptasyona hızlı bir şekilde ayak uyduran inşaat firmalarının rekabet düzeyi oldukça yüksek olan inşaat sektöründe rekabet avantajlarını artırması olasıdır.

İnşaat sektörü yapısı ve dinamikleri gereği teknolojinin ilerlemesinden üst düzeyde etkilenen bir sektör olmakla birlikte inşaat sektöründe tasarım, uygulama ve işletme aşamasında teknolojik araç ve gereçlerin kullanımı olasıdır (Bahçeci ve Polat, 2020). Ancak, inşaat sektörünün diğer sektörlerle göre teknolojiyi kullanmada ve bahsedilen bu dijital dönüşüme ayak uydurma noktasında, avcılık ve tarım sektöründen sonra geldiği (Agarwal ve diğerleri, 2016) ve bu yönüyle de dijital dönüşüme ayak uydurma noktasında diğer sektörlerle oranla geride kaldığı yönünde eleştiriler almaktadır (Tanyer ve Pekerçli, 2008; Alaloul vd., 2018). Küresel ölçekte inşaat sektörünün teknoloji adaptasyon düzeyi ile gerçekleştirilen araştırmalar da 2021 yılı itibarıyla inşaat teknolojisinin entegrasyonu inşaat firmaları bünyesinde kısmen gerçekleşebildiği ve inşaat firmalarının teknoloji kullanımındaki uyum eksikliklerine bağlı olarak adaptasyon düzeyinin çok düşük olduğunu göstermektedir (KPMG, 2021). Reis vd, (2018), dijital dönüşümün son durumu hakkında bilgi sağlamak ve gelecekteki araştırmalar için önermelerde bulunmak amacıyla 206 makalenin sistematik bir literatür incelemesini yaptıkları çalışmalarında, dijital dönüşümün sektörler için getirdiği fırsat ve zorlukların yeterince tanımlanmamış olduğu ve bu doğrultuda akademisyenlerin dijital dönüşümün fırsatlarını ve zorluklarını ele almak için daha fazla araştırma yapmaları gerektiğini ortaya koymuşlardır (Reis vd, 2018). Benzer bir şekilde Maskuriy vd., (2019b), Endüstri 4.0'ın inşaat sektöründeki durum haritasının çıkarılmasını hedefleyen çalışmalarında benzer bulgulara ulaşarak, inşaat sektöründe dijital dönüşümü gerçekleştirebilmek için daha fazla bilimsel araştırmanın yapılarak bu yeni teknolojilerin sektöre adaptasyonunda karşılaşılan sorunları, zorlukları ve gelecekteki yönünü anlamak için daha fazla nitel araştırmaya ihtiyaç olduğu belirtmektedirler (Maskuriy vd., 2019b).

Covid-19 salgınının etkisiyle zayıflayan ekonomileri ayağa kaldırmak amacıyla küresel olarak inşaat sektöründe büyük altyapı yatırımlarının teşvik edilmesi, yüksek teknoloji kullanımına ihtiyaç ve buna ek olarak sektör için iş modellerinde bir değişim gerekliliği yaratmaktadır (TMB, 2021). Bu kapsamda Türk müteahhitlerin özellikle yurtdışı müteahhit hizmetlerinde sahip oldukları rekabet avantajlarını korumaları ve bu döngüden yararlanabilmeleri için dijitalleşme yarışına katılmalarını sağlayacak bir ekosisteme ivedilikle ihtiyaç bulunduğu da belirtilmektedir (TMB, 2021). Öte yandan gelişen ve küreselleşen dünyamızda inşaat firmalarının dijital dönüşüm teknolojilerini hızlıca bünyelerine uyarlayarak bu teknolojilerin getireceği süreç, proje ve operasyon yönetimindeki iyileştirmelerle yüksek müşteri memnuniyeti sağlayarak pazar payları ve rekabet avantajlarını arttırmaları olasıdır. Bu doğrultuda ise özellikle yöneticilerin iş modellerine yeni teknolojileri entegre ederek iş stratejilerini dijital gerçekliğe uyarlamaları gerekeceğinden, ihtiyaç duyulan dijital teknolojilerin sektöre adaptasyonunda karşılaşılan sorunların, zorlukların ve başarılı bir adaptasyon için ihtiyaç duyulan gerekliliklerin ortaya konulmuş olması önemlidir. Bu arka plandan hareketle çalışma kapsamında Türk inşaat sektöründe yer alan firmaların dijital dönüşüm adaptasyon süreçlerini etkileyen unsurların ortaya konulması hedeflenmektedir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Türk inşaat sektöründe yer alan firmaların dijital dönüşüm uygulamalarına adaptasyonlarını etkileyen unsurların bulunması amacını taşıyan bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen literatür taraması ile öncelikle inşaat sektöründe dijital dönüşüm kapsamında karşılaşılan kavram ve teknolojiler; ardından sırasıyla Türk inşaat firmalarını dijital dönüşüme iten unsurlar, Türk inşaat firmalarının dijital dönüşümünü engelleyen unsurlar ile dijital dönüşümün başarı faktörleri ortaya konulacaktır.

2.1. Endüstri 4.0'ın Yapı Taşları (Fundamentals of Industry 4.0)

İnşaat sektörü ile dijital dönüşüm etkileşimin merkezinde birçok kavram ve yenilikler bulunmaktadır. Endüstri 4.0'ın yapı taşları ya da dijital dönüşüm teknolojileri olarak tariflenen bu kavramlar aşağıda belirtilmektedir:

- **Yapı Bilgi Modelleme (Building Information Modelling: BIM):** BIM, bir tesisin bütün yaşam döngüsü içerisinde (tasarım ve işletme aşaması dahil) yapıya ait tüm bilgileri kullanmak üzere saklayan bir veri deposu olarak işlev görmektedir (Haijan ve Becerik-Gerber, 2009). Sahip olduğu "Birlikte Çalışabilirlik (Interoperability)", "Çok Boyutlu (n-D boyutlu) Modelleme", "Canlı Metraj Listeleri" gibi özellikler sayesinde inşaat projelerinin tasarım, uygulama ve bakım-onarım süreçlerinde yönetim etkinliği sağlamaktadır (Akkoyunlu, 2015).
- **Lazer Tarama:** Temelde ölçme mühendisliğinde kullanılmak üzere geliştirilmiş nispeten yeni bir teknoloji olmakla birlikte (Kim vd., 2015) 3D lazer tarayıcıların BIM ile kullanım alanları yaygınlaşmıştır (Laing vd., 2015). Lazer tarayıcıların inşaat sektöründe kullanım alanları tarihi yapılarda deformasyon ve mevcut durum analizlerinin yapılması, yapılarda bakım-onarım ve güçlendirme faaliyetleri için risk keşifleri ve yapısal analizleri içeren BIM modellerinin oluşturulması, imalatların proje uygunluğunun izlenmesi ve kontrolü şeklinde özetlenebilir (Akkoyunlu, 2015).
- **3D Yazıcılar:** İnşaat sektöründe 3D baskı teknolojisi bilgisayar ortamında hazırlanan yapı tasarımının sistematik katmanlara bölünerek tasarlanmış yapının nesnel olarak üretilmesidir. 3D baskı teknolojilerinin hızlı üretim sağlayabilmesi ve iş gücüne minimum seviyede ihtiyaç duyması, makine sistemlerinin sürekli olarak çalışabilmesi özellikle zaman sıkıntısı açısından projelerin ihtiyaçlarına büyük ölçüde karşılık verebilmektedir (Artuğ ve Altun, 2019).
- **Radyo Frekans ile Tanımlama (RFID):** Radyo frekansı kullanarak nesneleri tekil ve otomatik olarak tanıma yöntemi olan bu sistemde, objelere eklenen RFID etiketlerin yaydığı frekanslar üzerinden okuyucular ile alınan veriler tedarik zinciri yönetimi, müşteri ilişkileri yönetimi, depo yönetim sistemleri ve kurumsal kaynak planlaması gibi süreçlerde kullanılır (Lee vd., 2013). RFID sistemlerinin inşaat süreçlerinde kullanımı ile ilgili örnekler incelendiğinde çelik imalatı ve inşası süreçlerinde çok faydalı olabileceği öngörülmektedir. Her çelik elemanına eklenen RFID etiketleri ile imalat süreç takibi yapılabileceği gibi problemleri çözümlenmesi saha ekibince işaretlenmesi ile gerçek zamanlı olarak işveren dahil tüm ekip bu konu doğrultusunda bilgilendirilmiş olacaktır. Buna ek olarak hangi çeliklerin depoda, hangilerinin sahada, hangilerinde işlem yapılmakta olduğu gibi veriler de elde edilebilecektir. Bir diğer örnek kullanım senaryosu da yapıda kullanılan kapı, pencere, mekanik borular vb. yapı elemanları üzerinden verilebilir.
- **Nesnelerin İnterneti (Internet of Things: IoT):** Nesnelerin interneti fiziksel yapıların internete bağlanması ile oluşmakta olan bir yapıdır. Var olan bir nesne, üzerindeki IP tanımı ile veri alımı-aktarımı yapmakta ve bu doğrultuda nesneler internet üzerinden kullanılabilir hale gelmektedir. Nesnelerin internetinde var olan tüm nesneler, internete canlı bir veri akış sistemi ile bağlıdır. Algılama teknolojileri, tanımlama ve tanıma teknolojileri, donanım, yazılım ve bulut platformları, iletişim teknolojileri ve ağları, algoritmalar, konum teknolojileri, veri işleme çözümleri, güç ve enerji depolama, güvenlik mekanizmaları gibi teknolojiler IoT araçları olarak tanımlanabilir (Uygunoğlu ve Topçu, 2020). İnşaat süreçlerinde IoT

kullanımının en yaygın örnekleri akıllı binalarda görülmektedir. Buna ek olarak inşaat süreçlerinde RFID etiket kullanımı da IoT kullanımlarından kabul edilen uygulamalardandır (Uygunoğlu ve Topçu, 2020). İnşaat süreçlerindeki kullanımı düşünüldüğünde strüktürel elemanların takibi, saha güvenliği, optimizasyon ve simülasyon gibi birçok alanda kullanılabilen IoT inşaat sektöründe yeni iş alanlarının oluşmasını da sağlama potansiyeline sahiptir. İnşaat sektöründe IOT kullanımının, iş süreçlerinde raporlama, izleme, sentezleme ve işleme gibi alanlarda daha verimli bir ilerleme sağlayacak olmasına ek olarak IoT-BIM entegrasyonu ile dijital ikiz üretiminin de desteklenmesi sağlanacaktır (Ghosh vd., 2020).

- **Akıllı Bina Teknolojileri: Nesnelerin İnterneti (IoT)** kavramına dayanan akıllı bina teknolojileri, temel olarak iç mekân fiziksel cihazların izlenmesi ve kontrolüne yardımcı olan teknolojik yapılar bütünüdür. IoT sayesinde iç mekân fiziksel cihazlarla iletişim kurularak bina yönetimi alanında uygun maliyetli ve verimli bir çözümler elde edilmektedir (Verma vd., 2019). Genellikle otomasyon sistemi ile birlikte yeni nesil (akıllı) sensör teknolojilerinin birlikte çalıştığı akıllı bina teknolojileri, hava sıcaklığına göre ısıtma, gün ışığına bağlı olarak aydınlatma sistemlerinin çalışma sisteminin düzenlenmesi gibi olanaklar sağlayarak binalarda enerji etkinliğini artırır.
- **Giyilebilir Cihazlar:** Giyilebilir teknoloji kavramı teknolojinin günlük giyilen kıyafetlere veya kullanılan aksesuarlara entegre edilmesidir (akıllı saatler, akıllı kasklar, akıllı güvenlik yelekleri, akıllı iş botları, giyilebilir sensörler vb). Giyilebilir cihazların en önemli özelliklerinden biri, internete bağlanarak cihaz ile ağ arasında veri aktarımı yapabilmesidir. Giyilebilir cihazların inşaat sektöründe İSG alanında işçilerin hareketlerinin izlenerek çalışanların güvenlik önlemlerine uyup uymadığının kontrolü, çalışanlar için tehlikeleri yerinde bildirerek çalışan güvenliğini artırma (Awolusi vd., 2018; Ahn vd., 2019; Forat vd., 2021), sahadaki malzeme ve ekipmanların takibi için kullanılarak proje verimliliğini artırma (Patel vd., 2021) amaçlarıyla yaygın kullanıldığı gözlenmektedir.
- **Zenginleştirilmiş Gerçeklik:** Gerçeklik kavramının yeniden oluşmasını sağlayan teknolojiler olarak isimlendirilen zenginleştirilmiş gerçeklik bünyesinde Sanal Gerçeklik (Virtual Reality: VR), Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality: AR) ve Karma Gerçeklik (Mixed Reality: MR) teknolojilerini barındırmaktadır. Fiziksel dünyaya ait görüntülerin birleştirilmesi ile oluşturulan, çevredeki değişimlere önceden belirlenmiş yazılım sınırlarına bağlı kalarak gerçek zamanlı etkileşim gösteren bir deneyim türü olan AR, dijital ortamda oluşturulmuş olan sanal verilerin reel dünya üzerinde, senkronize olarak görüntülenmesine imkân sağlamaktadır. AR; tasarımcılara, tasarımda işin akışını hızlandıran gerçeğe yakın bir ortamda tasarım, modelleme ve test fırsatı sunmakla birlikte sahada üretilen birebir uygulama konularında kaybedilen vakti ve üretme maliyetini azaltmaktadır. VR, gerçek bir ortamı kopyalayan veya hayali bir dünya yaratan tıpatıp gerçekteki sesleri, görüntüleri ve diğer duyumları oluşturmak için bilgisayarlar, tabletler ve sanal gerçeklik gözlükleri ile kullanılabilen bilgisayar teknolojilerini ifade etmektedir. Örneğin müşterinin inşaat projesini görmek için satış ofisine gelmeden sanal gerçeklik gözlükleri sayesinde projeyi istediği ülkeden ve istediği zamanda görmesi projelerin tanıtma ve uygulanma aşamalarında büyük fayda sağlamaktadır (Şen, 2021). AR ve VR birleşimi ile oluşan MR ise fiziksel dünya ile dijital dünyanın bir karışımıdır (Lindgren ve Johnson-Glenberg, 2013). Proje planlama, uygulama, iş sağlığı ve güvenliği, disiplinler arası çalışma gibi birçok alanda iş verimini ve kalitesini arttıracabilecek potansiyele sahiptir.
- **Dijital İkizler (Digital Twins):** Dijital ikiz kavramı, yaşam döngüsü boyunca fiziksel bir nesnenin, öğrenme ve muhakeme için gerçek zamanlı veri kullanan sanal bir temsili olarak tariflenebilir (Boje ve diğerleri, 2020). İnşaat sektöründe bir binanın dijital ikizi, tesis yöneticilerinin durum analizi yapmasına, nihayetinde enerji kullanımını geliştirmesine ve konut sakinlerinin konforunu iyileştirmesine izin vererek işletme ve bakım aşamalarında kullanılmaktadır (Qi ve Tao, 2018; Khajavi vd., 2019).
- **Bulut Bilişim:** Bulut bilişim, bilgisayar ya da mobil cihaz kullanımı ile talep edilen anda kullanılabilen, paylaşımlı veri işleme, depolama, hesaplama gibi yüksek işlem gücüne sahip internet tabanlı ayarlanabilir bilişim teknolojilerinin genel ismidir (Keleş ve Keleş, 2018). İnşaat sektöründe özellikle saha çalışmalarında eş zamanlı raporlamanın yapılabilmesi ve kararların alınabilmesi için işletme verilerine eş zamanlı erişimin sağlanması gerekmektedir. Bulut bilişim sistemi sayesinde ilgili ekipler kolaylıkla proje ile ilgili verilere ulaşabilirler.
- **Büyük Veri (Big Data):** Büyük veri, medya paylaşımları, ağ günlükleri, fotoğraf, video, bilgisayar ortamında üretilen üç boyutlu modeller ya da iki boyutlu çizimler gibi değişik kaynaklardan toplanan verilerin, anlamlı ve işlenebilir biçime dönüştürülmüş bütünü olarak tanımlanmaktadır. Büyük veri, inşaat varlıklarının ve ekipmanlarının takibinden başlayıp inşaat projelerinde riskin en aza indirilmesine, inşaat öncesi öngörü değerlendirilmesinden şantiye organizasyonuna, tedarik sürecinden güvenliğe kadar birçok inşaat faaliyetini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Örneğin binalar üzerindeki sensörler, bina performansını değerlendirmeye yardımcı olan yüzlerce veri toplayabilmektedir (Kaya, 2016).
- **Otonom Robotlar:** İnşaat sektöründeki robotik uygulamaları, ekipman operasyonlarını optimize etmeyi, güvenliği artırmayı, çalışma alanı algısını iyileştirmeyi ve ayrıca bina sakinleri için kaliteli bir ortam sunmayı hedeflemektedir (Elattar, 2008).

- **Nanoteknoloji:** Nanoteknoloji; maddeleri nano boyutta inceleyen, var olan malzemenin istenen yönde gelişimini sağlayan ya da tamamen yeni bir malzeme üretimini gerçekleştiren teknolojidir. Yapı sektöründe nanoteknolojik yapı malzemesi kullanımı ile enerji tüketimi ve maliyetler azaltılarak, doğa dostu sürdürülebilir yapı tasarımı elde edilebilmektedir (Turunç, 2019).
- **Blokszincir Teknolojisi (Blockchain) ve Akıllı Sözleşmeler (Smart Contracts):** Küresel olarak karmaşık tedarik zincirleri aracılığıyla üretilen inşaat ürünlerinin sayısı giderek artmaktadır. Bunun sonucu, tedarik zinciri şeffaflığını ve malzeme izlenebilirliğini desteklemek ve tedarik zincirlerindeki malzemelerin sürdürülebilirliğini güvence altına almak ihtiyacıyla Blokszincir teknolojisi kullanımı artmaktadır (Kim vd., 2020).

2.2. Türk İnşaat Sektörünün Dijital Dönüşüme Uyum Sağlama Gereklilikleri (Requirements of Turkish Construction Industry to Adapt Digital Transformation)

Literatür taraması sonucunda bulunan Türk inşaat firmalarını dijital dönüşüme uyum sağlama gereklilikleri (dijital adaptasyona iten unsurlar) Tablo 1’de sunulmaktadır (Ezeokoli vd., 2016; Osmundsen vd., 2018; Ozorhon vd., 2018; Wyman, 2018; Köseoğlu vd., 2019; Maskuriy vd., 2019a; Aşar vd., 2022).

Tablo 1. Türk İnşaat Firmalarını Dijital Dönüşüme İten Unsurlar (Driving Forces of Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

<i>Müşteri Bazlı Faktörler</i>	Uygun Ürün Fiyatı	• Düşen proje maliyetlerinin ürün fiyatına pozitif etkisi sonucunda daha uygun fiyatlara ürün satın alınabilmesi
	Verim Artışı	• Veri analizleri ile bakım periyotlarının daha doğru yapılması sayesinde yapının onarım ve bakım işlerinin daha verimli hale getirilmesi
	Geliştirilmiş Bina Tasarımı	• Yapının dayanım, konfor, güvenlik, ekonomi vb. açısından eski tip yapılara göre daha avantajlı olması (Akıllı Bina Teknoloji kullanımı, BIM ile enerji analizlerinin yapılması vb.) • Tehlikeli durumlarda kullanıcıyı koruyan teknolojilere yapı içinde yer verilmesi (Duman Detektörleri, Yangın Söndürme Sistemleri, vb.)
<i>Sektörel Faktörler</i>	Yasal Zorunluluk, Standartlar ve Teşvikler	• Teknolojinin ilerlemesi ile yeniliklere ayak uydurma zorunluluğu • Sektördeki diğer firmaların dijital dönüşüm adaptasyon hızına bağlı olarak dijital değişimlere hızlı cevap verme zorunluluğu • Yasal düzenleyici değişikliklere uyum sağlama zorunluluğu
	Pazar Payını Koruma ve Arttırma	• Çok sayıda rakibin bulunduğu sektörde rekabet avantajını sürdürebilme arzusu
<i>Proje ve Firma Bazlı Faktörler</i>	Etkin Şantiye Yönetimi	• İnsansız hava araçları (drone) ile şantiye imalatlarının izlenmesi ve denetlenmesi • Yüksek güvenlik seviyesine sahip çalışma alanlarının yaratılması ile etkin İSG yönetimi sağlama (tehlikeli süreçler için robotik kullanımı, yeni güvenlik önlemleri ile yaralanma ve ölümlerin azaltılması vb.) • Altyüklenicileri desteklemek için uzaktan ölçüm ve kontrol • Etkin raporlama ve takip (BIM modelleriyle malzeme, ekipman, nakliye takibi gibi işlemlerinin kontrol edilebilirliğin artması vb.)
	Etkin Dokümantasyon Yönetimi	• Bulut bilişim, ortak veri ortamı gibi uygulamalarla çok sayıda farklı meslek ve kuruluşu içeren, oldukça parçalı, veri yoğun inşaat projelerinde paydaşlar arasında iş birliğinin sağlanması • Ekip çalışması ve koordinasyonun iyileştirilmesi • Güncel dokümanlara hızlı erişim • Versiyon karşılaştırma
	Etkin Kalite Yönetimi	• Üretim/İmalat aşamalarının takibinin kolaylaşması ile kalite kontrolün etkin hale gelmesi • İmalatların proje/sözleşme/şartnameye uygunluğunun kontrolü

Tablo 1. Devamı (Continued)

<i>Proje ve Firma Bazlı Faktörler</i>	Etkin Maliyet Yönetimi	- BIM, IOT vb. teknolojiler sayesinde üretim maliyetlerinin azaltılması - Aksaklıkların azaltılması ve işçi veriminin artırılması sayesinde zamanında ve bütçeye uygun proje teslimi
	Etkin Zaman Yönetimi	- Teknolojik ekipmanlar, otonom robotlar vb. kullanımı ile insan faktörüne bağlı iptal ve gecikmelerin ortadan kaldırılmasıyla şantiyelerdeki iş akışında gecikmelerin önlenmesi - Aksaklıkların azaltılması ve işçi veriminin artırılması sayesinde zamanında ve bütçeye uygun proje teslimi
	Etkin İletişim Yönetimi ve Anlaşmazlıkların Çözümü	Geliştirilmiş bina tasarımı ve uygulama süreçleri sayesinde yaşanabilecek aksaklıklarda azalma, uyuşmazlıkların azaltılarak anlaşmazlıkların daha hızlı çözümünü sağlama
	Etkin Süreç Yönetimi	- BIM ile başlatılan projelerde ekipman, malzeme, işgücü vb. detaylarının proje süreçlerinin başında öngörülmesi ve böylece malzeme tedarik zincirinde kaybedilen zamanların önüne geçilmesi - RFID teknolojisiyle şantiye takip sistemindeki kesintisizlik, iletişimde kopuklukların engellenmesi - Geliştirilmiş bina tasarımı sayesinde proje revizyonları ve değişiklik taleplerinin azaltılarak etkin kapsam ve değişiklik yönetimi sağlama
	Verim Artışı	- Teknolojik ekipman kullanımı ile işçi veriminin artırılması ve iş gücü tasarrufu - Dijital teknolojilerin yapım teknikleri, mühendislik çalışmaları, proje yönetimi, sözleşmeler ve bilgisayar sistemlerinden yararlanma alanlarında getireceği faydalara müteakip inşaat projelerinde elde edilecek verim

2.3. Türk İnşaat Sektöründe Dijital Adaptasyonun Önündeki Engeller (Obstacles Faced by Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

Türk inşaat sektöründe dijital adaptasyonun önündeki engellerin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen literatür taramasının sonuçları Tablo 2’de sunulmaktadır (Ezeokoli vd., 2016; Osmundsen vd., 2018; Ozorhon vd., 2018; Wyman, 2018; Köseoğlu vd., 2019; Maskuriy vd., 2019a; Morgan, 2019; Bahçeci ve Polat, 2020; Aşar vd., 2022).

Tablo 2. Türk İnşaat Firmalarının Dijital Dönüşümünü Engelleyen Unsurlar (Obstacles Faced by Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

<i>Sektörel Faktörler</i>	Yeterli Yetkin Personel Olmaması	Dijital dönüşümün sahip olduğu hız ve sürekli değişim karşısında yenilikleri yakalayabilen nitelikli uzman ve danışmanın azlığı
	Standardizasyon Olmaması	Kanun ve regülasyonların yeterli olmaması, ülkeden ülkeye farklılıklar göstermesi
	Teknoloji Adaptasyon Yetersizliği	İnşaat sektörünün parçalı ve hareketli yapısı ile sektörün gelenekselliğinin ortaya çıkardığı teknolojik adaptasyon düşüklüğü
<i>Proje ve Firma Bazlı Faktörler</i>	Tüm Paydaşlar için Ortak Çalışma veya Entegrasyon Sağlanamaması	Proje paydaşları arasındaki iş birliği eksikliği (Tedarikçi/Taahhütörlerin sistem entegrasyonu vb.)
	Kültürel veya Teknik Dirençler	- Firma sahipleri ve ortaklarının bilgi paylaşımı açısından açık ve şeffaf olmaya istekli olmaması - Firma çalışanlarının yeni teknolojiyi (yazılım/ekipman) kullanma beceri düşüklüğü / çalışan direnci - Proje paydaşlarının yeni teknolojiyi (yazılım/ekipman) kullanma beceri düşüklüğü / paydaşların direnci - Kültürel farklılıklar (Kişisel alışkanlıklar, organizasyonel kültür farklılıkları vb.) - Dijital dönüşüm uygulamalarının gerektirdiği teknik altyapı eksiklikleri (internet erişimi, yazılım/donanım eksikliği vb.)

Tablo 2. Devamı (Continued)

	Yatırım Geri Dönüşü Sebebiyle Kaynak Ayrılmaması	- Dijital dönüşümün projelere getirdiği mali yük (Yüksek yazılım, donanım maliyetleri vb.) - Belirsizlikler nedeniyle yöneticilerin yeni yatırımlara karşı isteksizliği
	Firmaların Olumsuz Deneyimleri	- Firmaya özel çözümler geliştirmeden dijitale yönelik yapılan standart çalışmalar - Firmaların geçmişte yaşadıkları başarısız dijital deneyimler

2.4. Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşümün Başarı Faktörleri (Critical Success Factors for Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

Firmaların dijital dönüşüm uygulamalarında başarıya ulaşabilmesi için genel olarak sahip olmaları beklenen temel başarı faktörlerini Tablo 3'te sunulmaktadır (Bharadwaj, 2013; Ezeokoli vd., 2016; Osmundsen vd., 2018; Ozorhon vd., 2018; Wyman, 2018; Maskuriy vd., 2019a; Morgan, 2019; Bahçeci ve Polat, 2020; Aşar vd., 2022).

Tablo 3. Türk İnşaat Sektöründeki Dijital Dönüşümün Başarı Faktörleri (Critical Success Factors for Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

<i>Kullanıcı Bazlı Faktörler</i>	Dış ve İç Bilgiden Faydalanma	- Dijital teknolojinin tamamlayıcı ve heterojen bilgilerini edinme, entegre etme ve ticarileştirme yoluyla firmaların daha iyi hale gelmesi - Yeniliğe karşı direnci azaltmak için birlikte çalışma ve hareket etmeyi benimsenme
<i>Proje ve Firma Bazlı Faktörler</i>	Destekleyici Organizasyon Kültürü	Üst yönetiminin desteği ve liderlik
	Tüm Çalışanları Katılımı	Yöneticilerin ve çalışanların sürece dahil edilmesi
	Dijital İş Stratejisi	- Organizasyona özel bir dijital dönüşüm planının geliştirilmesi ve uygulanması - Organizasyon bünyesinde "Dijital Dönüşüm Birimi" oluşturulması - Dijital dönüşümün doğru olarak uygulanması amacıyla danışmanlık hizmeti alınması - Sektörde daha önce uygulanmış dijital dönüşüm uygulamalarının incelenmesi ("Kıyaslama-Benchmarking" ile "En İyi Uygulamalar-Best Practices" ile dijital adaptasyonun hangi alanlarda yapılabileceği, firmaya nasıl adapte edilebileceği hususunda yaklaşımların belirlenmesi) - Müşteri beklenti ve taleplerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi
	Dinamik Yetenekler	- Organizasyonun dijital dönüşüme doğru şekilde uyum sağlayabilmesi için gelişmelerin takip edilmesi ve uygulanması - İş Zekâsı (Business Intelligence) - Bilgi sistemlerinin ve gerekli altyapı iyileştirmelerinin sağlanması - Süreç içerisindeki insan kaynaklarının adaptasyonunun sağlanabilmesi için eğitimlerin verilmesi
	Dijital Adaptasyon İçin Finansman	- Organizasyonun dönüşüm adına hangi alana ve ne oranda bütçe ayıracağını doğru tespiti - Dijital dönüşüm için organizasyon bünyesindeki çalışanların alması gereken eğitimler, gerekli doğru teknolojilerin sağlanması ve adaptasyon giderleri gibi birçok alanda ortaya çıkacak farklı bütçelerin doğru bir şekilde planlanması gerekliliği - Gelecekte ortaya çıkabilecek firma büyüme olasılıklarına karşı yatırım güncellemelerinin gerçekleştirilmesi

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Türk inşaat sektöründe dijital teknolojilerin uygulanma seviyesini anlamak amacıyla 38 inşaat firmasında görev alan toplam 50 adet katılımcı ile üç kısımdan oluşan bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Birinci kısımda katılımcılara ait bilgiler, ikinci kısımda firma bilgileri, üçüncü kısımda ise sırasıyla dijital adaptasyon uygulamalarının katılımcıların kendi projelerinde kullanılma alanları, inşaat sektöründe dijital dönüşüme uyum

sağlama gereklilikleri, inşaat sektöründe dijital adaptasyonun önündeki engeller ile inşaat sektöründe dijital adaptasyon uygulamalarının süreçteki başarı faktörlerinin ile ilgili sorular yöneltilmiştir. Anket 60 kişiye iletilmiş olup, 50 kişinin katılımıyla sonuçlanmıştır. Ankete geri dönüş oranı %83 olmuştur. Katılımcılara ait demografik bilgiler şu şekildedir:

- **Meslek Grupları:** Katılımcıların 26'sı İnşaat Mühendisi (%52), 20'si Mimar (%40), 2'si Harita Mühendisi (%4), 1'i Jeoloji Mühendisi (%2) ve 1'i Makine mühendisidir (%2).
- **Eğitim Durumları:** Katılımcıların 38'i lisans (%76), 12'si yüksek lisans (%24) mezunudur.
- **İş Tecrübeleri:** 1-5 yıl iş tecrübesine sahip 3 kişi (%6), 5-10 yıl iş tecrübesine sahip 12 kişi (%24), 10-15 yıl iş tecrübesine sahip 27 kişi (%54), 15-20 yıl iş tecrübesine sahip 8 (%16) kişi bulunmaktadır.

Katılımcıların mensubu oldukları inşaat firmalarına ait demografik bilgiler ise şu şekildedir:

- **Firma Ölçeği:** Katılımcıların çalışmakta olduğu firmalar inşaat ve taahhüt, tasarım ve mimarlık, müşavirlik alanında hizmet veren inşaat firmaları olup, firmaların 25'i büyük ölçekli (%66), 13'ü orta ölçekli (%34) inşaat firmasıdır. Katılımcıların 35 tanesi büyük ölçekli firmadan (%70), 15 tanesi orta ölçekli (%30) firma mensubudur.

Anket katılımcılarının cevapları "Göreceli Önem İndeksi (Relative Importance Index: RII)" yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Anket çalışmasından elde edilen verileri analiz etmek için yöntem kapsamında kullanılan formüller aşağıda verilmiştir:

$$RII = \frac{\sum W}{A \cdot N} \quad (1)$$

$$0 < RII < 1 \quad (2)$$

W değeri, katılımcılar tarafından her bir kritere verilen ağırlık değeridir. Ağırlık sıralamasında 1-5 Likert Skalası kullanılmış olup Likert skalasında kullanılan değerlerin anlamı 0: Fikrim yok; 1: Çok Düşük; 2: Düşük; 3: Ortalama; 4: Yüksek; 5: Çok Yüksek olarak algılanmalıdır. A değeri, 1-5 Likert skalası için en yüksek ağırlık değeri olan 5'i, N değeri ise toplam katılımcı sayısını yani ankete katılan 50 kişiyi temsil etmektedir. Denklem sonucuna göre bulunan RII değeri sıfır ile bir aralığında olup, değeri ne kadar yüksekse kriterin önemi de o derecede yüksek olmaktadır.

4. Bulgular (Findings)

Türk inşaat sektöründe kullanılan dijital teknolojiler ve dijital dönüşüm uygulamalarının kullanımlarına yönelik analiz sonuçları Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Türk İnşaat Sektöründe Kullanılan Dijital Teknolojilere Ait Önem Sırası (Importance Order of Digital Technologies Used in the Turkish Construction Industry)

	Tasarım		Yapım		İSG		Tesis Yönetimi	
	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası
Yapı Bilgi Modelleme	0,804	1	0,772	1	0,620	3	0,764	1
Lazer Tarama	0,648	4	0,616	3	0,580	7	0,628	3
3D Yazıcılar	0,584	6	0,592	7	0,488	13	0,508	12
RFID	0,548	7	0,568	10	0,596	5	0,608	4
Nesnelerin İnterneti	0,584	6	0,556	11	0,624	2	0,596	6
Giyilebilir Cihazlar	0,516	10	0,588	8	0,656	1	0,560	11
Akıllı Bina Teknolojileri	0,648	4	0,684	2	0,552	10	0,596	6
Zenginleştirilmiş Gerçeklik	0,532	9	0,544	12	0,540	11	0,572	9
Dijital İkizler	0,516	10	0,516	14	0,556	9	0,568	10
Bulut Bilişim	0,664	2	0,596	6	0,592	6	0,632	2
Büyük Veri	0,660	3	0,600	5	0,572	8	0,600	5
Otonom Robotlar	0,536	8	0,572	9	0,612	4	0,576	8
Nanoteknoloji	0,588	5	0,604	4	0,620	3	0,584	7
Blokzincir teknolojisi ve akıllı sözleşmeler	0,500	11	0,520	13	0,536	12	0,608	4

Türk inşaat sektörünün dijital dönüşüme uyum sağlama gerekliliklerine ait faktörlerin önem sırası Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5. Türk İnşaat Sektörünün Dijital Dönüşüme Uyum Sağlama Gerekliliklerine Ait Faktörlerin Önem Sırası (Importance Order of Digital Transformation Adaptation Requirements in the Turkish Construction Industry)

	Tasarım		Yapım		İSG		Tesis Yönetimi	
	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası
Uygun Ürün Fiyatı	0,752	9	0,792	11	0,668	7	0,720	10
Verim Artışı	0,752	9	0,816	8	0,652	8	0,764	6
Geliştirilmiş Bina Tasarımı	0,804	7	0,800	10	0,632	10	0,760	7
Yasal Zorunluluk, Standartlar ve Teşvikler	0,776	8	0,804	9	0,732	5	0,752	8
Pazar Payını Koruma ve Rekabet Avantajı	0,712	10	0,776	12	0,636	9	0,700	11
Etkin Şantiye Yönetimi	0,804	7	0,828	6	0,772	2	0,772	4
Etkin Dokümantasyon Yönetimi	0,816	6	0,872	1	0,772	2	0,796	2
Etkin Kalite Yönetimi	0,864	1	0,868	2	0,776	1	0,828	1
Etkin Maliyet Yönetimi	0,832	5	0,820	7	0,628	11	0,732	9
Etkin Zaman Yönetimi	0,840	3	0,832	5	0,676	6	0,760	7
Etkin İletişim Yönetimi ve Anlaşmazlıkların Çözümü	0,844	2	0,840	3	0,748	3	0,776	3
Etkin Süreç Yönetimi	0,836	4	0,836	4	0,736	4	0,768	5

Türk inşaat sektöründe dijital adaptasyonun önündeki engellere ait önem sırası Tablo 6'da sunulmaktadır.

Tablo 6. Türk İnşaat Sektöründe Dijital Adaptasyonun Önündeki Engellere Ait Önem Sırası (Importance Order of Obstacles Faced by Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

	Tasarım		Yapım		İSG		Tesis Yönetimi	
	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası
Yeterli Yetkin Personel Olmaması	0,744	3	0,828	1	0,760	1	0,736	4
Standardizasyon Olmaması	0,772	1	0,796	3	0,736	2	0,704	6
Teknoloji Adaptasyon Yetersizliği	0,744	3	0,744	7	0,716	4	0,768	1
Tüm Paydaşlar için Ortak Çalışma veya Entegrasyon Sağlanamaması	0,736	4	0,808	2	0,724	3	0,760	2
Kültürel veya Teknik Dirençler	0,752	2	0,772	4	0,736	2	0,728	5
Yatırım Geri Dönüşü Sebebiyle Kaynak Ayrılmaması	0,704	6	0,752	6	0,692	5	0,748	3
Firmaların Olumsuz Deneyimleri	0,720	5	0,760	5	0,724	3	0,700	7

Türk inşaat sektöründe dijital dönüşümün başarı faktörlerine ait önem sırası Tablo 7'de sunulmaktadır.

Tablo 7. Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşümün Başarı Faktörlerine Ait Önem Sırası (Importance Order of Critical Success Factors for Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

	Tasarım		Yapım		İSG		Tesis Yönetimi	
	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası
Dış ve İç Bilgiden Faydalanma	0,864	1	0,840	2	0,724	2	0,756	2
Destekleyici Organizasyon Kültürü	0,816	3	0,844	1	0,760	1	0,828	1
Tüm Çalışanları Katılımı	0,824	2	0,804	4	0,700	3	0,756	2
Dijital İş Stratejisi	0,776	5	0,788	5	0,652	5	0,724	4
Dinamik Yetenekler	0,808	4	0,812	3	0,676	4	0,708	5
Dijital Adaptasyon İçin Finansman	0,768	6	0,784	6	0,640	6	0,752	3

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Anket sonuçlarına göre; tüm yapı yaşam döngüsü kapsamında sık kullanımına bağlı olarak önem sırası en yüksek çıkan dijital teknolojisi Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) iken zenginleştirilmiş gerçeklik, blokzincir ve akıllı sözleşme gibi uygulamalar Türk inşaat firmaları tarafından yeterince önemli bulunmamaktadır. Günümüzde bir tesisin tasarımından itibaren işletme aşaması dahil bütün yaşam döngüsünü yöneten bir araç olarak işlev gören BIM teknolojisinin (Haijan ve Becerik-Gerber, 2009) önem düzeyinin Türk inşaat firmaları için en yüksek sırada çıkması bu bağlamda anlamlı bir bulgudur. Tasarımcılara tasarım aşamasında iş akışını hızlandırma, gerçeğe yakın bir ortamda tasarım, modelleme ve test fırsatı sunan AR teknolojileri ile yapı üretim süreci ile projelendirme sonrasında tanıtma aşamalarında kolaylık sağlayan VR teknolojilerini içeren zenginleştirilmiş gerçeklik uygulamalarının inşaat firmaları tarafından kullanımının artması firmalara üretim maliyetlerinde azalma, etkin süreç yönetimi gibi katkılar sağlayacaktır. Sözleşme koşullarının ifası ve uygulanmasının veya yürürlüğünün insan müdahalesine gerek olmaksızın kendiliğinden gerçekleştiği dijital ve hesaplanabilir sözleşmeler olan akıllı sözleşmelerin; otonom olma, üçüncü bir tarafın işlem müdahalesini ortadan kaldırarak işlem maliyetlerini azaltma, güvenlik ve şeffaflık gibi avantajları bulunmaktadır (Çubukçu, 2021). Belirtilen bu avantajlarla birlikte özellikle sahip oldukları hukuki bağlayıcılık çerçevesinde kamu ihale sözleşme süreçlerinin de akıllı sözleşmeler yoluyla yönetilmesinin getireceği kamu maliyesi, harcama politikaları, mali disiplin sağlanması, yüklenicilerin performans değerlendirmesi gibi birçok olumlu sonuçlara müteakip e-ihalenin, kamu ihale sözleşmelerinin akıllı sözleşmeler üzerinden yürütülmesinin sağlanmasının kaynakların verimli ve ihtiyaca uygun biçimde kullanılmasında büyük bir katma değer yaratacağı belirtilmektedir (Bafra, 2019). Ancak özellikle kamu ihalelerinde performansa dayalı rekabetçi ortamın sağlanmasına katkı sağlayacak (Bafra, 2019) akıllı sözleşmelere ait tüm bu olumlu özelliklerle birlikte akıllı sözleşmeler üstünde uygulama aşamasında değişiklik yapılmasının çok zor olması, veri korunumu, sahip olduğu kod altyapısı nedeniyle herkes tarafından kolayca anlaşılabilmesi gibi sahip olduğu pratik ve teknik zorlukların (Çubukçu, 2021) akıllı sözleşmelerin Türk inşaat firmaları tarafında uygulanır bulunmaması önündeki önemli parametreler olduğu düşünülmektedir.

Türk inşaat sektörünün dijital dönüşüme uyum sağlama gerekliliklerine ait faktörlerin önem sırasına ait sonuçlar değerlendirildiğinde ise; Türk inşaat firmalarının dijital dönüşüme uyum sağlama yönündeki en önemli itici unsurları sırasıyla etkin kalite, iletişim ve doküman yönetimi oluşturmaktadır. Dijitalleşmenin organizasyonlarda kalite yönetimini güçlendirmesinin birkaç nedeni vardır. İlk olarak, birçok dijitalleştirilmiş çözüm, ürün ve hizmetlerle ilgili olarak daha iyi teknik kalite sunar ve sonuç olarak kalite yönetimini etkiler. İkincisi, dijital teknolojiler müşterilerden gelen gerçek zamanlı verileri kullanmada ve müşteri hizmeti sağlamanın daha iyi yollarını bulmada yeni etkileşim biçimleri oluşturarak toplam kalite yönetiminin en önemli unsurlarından olan müşteri memnuniyetinin sağlanmasına etki eder (Elg vd., 2021). İnşaat sektörü doğası gereği çok sayıda farklı meslek ve kuruluşu içeren, oldukça parçalı, veri yoğun, proje tabanlı bir sektördür. Bu sektörde yürütülen projeler, farklı disiplinlerden çalışanların katılımıyla, farklı sistem kullanıcılarının iş birliğini içerir. İçerisinde barındırdığı farklı disiplinler, iş kolları ve risk faktörleriyle bir projenin yürütülmesinde ve teslim edilmesinde en önemli faktörlerin başında etkin iletişim yönetimi gelmektedir. Dijital gelişmeler kapsamında gelişen teknoloji ve yazılım sistemlerinin inşaat projelerinde kullanılması, farklı paydaşların ortaklaşa yürütücülüğünü gerçekleştirdiği proje yönetiminde koordinasyonda önemli faydalar sağlamaktadır. Dijital teknoloji kullanımının iletişim yönetimi hususunda getireceği katkıları örneklemek gerekirse; Blokzincir teknolojisinin inşaat projelerinde kullanılmasının sağladığı şeffaflık paydaşlar arasındaki anlaşmazlıkları minimuma indirmektedir. Benzer bir şekilde Bulut bilişim, Ortak Veri Ortamı (Common Data Environment-CDE) gibi konseptler inşaat projesi bilgilerinin barındırıldığı merkezi bir havuz üstünde projenin tüm paydaşları için en güncel belgelere, sözleşmelere, raporlara, tekliflere ve model bilgilerine ulaşmayı olanaklı hale getirerek hem etkin bir iletişim hem de etkin bir dokümantasyon yönetimi

sağlanmasını olanaklı kılar. Ayrıca BIM ile gerçekleştirilen çakışma analizleri, tasarım aşamasında mekanik, elektrik, sıhhi tesisat, statik vb. modeller arasındaki çakışmaları belirleyerek projenin tamamlanmasında gecikmeye neden olabilecek çok seviyeli tasarım değişiklikleri olasılığını ortadan kaldırarak uygulama aşamasında oluşabilecek olası uyumsuzlukların proaktif olarak önlenmesine yardımcı olacaktır (Khoshnava vd., 2012).

Analiz sonuçlarına göre; Türk inşaat sektörünün dijital dönüşümünü etkileyen en büyük engeller yeterli yetkin personel olmaması ve tüm paydaşlar için entegrasyon sağlanamamasıdır. Alanında kabiliyetli personelin olmayışı geçiş sürecini engelleyen unsurlardandır (Akbay, 2021). Halbuki dijital gelişim ve dönüşüme adım atmış firmaların, proje süreçlerinin gerçekleştirilmesi ve takibinde personel yetkinliklerini arttırarak (doküman yönetiminde yetkin personeller, satın almada online ihale uzmanı personel, proje yönetiminde BIM gibi teknolojik çözümleri kullanabilecek mühendis ve mimarlar vb.) maliyet tasarrufu sağlaması olasıdır. Bu bağlamda inşaat firmalarının dijitalleşen sürece uygun yetkin ve doğru personel istihdamı sağlaması, insan kaynağı değerlendirme süreçlerinin değişime uygun olarak evrilmesi, mevcut personele yetkinlik eğitimleri ve sertifika programlarının geliştirilmesi önerilmektedir. Analiz sonuçlarıyla uyumlu olarak inşaat sektörünün dijital gelişim ve dönüşüm aşamasındaki yaşadığı esas zorluklardan birisinin çok sayıda ve farklı lokasyonlara ayrılmış paydaşlar, birçok bağlantısı olmayan sistem, yazılım, donanım arasındaki entegrasyon eksikliği olduğu belirtilmektedir (Ceylan, 2019). Tüm paydaşlar için ortak çalışma veya entegrasyon sağlanamaması ise elde edilecek sonuçların maliyetlerini arttırmakta, verimliliği düşürerek zaman israfına neden olmaktadır. Anket sonuçlarına göre yatırım geri dönüşü sebebiyle firmaların dijital teknolojilere kaynak ayırmaması unsurunun önem derecesinin alt sıralarda çıkması şaşırtıcı bir bulgu olmuştur. Firmalar dijital teknolojilere yapacakları yatırımlara karar verirken genellikle fayda-maliyet analizi gerçekleştirme eğiliminde olup, yatırımın potansiyel geri dönüşüm süresini baz alarak yatırım kararı vermektedirler. Eğer firmaların ihtiyaçları ve mevcut durumu doğru analiz edilmezse, dijital dönüşümün sağlayacağı verimlilik de doğru hesaplanamayacaktır. Bu süreç yatırım kararlarını da negatif yönde etkileyecektir. Doğru analiz ve hesaplamalarla, sistemin getireceği net kazanç belirlenerek dijital gelişim ve dönüşümü destekleyecek üst yönetim desteği arttırılmalı ve verimliliği artırma potansiyeli olan sistemlerin genellikle bir ekstra maliyet unsuru olarak görülmesinin önüne geçilmelidir.

Türk inşaat sektöründe dijital dönüşümün başarı faktörlerine ait analiz sonuçları incelendiğinde ise; “Dış ve İç Bilgiden Faydalanma” ile “Destekleyici Organizasyon Kültürü” faktörlerinin dijital adaptasyonun inşaat firmalarında sağlanması için öne çıkan başarı faktörleri olmuşlardır. Dijital dönüşümde iç ve dış bilgiden yararlanma önemli bir yere sahiptir. Firmalar yeniliğe karşı direnci azaltmak için birlikte çalışma ve hareket etmeyi benimsenmelidir. Bununla birlikte, birçok büyük inşaat firması, çelişkiler nedeniyle iş birimlerini iş birliği yapmaya teşvik etmekte zorlanmakta ve dijital bağlamda potansiyel ortaklıkları belirleme ve kurma yeteneğinden yoksundurlar (Tesch vd., 2017). Dijital dönüşümün yalnızca yenilikçi dijital teknolojilerin belirlenmesi ve uygulanmasında değil aynı zamanda çalışanların işlerinde daha yenilikçi olmalarını sağlama hedefi düşünüldüğünde dijital dönüşümde dış ve iç bilgiden faydalanmanın gerekliliği ortaya çıkmaktadır. İnşaat firmalarının dijital dönüşüm öncesinde, sırasında ve sonrasında dikkate alması gereken önemli faktörlerden birisi de organizasyonun bir bütün olarak destekleyici bir kültürü benimsemesi gerekliliğidir (Mueller ve Renken, 2017). Değişime açıklığa değer veren bir organizasyon, dijital dönüşümde ustalaşmak için gerekli olan değişim odaklı bir zihniyeti kabul etme, uygulama, teşvik etme ve oluşturma istekliliğini teşvik eder (Hartl ve Hess, 2017). Dijital dönüşümü destekleyen ve dijital dönüşümün başarısı için çok önemli olan destekleyici organizasyon kültürünün oluşturulmasında firmanın kültürel değerlerin neler olduğunun da incelemesi gereklidir. Bu değerlerden en belirginleri; değişime açıklık (yeni fikirler ve değişimi benimsemeye hazır olma, yenilikçilik, öğrenmeye isteklilik), müşteri odaklılık (müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için faaliyetler tasarlama), başarısızlığa tolerans, risk tutumu ve girişimci zihniyet olarak tanımlanabilir (Hartl ve Hess, 2017). Dijital dönüşümün başarısı için çok önemli olan destekleyici organizasyon kültürünün oluşturulmasında bahsedilen kurumsal değerlerin yanı sıra güven, katılım, iş birliği ve iletişim gibi unsurların organizasyonda sağlanması önemlidir.

Dijital dönüşüm, hızla gelişen bilişim teknolojilerinin verim, süre, kaliteli hizmet ve kullanıcı memnuniyetini sağlamak amacıyla insanlar ve iş sistemleri üzerine geliştirdiği imkanların mevcut durumlara adapte edilmesidir. Global dünyada yenilikçi iş sistemlerine, teknolojik gelişmelere ve dijital dönüşüme adaptasyon çalışmalarına sağlanacak uyum, inşaat projelerinde üretkenliğin ve verimliliğin artmasını sağlayacaktır. Artan verimlilik ile gelişen iş performansı ise firmaların rakiplerinin önüne geçmesini sağlayarak rekabet düzeyinin yoğun olduğu inşaat sektöründe firmalara avantaj sağlar niteliktedir. Dijital teknolojilere uyum ve adaptasyon, inşaat sektöründe faaliyet göstermekte olan firmaların ulusal ve uluslararası piyasada rekabet ortamında farklılıklarıyla sıyrılarak ayrılabilmesi ile proje süresince zamanı en etkili kullanmayı, finansal kayıpları minimuma indirmeyi, proje kalitesini arttırmayı, enerji kaynaklarını daha etkin ve verimli kullanarak daha sürdürülebilir projeler üretebilmeyi de sağlamaktadır. Proje süresince ve sonrasındaki kontrol süreçlerinde tüm proje paydaşları arasındaki doğru iletişim ve bilgi akışını sağlayabilmek, projeye ilgili tüm süreçlerde elde edilen bilgilerin depolanması dijital dönüşümün etkin proje yönetimindeki avantajları arasındadır.

İnşaat sektörü iki yüzden fazla alt sektörü bünyesinde barındırmasıyla Türk ekonomisinin lokomotifi olma niteliğindedir. Sahip olduğu üretim hacmi ve ekonomik büyüklük göz önüne alındığında ülke ekonomisine yarattığı katma değer ve iş gücü istihdamı ile en dinamik ve değişken sektörlerin başında gelen inşaat sektöründe rekabet ortamı kaçınılmazdır. Bu nedenle, Türk inşaat firmalarının rekabet ortamında farkı yakalamak adına dijital dönüşüme adaptasyonu bir kırılma noktası olmaktadır. Tam da bu noktada operasyonel çalışma sistemlerinde artan verimlilik, küresel dünyada yeni bağlantılar kurabilmek, ticari hacmi genişletebilmek, yeni çalışma yöntemleri geliştirerek inovasyonu arttırmak gibi dijital adaptasyonun getireceği katkılardan en yüksek düzeyde faydalanabilmek için inşaat firmalarının dijital dönüşüme tam adaptasyonu gereklidir. İnşaat firmalarının dijital adaptasyonlarının artırılmasının ülkemizin dijital dönüşüm hedeflerine önemli ölçüde katkı sağlayacağı da belirtilmektedir (KPMG, 2021b). Ancak, inşaat sektörünün diğer sektörlerle göre teknolojiyi kullanma ve bahsedilen bu dijital dönüşüme ayak uydurma noktasında diğer sektörlerle oranla geride kaldığı yönünde eleştiriler göz önüne alınarak Türk inşaat sektörünün dijital adaptasyon düzeyini anlamak ve Türk inşaat sektöründe yer alan firmaların dijital dönüşüm uygulamalarına adaptasyonlarını etkileyen unsurları ortaya çıkarmak amacıyla gerçekleştirilen çalışmada Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm teknolojilerinin adaptasyonunun projelerin tasarım aşamalarından başlayıp bakım-onarım süreçlerine kadar aktif olarak kullanılmaya başlanması gerektiği anlaşılmıştır.

Türk inşaat sektörü için dijital adaptasyonun artırılması önündeki engelleri, bu adaptasyonu hızlandıracak itici güçleri ve dijital adaptasyonu başarı ile sağlamak için sahip olunması gereken başarı faktörlerini ortaya koyan bu çalışma, literatürde sayıca az olan çalışmalara bir katkı sunmaktadır. Bununla beraber, Türk inşaat sektörünün dijital adaptasyon ile ilgili sahip olduğu fırsat ve tehditleri ortaya koyan çalışma bulguları Türk inşaat firmalarının dijitalleşme yolunda belirlenmesi gereken stratejilerin seçiminde sektör profesyonellerine de ışık tutar niteliktedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazar, verilerin temin edilmesi aşamasında katkılarından ötürü Çağla Özyurt, Fatih Öztürk ve Emre Bilici'ye teşekkürlerini sunmaktadır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Ahn, C.R., Lee, S., Sun, C., Jebelli, H., Yang, K., ve Choi, B. (2019). "Wearable sensing technology applications in construction safety and health". *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(11), 03119007.
- Agarwal, R., Chandrasekaran, S., ve Sridhar, M. (2016). "Imagining Construction's Digital Future". McKinsey and Company. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/imagining-constructions-digital-future> (Erişim Tarihi: 26.01.2022).
- Akbay, R. B. (2021). "Türk İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Şantiyede Kullanımına Yönelik Bir İnceleme". Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Akkoyunlu, T., (2015). "Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin BIM Uygulama Planı Önerisi", Doktora Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alaloul, W.S., Liew, M.S., Zawawi, N.A.W A., ve Mohammed, B.S. (2018). "Industry revolution IR 4.0: future opportunities and challenges in construction industry". *MATEC web of conferences*: 203 (2018) 02010.
- Aşar, E., Bülbül, F., Akbulut, M., Bayarslan, P., Kermen, T. ve Findik, D. (2022). "Measuring Firm Perception to Adaptation of Industry 4.0: The Case of Turkey". *Verimlilik Dergisi*, 2022: 140-154.
- Artuğ S. ve Altun C. (2019). "3 Boyutlu Baskı Teknolojisinin Bina Üretiminde Kullanım Olanaklarının Güncel Örnekler Üzerinden İncelenmesi", 4th International Congress On 3d Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry, 11-14 Nisan 2019, Antalya, Türkiye.
- Awolusi, I., Marks, E., ve Hallowell, M. (2018). "Wearable Technology for Personalized Construction Safety Monitoring and Trending: Review of Applicable Devices". *Automation in Construction*, 85, 96-106.
- Bafra, E. (2019). "Dijital Dönüşüm Sürecinde Kamu İhale Sözleşmeleri Açısından Akıllı Sözleşmeler". *İnşaat Sanayi*, 172, 22-34.
- Bahçeci, H., ve Polat, Ö.Ü.H. (2020). "İnşaat Sektöründe Teknoloji Adaptasyon Sorunlarının Araştırılması". *Online Journal of Art and Design*, 8(1), 141-153.
- Bharadwaj, A., El Sawy, O.A., Pavlou, P.A. ve Venkatraman, N.V. (2013). "Digital Business Strategy: Toward A Next Generation Of Insights". *MIS Quarterly*, 471-482.
- Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., ve Rezugui, Y. (2020). "Towards a Semantic Construction Digital Twin: Directions for Future Research". *Automation in Construction*, 114, 103179.
- Ceylan, E.Z. (2019). "Dijital İkizler ve İnşaat Sektöründeki Yeri". *Yapı Bilgi Modelleme*, 1(2), 53-61.
- Çubukçu, D.B. (2021). "Teknik ve Hukuki Yönleriyle Akıllı Sözleşmeler". Yetkin Yayınları, Ankara.

- Elattar, S.M.S. (2008). "Automation And Robotics in Construction: Opportunities and Challenges", *Emirates Journal for Engineering Research*, 13(2), 21-26.
- Elg, M., Birch-Jensen, A., Gremyr, I., Martin, J., ve Melin, U. (2021). "Digitalization And Quality Management: Problems and Prospects". *Production Planning and Control*, 32(12), 990-1003.
- Ezeokoli, F. O., Okolie, K. C., Okoye, P.U., ve Belonwu, C.C. (2016). "Digital transformation in the Nigeria construction industry: The professionals' view". *World Journal of Computer Application and Technology*, 4(3), 23-30.
- Forat, A. S., Przeglasińska, A., ve Krzemiński, M. (2021). "Risk Assessment on The Construction Site with The Use of Wearable Technologies". *Ain Shams Engineering Journal*, 12(4), 3411-3417.
- Ghosh, A., Edwards, D.J., & Hosseini, M.R. (2020). "Patterns and Trends in Internet of Things (IoT) Research: Future Applications in the Construction Industry". *Engineering, Construction and Architectural Management*, 8(2), 457-481.
- Hajian, H., ve Becerik-Gerber, B., (2009). "A Research Outlook for Real-Time Project Information Management By Integrating Advanced Field Data Acquisition Systems and Building Information Modeling". *International Workshop on Computing in Civil Engineering*, 24-27 Haziran 2009, Austin, Texas.
- Hartl, E., ve Hess, T. (2017). "The role of cultural values for digital transformation: Insights from a Delphi study". *Cultural Values in Digital Transformation*, Twenty-third Americas Conference on Information Systems, Boston, USA.
- Kaya, K. (2016). "Big Data ve İnşaat Sektöründeki Yeri". <https://kaankaya7.wordpress.com/2016/03/30/big-data-ve-insaat-sektorundeki-yeri/> (Erişim Tarihi: 27.11.2021).
- Keleş, A.E., ve Keleş, M.K. (2018). "İnşaat Sektöründe Kullanımı Artan Bilgisayar Yazılımları ve Bilgi Teknolojilerinin İrdelenmesi". *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5(2), 610-617.
- Khajavi, S.H., Motlagh, N.H., Jaribion, A., Werner, L.C. ve Holmstrom, J., (2019). "Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings". *IEEE Access* 7, 147406–147419.
- Kim, M. K., Cheng, J.C., Sohn, H., ve Chang, C.C., (2015). "A Framework for Dimensional and Surface Quality Assessment of Precast Concrete Elements Using BIM And 3D Laser Scanning", *Automation in Construction*, 49, 225-238.
- Kim, K., Lee, G., ve Kim, S. (2020). "A Study on The Application of Blockchain Technology in The Construction Industry". *KSCIE Journal of Civil Engineering*, 24(9), 2561-2571.
- Khosnava, S.M., Ahankoob, A., Preece, C., ve Rostami, R. (2012). "Potential Application of BIM in Construction Dispute and Conflict" *Management in Construction Research Association Postgraduate Conference*, 1-8.
- Koseoglu, O., Keskin, B., ve Ozorhon, B. (2019). "Challenges and enablers in BIM-enabled digital transformation in mega projects: The Istanbul new airport project case study". *Buildings*, 9(5), 115-139.
- KPMG (2021). "No Turning Back: An Industry to Transcend- Global Construction Survey, 2021". <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2021/08/global-construction-survey1.pdf> (Erişim Tarihi: 26.01.2022).
- KPMG (2021b). "Dijitalleşme Yolunda Türkiye 2021: Trendler ve rehber hedefler". <http://tbv.org.tr/wp-content/uploads/2021/04/Dijitallesme-Yolunda-Tu-2021-Raporu-v9.pdf> (Erişim Tarihi: 07.02.2022).
- Laing, R., Leon, M., Isaacs, J., ve Georgiev, D., (2015). "Scan To BIM: The Development of a Clear Workflow For The Incorporation Of Point Clouds Within A BIM Environment". *WIT Transactions on The Built Environment*, 149, 279-288.
- Lee, J. H., Song, J. H., Oh, K. S., ve Gu, N. (2013). "Information Lifecycle Management with RFID for Material Control on Construction Sites". *Advanced Engineering Informatics*, 27(1), 108-119.
- Lindgren, R., ve Johnson-Glenberg, M. (2013). "Emboldened by Embodiment: Six Precepts for Research on Embodied Learning and Mixed Reality", *Educational Researcher*, 42(8), 445-452.
- Maskuriy, R., Selamat, A., Maresova, P., Krejcar, O., ve David, O.O. (2019a). "Industry 4.0 for the Construction Industry: Review of Management Perspective", *Economies*, 7(68), 1-14.
- Maskuriy, R., Selamat, A., Ali, K.N., Maresova, P., ve Krejcar, O. (2019b). "Industry 4.0 For the Construction Industry—How Ready Is the Industry?". *Applied Sciences*, 9(14), 2819.
- Morgan, B. (2019). "Organizing For Digitalization Through Mutual Constitution: The Case of a Design Firm". *Construction Management and Economics*, 37(7), 400-417.
- Mueller B. ve Renken U. (2017). "Helping Employees Become Digital Transformers – The Olympus.connect Case.", 38th International Conference on Information Systems (ICIS 2017) - Seoul, Kore.
- Osmundsen, K., Iden, J., ve Bygstad, B. (2018). "Digital Transformation: Drivers, Success Factors, and Implications". *The 12th Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS)*, Korfu, Yunanistan.
- Ozorhon, B., Caglayan, S., Erturk, F. O., ve Arisoy, M. B. (2018). "BIM Transition Process in Construction Companies". *TAMAP Journal of Engineering*, 2018(1), 1-8.
- Patel, V., Chesmore, A., Legner, C.M., ve Pandey, S. (2021). "Trends in Workplace Wearable Technologies and Connected-Worker Solutions for Next-Generation Occupational Safety, Health, and Productivity". *Advanced Intelligent Systems*, 2100099.
- Qi, Q. ve Tao, F., (2018). "Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison". *IEEE Access* 6, 3585–3593
- Reis, J., Amorim, M., Melão, N., ve Matos, P. (2018). "Digital transformation: A Literature Review and Guidelines for Future Research". *World Conference on Information Systems and Technologies* (pp. 411-421).
- Şen, G.E. (2021). "AR/VR Destekli BIM Teknolojileri ile Tesis Yönetimi", *Yapı Bilgi Modelleme Dergisi*, 3(1), 12-22.
- Tanyer, A. M., ve Pekerçli, M. K. (2008). "İnşaat Sektörü İçin Bilgi Teknolojilerindeki Son Gelişmeler", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 451.
- TBM (Türk Müteahhitler Birliği) (2021). "İnşaat Sektörü Analizi". <https://www.tmb.org.tr/uploads/publications/61764df3f9c4d65243f22e68/1635143124770-tmb-bulten-ekim-2021.pdf> (Erişim Tarihi: 26.01.2022).
- Tesch, J.F., Brillinger, A.S., ve Bilgeri, D. (2017). "Internet of things business model innovation and the stage-gate process: An exploratory analysis". *International Journal of Innovation Management*, 21(05), 1740002.
- Turunc, S. (2019) "Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Türk Yapı Sektöründe Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

- Uygunoğlu, T., ve Topçu, İ. B. (2020). "Nesnelerin İnternetinin (IoT) İnşaat Mühendisliğindeki Rolü: RFID Uygulamaları". *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 4(3), 270-277.
- Verma, A., Prakash, S., Srivastava, V., Kumar, A. ve Mukhopadhyay, S.C. (2019). "Sensing, Controlling, and IoT Infrastructure in Smart Building: A Review". *IEEE Sensors Journal*, 19(20), 9036-9046.
- Wyman, O. (2018). "Digitalization of The Construction Industry: The Revolution Is Underway" https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2018/july/OliverWyman_Digitalization_in_the_construction_industry_web_final.PDF (Erişim Tarihi: 26.01.2022).