

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM
SÜRECİNİN ÖNÜNDEKİ ENGELLERİN BÜYÜK
ÖLÇEKLİ FİRMALAR AÇISINDAN YORUMLAYICI
YAPISAL MODEL İLE ANALİZİ

Fatih Burak SEMİZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Prof. Dr. Zeynep IŞIK

Eş Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hande ALADAĞ

Şubat, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM
SÜRECİNİN ÖNÜNDEKİ ENGELLERİN BÜYÜK ÖLÇEKLİ
FİRMALAR AÇISINDAN YORUMLAYICI YAPISAL MODEL
İLE ANALİZİ

Fatih Burak SEMİZ tarafından hazırlanan tez çalışması 20.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Zeynep IŞIK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hande ALADAĞ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Zeynep IŞIK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DEMİRDÖĞEN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇEVİKBAŞ, Üye
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Zeynep IŞIK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Sürecinin Önündeki Engellerin Büyük Ölçekli Firmalar Açısından Yorumlayıcı Yapısal Model ile Analizi ” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Fatih Burak SEMİZ

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını gerçekleştirirken bilgi ve deneyimleriyle benden desteklerini esirgemeyen, çalışmamın ilerlemesi yönünde bana yol gösterici olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Zeynep IŞIK' a ve tez eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hande ALADAĞ' a özellikle teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmamızı gerçekleştirirken yapmış olduğumuz anket çalışmasına katılarak bu tezin başarıyla tamamlanmasına katkıda bulunan bütün anket katılımcılarına da teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak eğitim öğretim hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen her türlü koşul ve zorlukta benim yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Fatih Burak SEMİZ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı	1
1.3 Çalışmanın Yöntemi	3
2 İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM	6
2.1 İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Kavramı	6
2.1.1 İnşaat Organizasyonlarında Dijital Dönüşümün İlkeleri	8
2.1.2 İnşaat Sektöründe Dijitalleşmenin Etkileri	9
2.2 İnşaat 4.0 Kavramı	11
2.2.1 İnşaat Sektöründe Temel Dijital Unsurlar ve İşlemler	13
2.2.2 İnşaatta Siber Fiziksel Sistemler	18
3 TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM SÜRECİNİN ÖNÜNDEKİ ENGELLERİN BELİRLENMESİ	21
3.1 İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Sürecinin Önündeki Engeller	21
3.2 Dijital Dönüşüm Sürecinin Önündeki Engellerinin Türk İnşaat Sektörü İçin Uygunluğunun Değerlendirilmesi	26
4 TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM SÜRECİNİN ÖNÜNDEKİ ENGELLER ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN BELİRLENMESİ	34
4.1 Yorumlayıcı Yapısal Model ve Uygulama Aşamaları	35
4.1.1 Ögeler veya Değişkenlerin Belirlenmesi	35
4.1.2 Değişkenlerin Uzmanlar Tarafından Değerlendirilmesi	36
4.1.3 Yapısal İç Etkileşim Matrisinin Oluşturulması	36
4.1.4 Erişilebilirlik Matrisinin Oluşturulması	36
4.1.5 Nihai Erişilebilirlik Matrisinin Oluşturulması	36
4.1.6 Hiyerarşik Analiz	37
4.1.7 Konik Matris ve Diyagraf	37

4.1.8	İndirgenmiş Konik Matris ve Nihai Yorumlayıcı Yapısal Model ...	37
4.1.9	MICMAC Analizi	38
4.2	Veri Toplama Süreci	39
4.3	Verilerin Analizi	43
4.3.1	Yapısal İç Etkileşim Matrisinin Oluşturulması	43
4.3.2	Engellerin Erişilebilirlik Matrisinin Oluşturulması	46
4.3.3	Nihai Erişilebilirlik Matrisi.....	48
4.3.4	Hiyerarşik Analiz	50
4.3.5	Konik Matris ve Diyagraf	55
4.3.6	İndirgenmiş Konik Matris ve Nihai Yorumlayıcı Yapısal Model ...	58
4.3.7	MICMAC Analizi	61
5	BULGULAR VE TARTIŞMA	63
6	SONUÇ	70
	KAYNAKÇA	74
	A DİJİTAL DÖNÜŞÜM SÜRECİNİN ÖNÜNDEKİ ENGELLERİN TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNE UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLME ÇALIŞMASI	79
	B TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM SÜRECİNİN ENGELLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN DEĞERLENDİRİLME ÇALIŞMASI	85
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	89

SİMGELİSTESİ

I	Birim Matris
$A(F_i)$	Her Faktörün Öncül Kümesi
$R(F_i)$	Her Faktörün Ulaşılabilir Kümesi
$C(F_i)$	Her Faktörün Ulaşılabilir ve Öncül Kümesinin Kesişim Kümesi
A	İlk Ulaşılabilirlik Matrisi
R	Son Ulaşılabilirlik Matrisi



KISALTMA LİSTESİ

Ar-GE	Araştırma ve Geliştirme
BİT	Bilgi İletişim Teknolojileri
GSYİH	Gayrı Safi Yurt İçi Hâsıla
ISM	Interpretive Structural Model
İHA	İnsansız Hava Aracı
KM	Konik Matris
NEM	Nihai Erişilebilirlik Matrisi
YBM	Yapı Bilgi Modelleme
YYM	Yorumlayıcı Yapısal Model

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Çalışma yöntemi.....	5
Şekil 2.1 Dijital dönüşümün evrimi.....	7
Şekil 2.2 BİT' in benimsenmesi ve kullanılmasının şekillendirilmesi.....	12
Şekil 2.3 Bulut bilişim ağı.....	16
Şekil 3.1 Uzman seçim kriterleri	26
Şekil 4.1 Uzman seçim kriterleri	40
Şekil 4.2 Diyagraf.....	57
Şekil 4.3 Nihai yorumlayıcı yapısal model	60
Şekil 4.4 MICMAC analiz sonuçları	61

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellere ilişkin literatürün frekans analizi	22
Tablo 3.2 Katılımcılarının demografik özellikleri	27
Tablo 3.3 Katılımcıların engellerin Türk inşaat sektörüne uygunluğuna yönelik yanıtları	29
Tablo 3.4 Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller ..	32
Tablo 4.1 Katılımcılarının demografik özellikleri	41
Tablo 4.2 Yapısal iç etkileşim matrisi.....	45
Tablo 4.3 Erişilebilirlik matrisi	47
Tablo 4.4 Nihai erişilebilirlik matrisi.....	49
Tablo 4.5 Hiyerarşik analiz 1.İterasyon	51
Tablo 4.6 Hiyerarşik analiz 2. İterasyon	52
Tablo 4.7 Hiyerarşik analiz 3. İterasyon	53
Tablo 4.8 Nihai hiyerarşik analiz sonuçları	54
Tablo 4.9 Konik matris	56
Tablo 4.10 İndirgenmiş konik matris	59

Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Sürecinin Önündeki Engellerin Büyük Ölçekli Firmalar Açısından Yorumlayıcı Yapısal Model ile Analizi

Fatih Burak SEMİZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Zeynep IŞIK

Eş-Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hande ALADAĞ

Teknolojik gelişmelerin hızındaki artış, teknoloji maliyetlerinde azalmaya sebep olmuş ve azalan maliyetlerle birlikte teknoloji hayatımızın her alanında yer almaya başlamıştır. İş hayatında da bu gelişmeleri bünyesine katma çabası ortaya çıkmıştır. Diğer endüstrilerin dijital gelişmelerle yakından ilişkileri olmasına rağmen, inşaat sektöründe maalesef bu durumu görmek mümkün değildir. Dijital dönüşüme uyum sürecinin hızlı ve doğru bir şekilde ilerlemesi için dijital dönüşümün önündeki engellerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, Türk inşaat sektöründe dijital dönüşümün önündeki engelleri tespit edip, birbirleriyle ilişkilerini inceleyerek engellerin önem derecelerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda engellerin belirlenmesi için literatür taraması yapılmış, 14 potansiyel engel belirlenmiştir. Ardından bu engellerin Türk inşaat sektörü için uygunluğunun değerlendirildiği bir pilot çalışma gerçekleştirilmiş, engel sayısı 13'e düşürülmüştür. Yapı Bilgi Modelleme gibi teknolojilerin büyük ölçekli projelerde

ve büyük ölçekli firmalar tarafından kullanıldığı görülmektedir. Sahip oldukları imkanlar ve kullandıkları teknolojiler düşünüldüğünde, Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin tepeden tabana yayılacak bir süreç olacağı görülmektedir. Bu sebeple belirlenmiş olan 13 engelin birbirleriyle olan ilişkisini ortaya koymak adına 2023 yılında ENR 250 listesinde yer alan 40 Türk inşaat şirketinde, dijital teknolojilerle çalışan uzmanlara yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların yanıtları, SmartISM programı yardımıyla yorumlayıcı yapısal model yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz sonucunda diğer engelleri doğrudan veya dolaylı yoldan etkileyen, dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti, personel eğitim süreçlerinin uzunluğu ve hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği engelleri ön plana çıkmıştır. Veri güvenliği endişesi engelinin ise diğer engellerden yüksek oranda etkilenirken başka engelleri etkilemediği, bu sebeple daha az öneme sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, bu çalışma Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engelleri belirlemiş ve engeller arası ilişkileri büyük ölçekli firmalar açısından analiz ederek literatürdeki eksikliğe katkı sağlamış, dijital stratejiler geliştirmek isteyen gelecek çalışmaları destekleyecek veriler ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Dijital teknoloji, dijital dönüşüm, inşaat sektörü, engeller, yorumlayıcı yapısal model.

Analysis of the Barriers to the Digital Transformation Process in the Turkish Construction Sector with Interpretive Structural Model from the Perspective of Large-Scale Companies

Fatih Burak SEMİZ

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Zeynep IŞIK

Co-supervisor: Asst. Prof. Hande ALADAĞ

The increase in the speed of technological developments has caused a decrease in technology costs, and with the decreasing costs, technology has begun to take place in every aspect of our lives. There has been an effort to incorporate these developments in business life. Although other industries have close relationships with digital developments, unfortunately it is not possible to see this situation in the construction industry. In order for the adaptation process to digital transformation to proceed quickly and accurately, the barriers to digital transformation must be identified. This study aims to identify the barriers to digital transformation in the Turkish construction industry and determine the importance of the barriers by examining their relationships with each other. For this purpose, a literature review was conducted to identify barriers and 14 potential barriers were identified. Then, a pilot study was conducted to evaluate the suitability of these barriers for the Turkish construction industry, and the number of barriers was reduced to 13. It is seen that technologies such as Building Information Modeling are used in large-scale projects and by large-scale companies. Considering the opportunities they

have and the technologies they use, it seems that the digital transformation process in the Turkish construction sector will be a process that will spread from top to bottom. For this reason, in order to reveal the relationship between the 13 determined barriers, a study was conducted for experts working with digital technologies in 40 Turkish construction companies on the ENR 250 list in 2023. The participants' responses were analyzed by the interpretive structural model method with the help of the SmartISM program. As a result of the analysis, the high cost of the digital transformation process, the length of personnel training processes and the lack of support from the government for digital transformation, which directly or indirectly affect other barriers, came to the fore. It is seen that the data security concern barrier, while being highly affected by other barriers, does not affect other barriers, and therefore has less importance. As a result, this study identified the barriers to digital transformation in the Turkish construction industry and contributed to the gap in the literature by analyzing the relationships between barriers in terms of large-scale companies, and provided data to support future studies that want to develop digital strategies.

Keywords: Digital technology, digital transformation, construction industry, barriers, interpretive structural model.

1 GİRİŞ

Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm süreçlerinin gerçekleşmesi kaçınılmaz bir durumdur. Bu tez çalışmasına konu olan problemin tanımı, çalışmanın amacı ve kapsamı ile çalışma yöntemine ait detaylar aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır.

1.1 Problemin Tanımı

Dijitalleşme, hayatımızın her aşamasında karşımıza çıkan bir gerçekliktir. Önceleri cep telefonları, bilgisayarlar, internet gibi çeşitli araçlarla hayatımıza dahil olan teknolojik gelişmeler, endüstriyel sektörlerin de yapısına katılarak dijital iş modelleri oluşmasına doğru bir yönelim göstermektedir. Sanayi devrimiyle birlikte buhar motorlarının gelişimi birçok sektörü etkileyerek insan gücünün yanında makine desteğinin de kullanılmasının önünü açmıştır. İlerleyen dönemlerde üretim süreçlerine elektrik gücü de dahil olarak seri üretimin kolaylaşmasını sağlamıştır. Bilgisayarların iş dünyasına dahil olmasıyla birlikte ise makine destekli seri üretim dönemine geçilmiştir. Günümüzde ise üretim süreçlerinin yanı sıra, ürünler ve paydaşlar arasında iletişimi sağlamak için dijital bağlantıların kullanıldığı Endüstri 4.0 odaklı bir dijital dönüşüm yaşanmaktadır. İnşaat sektörü dünya ekonomisinde önemli bir konuma sahip olmasına karşın değişen dünya şartlarına ayak uydurmakta, dijital dönüşüm süreçlerine dahil olmakta güçlük çekmektedir. Teknolojik gelişmelerin hızı, diğer sektörlerin dijitalleşme süreçlerine geçişi ve müşteri memnuniyeti de düşünüldüğünde inşaat sektörünün de bu dönüşüm sürecinden geçmesi zorunlu bir hale gelmektedir. İnşaat sektörünün bugüne kadar dijitalleşme sürecinde yavaş kaldığı düşünüldüğünde sektörün rekabetçi piyasa ortamındaki konumunu korumak adına hızlı dönüşüm stratejilerine ihtiyacı olacaktır. İsbetli bir dijital dönüşüm stratejisi oluşturulabilmesi için bugüne kadar sektörün dönüşümüne engel olan faktörlerin doğru tespit edilmesi ve engellere çözüm getiren stratejiler geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı

Dijitalleşen dünya düzeninde endüstri dünyasının önde gelen sektörleri değişim süreçlerine uyum sağlarken inşaat sektörü bu dönüşüm süreçlerinde ilerlemekte

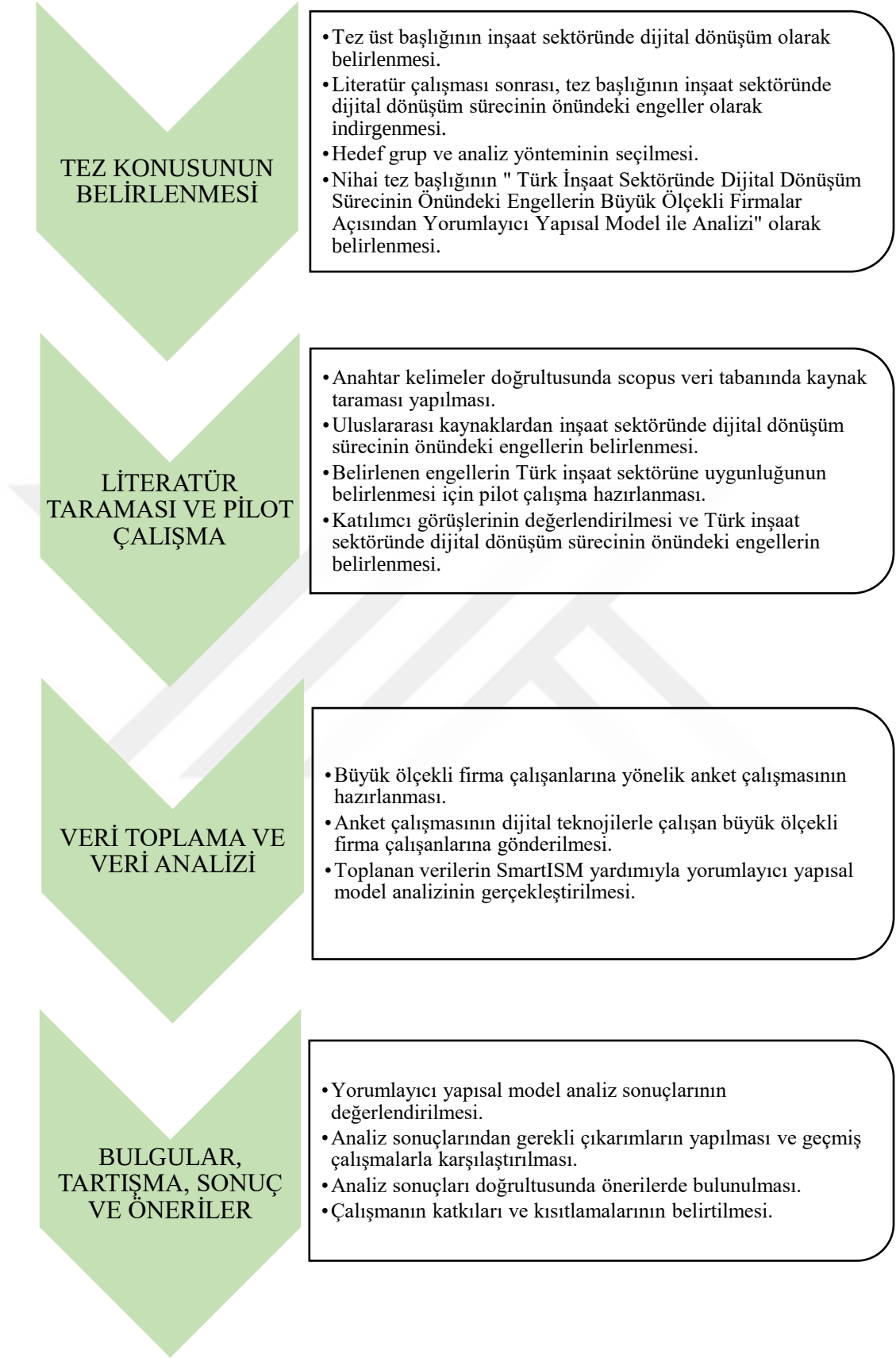
zorlanmaktadır. Dünya ekonomisine etkiyen en büyük sektörlerden biri olmasına karşın dijitalleşme çalışmalarında kendisinden görece küçük endüstrilerin çokça gerisindedir. Sektörün ekonomik büyüklüğü ve istihdam kapasitesi de dikkate alınırsa bu süreçlerden geçmesi kaçınılmazdır. Ancak dönüşüm sürecinin bugüne kadar bu derece problemli gelmiş olması araştırılması gereken bir konudur. İnşaat sektöründe dijital dönüşümün diğer sektörlerin gerisinde kaldığını ifade etsek de sektör, bünyesine teknolojik araçları dâhil etme çabası içerisinde. Özellikle Yapı Bilgi Modelleme (YBM) teknolojisinin inşaat yönetim süreçlerinde kullanılması ve sağlamış olduğu faydalar sektör içerisinde teknolojik yeniliklere yaklaşımı etkilemiştir. Maalesef ülkemiz inşaat sektörü, bazı firmaların geleneksel yöntemlerden uzaklaşmayı tercih etmemeleri nedeniyle yeni teknolojilerin kullanımı konusunda dünyanın gerisinde kalmıştır [1]. Diğer ülkelerde inşaat sektörünün dijital dönüşüm süreçlerinde neden geride kaldığı ve adaptasyona ayak uyduramadığı üzerine çalışmalar yapılırsa da ülkemiz yeni teknolojilerin kullanımında geride kaldığı gibi bu alan üzerine çalışmalar konusunda da eksik kalmıştır. İnşaat sektörü dünyada olduğu gibi ülkemizde de dijital çağa ayak uydurmak zorundadır. Bu adaptasyon sürecini, hızlı ve sorunsuz atlatabilmesi için doğru dijital stratejiler geliştirilmelidir. Sürecin başarıyla yürütülmesini sağlayacak bir stratejiyi geliştirmek için öncelikle sorunu doğru tespit etmek gerekmektedir. Literatürde Türk inşaat sektörünün dijitalleşmesiyle ilgili kritik başarı faktörlerinin belirlenmesine, dönüşümü kısıtlayan engellerin belirlenmesine ve itici güçlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar bulunsun da bu çalışmaların sayısı yeterli değildir. Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellere yönelik çalışmaların sayısı arttırılmalıdır. Bu amaç doğrultusunda, inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engelleri tespit etmek için literatür çalışması yapılmış ve potansiyel engeller tespit edilmiştir. Ardından belirlenen engellerin Türk inşaat sektörü için uygunluğu değerlendirmek için konunun uzmanlarına yönelik bir pilot çalışma gerçekleştirilmiş, uzmanların yanıtları doğrultusunda Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller belirlenmiştir. Yapı Bilgi Modelleme (YBM) gibi teknolojileri ilk olarak kullanan büyük ölçekli firmaların sektörün dijital dönüşümünde öncü olacakları düşünülmektedir. Bu sebeple ENR 250 listesinde yer alan 40 Türk inşaat şirketinde dijital teknolojilerle çalışan uzmanlara engeller arasındaki ilişkileri değerlendirdikleri bir çalışma gönderilmiştir ve katılımcıların yanıtları yorumlayıcı yapısal model yöntemiyle

analiz edilmiştir. Çalışma, başarılı dijital stratejiler geliştirmeye yönelik araştırmaların ve Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm süreçlerine yönelik gerçekleştirilecek gelecek çalışmaların önünü açmayı amaçlamaktadır.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

İnşaat sektörü dijital dönüşüm süreçlerini diğer sektörlerle kıyasla geriden takip etmektedir. Bu sebeple çalışmada, inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller üzerine odaklanılmıştır. Sektörde dijital dönüşüm süreçlerine yönelim açısından en uygun imkanlara büyük şirketlerin sahip olduğu ve Yapı Bilgi Modelleme gibi teknolojilerin çoğunlukla yine büyük şirketler tarafından kullanıldığı görülmüştür. Bu sebeple Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm süreçlerinin büyük ölçekli firmalar öncülüğünde gerçekleşmesi beklenmektedir. İnşaat sektöründe paydaşların birbiriyle bağlantılı olması gibi sektörün dijitalleşmesini kısıtlayan engeller de birbirleriyle bağlantılıdır ve doğrudan ya da dolaylı yoldan birbirlerini etkilemektedir. Bu noktada, inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engelleri önceliklendirirken birbirleriyle olan etkileşimleri de gözlemlenmelidir. Yorumlayıcı yapısal model, engellerin birbirleriyle olan ilişkisini dikkate alarak bir değerlendirme yapma imkânı sunmaktadır. Bu nedenle, isabetli bir dijital strateji oluştururken öncelikli olarak dikkate alınması gereken engelleri ortaya koymak ve bu engellerin birbirleriyle etkileşimini göstermek için yorumlayıcı yapısal model tercih edilmiştir. Sonuç olarak, nihai tez başlığı "Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Sürecinin Önündeki Engellerin Büyük Ölçekli Firmalar Açısından Yorumlayıcı Yapısal Model ile Analizi" olarak belirlenmiştir. Seçilen modelin uygulanabilmesi için öncelikle inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellerin belirlenmesi gereklidir. Bu sebeple, Scopus veri tabanında "dijital adaptasyon, dijital teknoloji, dijital dönüşüm, inşaat sektörü, engeller, yorumlayıcı yapısal model, risk faktörleri" anahtar kelimeleri kullanılarak makale, konferans ve tez gibi yayınlar araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda inşaat sektörüyle ilgisi olmayan yayınlar elenmiştir. Daha sonra, yayınlar anahtar kelimelere ve 2013-2023 tarihleri arasında yayınlanmış olma durumlarına göre bir taramadan daha geçirilmiştir. Seçilen yayınlar içerisinden inşaat sektörünün dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller incelenmiş ve bahsedilme sıklıkları dikkate alınmıştır.

Belirlenen engellerin Türk inşaat sektörü için uygunluğunu tespit etmek amacıyla 5 akademisyen ve 1 sektör çalışanına engelleri uygun veya uygun olmadığına dair görüş belirtmeleri için bir pilot çalışma uygulanmıştır. Pilot çalışma neticesinde, Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller belirlenmiştir. Sonrasında, engeller arasındaki ilişkileri belirlemek için 2023 ENR 250 listesinde yer alan 40 Türk inşaat şirketinde dijital teknolojilerle çalışan uzmanlara yönelik bir anket çalışması yapılmıştır. Anket sonuçları SmartISM yardımıyla yorumlayıcı yapısal model yöntemiyle analiz edilerek engeller arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Analiz çıktıları değerlendirilmiş, dijital dönüşüm süreçlerine yönelik bulgu ve tartışmalara yer verilmiştir. Çalışma sonuçlarına yönelik tavsiyelerle birlikte, çalışma katkı ve kısıtlamalarının belirtilmesiyle çalışma tamamlanmıştır. 4 aşamada gerçekleştirilen tez çalışmasının izlediği adımlar Şekil 1.1' de gösterilmektedir.



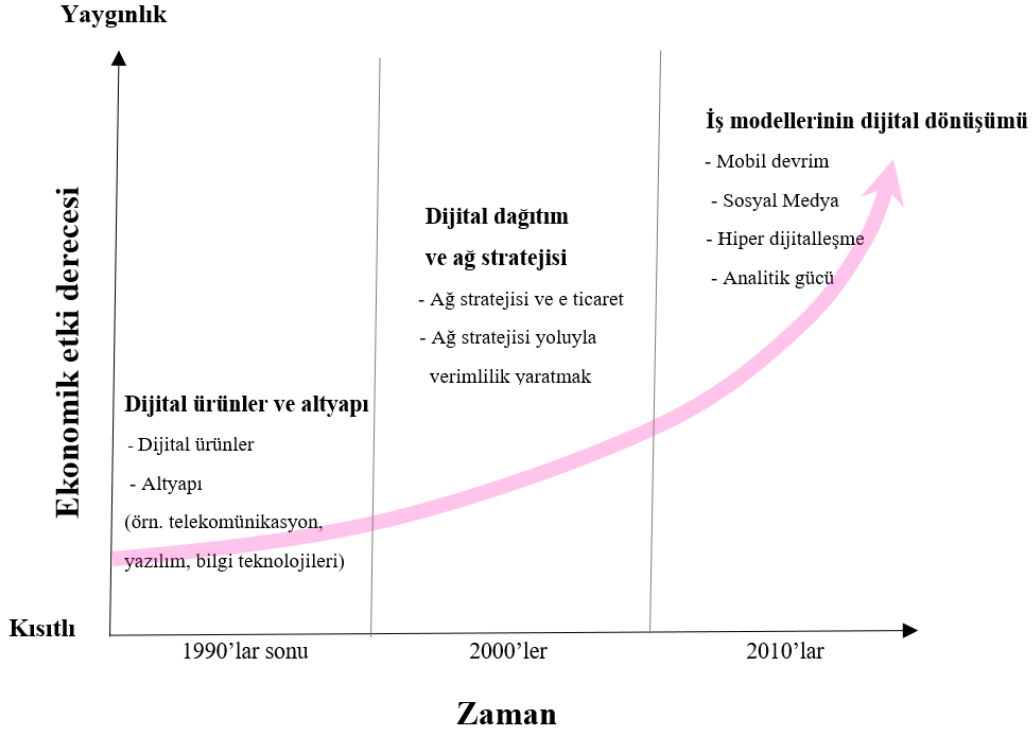
Şekil 1.1 Çalışma yöntemi

2 İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM

Dijital teknolojiler her geçen gün kendini geliştirerek ilerlemeye devam etmektedir. Gelişen teknolojiler hayatımızın her alanına dahil olmaya devam ettiği gibi iş yaşamlarına da dahil olarak, sektörleri dijital dönüşüme yönlendirmektedir. Bu bölümde inşaat sektöründe dijital dönüşüm ve İnşaat 4.0 kavramlarından bahsedilecektir. İnşaat sektöründe dijital dönüşüm kapsamında, inşaat sektörünün dijital teknolojilerle olan ilişkisi, inşaat organizasyonlarında dijital dönüşümün ilkeleri ve inşaat sektöründe dijitalleşmenin etkileri ele alınacaktır. İnşaat 4.0 kapsamında ise inşaat sektöründe yer alan dijital unsurlar ve siber fiziksel sistemler ele alınacaktır.

2.1 İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Kavramı

Dijital dönüşüm, ilk kez 2000 yılında Patel ve McCarthy tarafından dile getirilmiştir. Literatüre geçen ve en çok kabul görmüş dijital dönüşüm tanımlamalarından biri “dijital dönüşüm, teknolojinin insan yaşamının her alanında neden olduğu değişiklikler veya etkileri olarak anlaşılabilir.” şeklindedir [2]. Teknoloji alanındaki ilerlemelerin hızı, gelişen teknolojinin maliyetinde azalmaya sebep olmuştur. Günümüz dünyası azalan maliyetle birlikte, teknolojiyle iç içe yeni bir hale bürünmektedir. Şekil 2.1’ de gösterildiği gibi bu yeni hal teknolojinin iş hayatında daha fazla yer edinmesi konusunu gündeme taşımaktadır. Teknolojinin iş yaşamına dâhil edilmesi konusu isteğe bağlı bir seçenek olmayı geçerek zorunlu bir süreç olma noktasına doğru ilerlemektedir. Dijital dönüşüm sadece teknolojiye ayak uydurmak demek değildir, teknolojiye uyum sağlarken müşteri memnuniyetinin artması da sağlanacaktır. Dönüşümün temel amacı, işletmenin çevikliğini, gelirini ve maliyetini arttıracak olan organizasyon süreçlerini odak noktasına alan dijital iş modelleri oluşturmaktır [3]. Dijital dönüşüm, organizasyonların daha verimli ve üretken olmalarına, rekabetçi piyasa koşullarına ayak uydurmalarına yardımcı olacaktır.



Şekil 2.1 Dijital dönüşümün evrimi [4]

Teknolojik gelişmeleri kapsayan son derece yenilikçi konseptler, geleneksel ağır sanayiye bile dâhil olmaktadır. İnşaat sektörü ülke ekonomileri için en önemli sektörlerden biridir. İnşaat sektörüne yapılan yatırımların miktarı ve her ülkenin gayri safi yurt içi hasılasına (GSYİH) katkısı incelenerek bu durum kolayca anlaşılabilir. 2014 yılında toplam inşaat yatırımı 1,37 trilyon avroyu bulan Avrupa Birliği'nde, inşaat sektörü en büyük paya sahip sektörlerden biridir. Pazarın lideri olarak Almanya'yı Fransa, İngiltere ve İspanya takip etmektedir. İnşaat sektörünün pazarlara katkısı toplam GSYİH'nin yaklaşık %9 ila %12'si arasındadır [5]. İnşaat sektörü en büyük sanayi sektörlerinden biri olmasına rağmen, araştırma ve geliştirme (Ar-GE) yoğunluğu en düşük sektörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Ar-GE için yapılan yatırım eksikliği, en önemli endüstri sektörlerinden biri olan inşaat sektörünün ekonomik etkisine ters düşmektedir.

Mevcut koşullar bu şekilde olsa da inşaat sektörü, havacılık ve bankacılık gibi diğer sektörlerin uzun zaman önce benimsediği ve yararlandığı geleneksel yazılı bilgi alışverişi yönteminden dijital olarak yönetilen bilgi alışverişi yöntemine bir model kayması yaşamaktadır. Bu süreç yaşanırken inşaat ve gayrimenkul sektörünün dijital olgunluk açısından en gerideki sektörlerden olduğu gözlemlenmiştir [6]. Bu nedenle, dijital çağda inşaat sektörünün rekabet dışı kalmamak için çalışma şeklini

değiştirmesi gerekmektedir. Profesyonellerin, dijital bir kuruluş haline gelen inşaat sektöründe müşteri katılımı açısından, sektörü ve süreçleri baştan sona yeniden yapılandırmaları gerekecektir. Ayrıca, dönüşümün yapısını ve ulaşılacak hedefleri belirleyen dijital stratejinin tanımı ve kapsamının yapılması, ilerleme süreçlerinin belirlenmesi gerekecektir, çünkü dijital stratejinin asıl gücü, kapsamı ve hedeflerinde yatmaktadır. Dijital strateji, sürekli evrimi ve işlevler arası iş birliğini teşvik ederek organizasyonel, operasyonel ve teknolojik temeller oluşturmalıdır [7].

şirketlerin dijital olgunluğunu artırmaya yönelik genel öneriler şöyle listelenebilir [8]:

- şirket çalışanlarının dijital yetkinliklerinin, bilgi teknolojileri ve iş çapraz kesitinde geliştirilerek güçlendirilmesi gerekmektedir.
- Bilgi teknolojisinin sağladığı bir iş girişimi olması nedeniyle, bilgi iletişim teknolojileri (BİT) personeline hesap verebilir iş rollerinin verilmesinde fayda vardır.
- Başarılı dijital dönüşüme uygun bir organizasyon kültürü geliştirmek ve inşa etmek önemlidir.
- Uygun kurumsal ortamın güçlendirilmesi ve geliştirilmesinin hızlandırılması gerekmektedir.

2.1.1 İnşaat Organizasyonlarında Dijital Dönüşümün İlkeleri

İnşaat sektörünün disiplinler arası etkisi ve etkileşimi yüksektir. Sosyal ve ekonomik bütünlük açısından birbirini etkileyen sektörel ortam şartlarında, organizasyonlar dijital dönüşüme yönelmeli ve rekabet şartlarına uyum sağlamalıdır. Bunu göz önünde bulundurarak inşaat şirketlerinin dijital dönüşüm stratejisi 5 ana ilkeye dayanacaktır [9]:

- İnşaat endüstrisindeki bütün katılımcılar arasında şeffaf bilgi alışverişi imkanıyla dijital platformları mevcut ekosisteme entegre etmek;
- Dijitalleştirme; şeffaf bilgi alışverişiyle birlikte üretimde, kontrol ve yönetim sistemlerinin uygulanması için iş süreçlerinin teknolojik standardizasyonu;
- Dijital dönüşüm gerekliliklerine uygun uzmanların seçilmesi amacıyla organizasyon yapısının ve personel yönetim sisteminin uyarlanması;

- Tüm kurum çalışanları ve iş ortaklarının dijital farkındalık anlayışlarını geliştirmeyi amaçlayan dijital dönüşümlerin desteklenmesi;
- Dijital dönüşüm yatırımlarının verimliliğinin değerlendirilmesi belirli ekonomik endekslere değil, bir bütün olarak organizasyonun finansal ve ekonomik faaliyetlerinin değiştirilmesine dayanmalıdır. Bu şekilde dijital araç ve sistemlerin kullanımı ile elde edilen objektif kanıtların sağlanması gerekmektedir.

Kurumsal dijital strateji, dijital dönüşümün temel taşı olacaktır. Dijital dönüşüm, daha kaliteli yapı ürünlerini daha düşük fiyatlarla, daha kısa sürelerde üretmeyi amaçlamaktadır. Bunlarla birlikte yapı nesnelerinin güvenliğini ve enerji verimliliğini yeterli düzeyde iyileştirmeyi sağlamalıdır. Müşteriler tarafından öne sürülen birçok yeni talep zaten teknolojik olarak erişilebilir durumdadır ve şirketler bu talepleri karşılama yönelimi göstermektedir. Sonuç olarak, yeni dijital ekosisteme entegre olmaktan kaçınan kuruluşlar, dönüşüm yolunda olan inşaat yatırımcıları ile rekabet edeceklerdir. Müşterilerin artan beklentileri, fiyatlandırma ölçütü ve piyasa rekabeti, inşaat sektöründe organizasyonların dijital dönüşümünü destekleyen temel itici güçlerdir.

2.1.2 İnşaat Sektöründe Dijitalleşmenin Etkileri

Dijital teknolojilerin benimsenmesi, tüm endüstri, çevre ve insanlar için çeşitli avantajları beraberinde getirir. Bu avantajlar şöyle sıralanabilir [3]:

- **Para Tasarrufu:** Emek yoğun süreçlerin otomasyonu, örneğin; robotik veya otomatik iş akışlarının kullanılması, işçilik maliyetlerinin azalmasına neden olur.
- **Zaman Tasarrufu:** Yenilikçi üretim teknolojileri prefabrikasyon veya eklemeli imalat gibi teknolojiler zaman tasarrufu sağlayacaktır. Bu kavramlar, geleneksel inşaat yöntemlerinden daha hızlı şekilde, binanın birkaç gün içinde inşa edilmesini sağlar.
- **Zamanında ve bütçe dâhilinde teslimat:** Geçmişte, inşaat projelerinin zamanında ve bütçe dâhilinde teslim edilmesinin zorlu bir görev olduğu görülmüştür. YBM kullanımı, projelerin bütçe dahilinde ve planlanan zamanda tamamlanmasına yardımcı olabilir.

- **Kaliteyi iyileştirmek:** Tüm inşaat sürecini simüle ederek erken aşamalarda hatalar önlenebileceğinden, binanın kalitesini artırmak için YBM ve diğer simülasyon teknolojileri kullanılabilir. Ayrıca büyük veri analitiği, proje yöneticilerinin geçmiş verilere dayalı olarak daha etkili ve bilinçli kararlar almasına yardımcı olabilir.
- **İşbirliğini ve iletişimi geliştirmek:** İnşaat projesinde yer alan yüksek sayıda proje katılımcısı nedeniyle, sosyal medya uygulamaları, bulut ve YBM tabanlı platformların kullanımı, şirket sınırlarının ötesinde bile iş birliğini ve iletişimi verimli bir şekilde iyileştirebilir.
- **Müşteri ilişkilerini geliştirmek:** İnşaat şirketleri artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve karma gerçeklik gibi simülasyon teknolojilerini mobil cihazlar veya giyilebilir bilgi işlem ile uygulayarak, proje sahiplerine bir binanın inşa edilmeden önce ayrıntıları ve tasarımı hakkında daha fazla bilgi sağlayabilir. Böylece müşteriler binanın daha iyi özelleştirilmesi için planlama sürecine dâhil edilebilir.
- **Güvenliği artırmak:** İnşaat sektörü tehlikeli çalışma ortamı nedeniyle, yüksek oranda iş kazaları ile tanınmaktadır. Yeni teknolojiler, sanal güvenlik eğitimi, iş kazalarını önlemek için risk haritaları, akıllı gözlükler veya akıllı kasklar gibi giyilebilir teknolojileri kullanarak; inşaat güvenliğini artırmak için birçok farklı yaklaşım sunabilir.
- **Sektörün imajını iyileştirmek:** İnşaat sektörü, zorlu çalışma ortamı ve düşük dijitalleştirme düzeyi ile tanınmaktadır. Bu nedenle, zayıf işveren imajından olumsuz etkilenmektedir ve çoğu zaman yetenekli çalışanları iş gücüne çekmekte zorlanır. Tüm endüstrinin dijital dönüşümü, imajını iyileştirmeye yardımcı olabilir.
- **Sürdürülebilirliğin iyileştirilmesi:** Yapı ve inşaat sektörü, inşaat süreçlerinde enerji tüketimi ve yüksek düzeyde atık nedeniyle oluşan yüksek karbondioksit emisyonlarından sorumludur. Bu çevresel sorunların üstesinden gelmek için, inşaat atıklarının en aza indirilmesi, stratejik proje yönetimi yoluyla proje emisyonlarının azaltılması veya tasarım alternatifleri oluşturmak için YBM kullanılabilir.

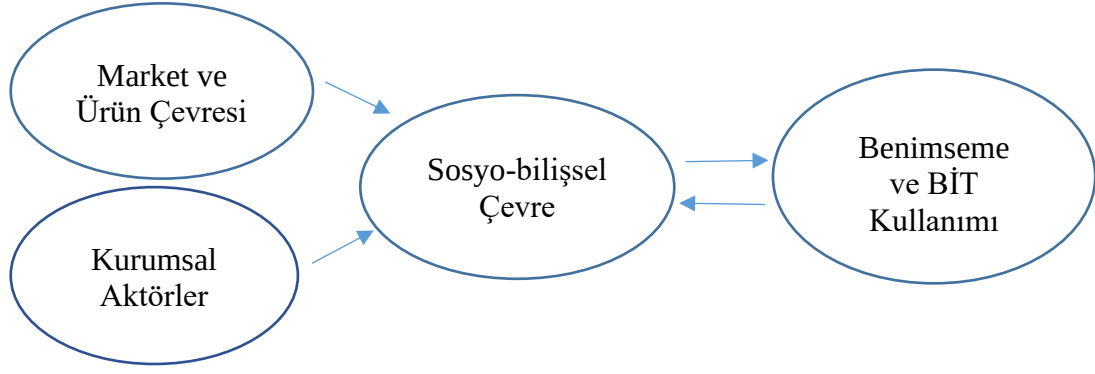
2.2 İnşaat 4.0 Kavramı

Endüstri 4.0 kavramı bilgi iletişim teknolojilerini ve endüstrileri ortak bir paydada buluşturarak birlikte çalışmasını amaçlayan bir stratejik plandır. Nesnelerin interneti, sensörler, bulut bilişim gibi teknolojileri endüstriyel süreçlerin bünyesine katmayı amaçlamaktadır. Birçok benzerliği paylaştığı için inşaatın zaten Endüstri 4.0 olduğu söylenebilir. Yapı ürünleri her zaman yatırımcının gereksinimlerine, standartlara, sözleşmelere, konumlara ve benzerlerine uyarlanmıştır. Bu doğrultuda, akıllı binalar ve akıllı şehirler müşterilerin ihtiyaçları doğrultusunda gelişmeye devam etmektedir. İş açısından bakıldığında, inşaat proje çalışması dinamik bir yapıya sahiptir. Bunun yanında iş süreçleri ve güvenlik üzerinde de en büyük etki faktörü olarak İnşaat 4.0 göze çarpmaktadır. İnşaat 4.0, çeşitli sensörlerin, kameraların, inşaatçıların ve kullanıcıların; binalar, nesneler ve halihazırda inşa edilmiş çevre hakkında ortaya koyduğu verilerin dijital biçimde sayısallaştırılmasıyla ortaya çıkan potansiyelden yararlanmakla ilgilidir [8].

Avrupa inşaat endüstrisi federasyonu tarafından Endüstri 4.0' ın inşaat sektörü özelinde isimlendirilmesinden İnşaat 4.0 olarak bahsedilmiştir. Dijital teknolojilerin endüstrileri dönüştürdüğüne, dönüşmeyen sektörlerin bile sonunda bu dönüşüme dâhil olmak zorunda olduğuna dair fikir birliği olmasına rağmen, inşaat endüstrisinin yeni teknolojileri uygulamada yavaş olduğu bilinmektedir. İnşaat sektörünün dijitalleştirilmesi, gelişmiş süreç ve teknolojilerin birçok yönüne sahiptir [8]:

- Endüstriyel üretim (prefabrikasyon, otomasyon, 3D baskı vb.)
- Robotlar
- Dijital şantiyeler

Bilgi iletişim teknolojileri uygulamalarının benimsenmesi ve kullanılması Şekil 2.2' de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 BİT’ in benimsenmesi ve kullanılmasının şekillendirilmesi [10]

Pazar ve üretim ortamında talep yönünü etkileyen faktörlerle ilgili yapılan analizler, müşterilerin benzersiz tasarımlara ve hareketsiz ürünlere olan taleplerini projelere göre düzenlemenin en uygun tercih haline geldiğini göstermektedir. Projelere göre yapılanma, yönetim sisteminde zaman, maliyet ve kapsamın merkezi öneme sahip olacağı anlamına gelir. Bununla birlikte, müşterilerden gelen düşük fiyata dayalı ihale politikasına yönelik geleneksel talepler, aktörleri en düşük teklifi verenlerle bir proje ağı oluşturmaya zorlamaktadır. Bu, sektörü karakterize eden kısa vadeli piyasa temelli ilişkilerin önemli nedeni olarak görülebilir [11]. Mühendislik ve mimarlık endüstrisinin Endüstri 4.0’ a diğerlerinden farklı bir yönden yaklaştığını belirtmek gerekir. İnşaat 4.0, tüketiciye özel ürünlerin seri üretimi durumunu değil, sanayileşmeyi, üretimin tekrarı ve sürekliliği için fırsatlar arayan kitlesel üretim için bir organizasyonu tanımlamaktadır. İnşaat, her zaman benzersiz, türünün tek örneği ürünlerin üretimi ile uğraşmış ve hiçbir zaman inşaat süreçleri kapsamında gerçek seri üretim örneklerine sahip olmamıştır. Mühendislik endüstrisinin mal üretme yaklaşımı, büyük ölçekte zanaat üretimi olarak görülebilir; ürün geleneksel olarak bir gökdelen, köprü veya konut tipindedir. Bu nedenle, endüstrinin temel amacı, üretimin özelleştirilmesi olan diğer endüstrilerden oldukça farklı olan benzersiz ürünlerin üretiminin sanayileşmesidir [11].

İnşaat sektöründe proje, disiplinler arası, parçalı ve geçici bir yapıya sahiptir. Organizasyonlar, süreç kesintileri ve benzersiz projeler ile karakterize edilmektedir. Bu parçalanma, inşaat projesinin gereksinimlerini maliyet, zaman ve üretkenlik açısından karşılamayı çok zorlaştırmaktadır. Finans, kurumlar, yetkililer, mimarlar, mühendisler ve diğer farklı paydaşlar arasındaki bağımlılıklar karmaşıklığı artırır. Bu durum, inşaat projelerinin entegrasyonunu, iş birliğini, iletişimini ve

koordinasyonunu geliştirmesini gerekli kılar. Paydaş etkileşiminin en önemli unsurları, insan iş birliğinin temel bileşenleri olarak kabul edilen bilgi yönetimi ve iletişim süreçleridir. Belgeler, önemli bir bilgi taşıyıcısı olarak hizmet eder. Günümüz iş dünyasında, BİT gerektiren, bilgisayarlarla oluşturulan ve depolanan dosyalar belge olarak esas alınır. İnşaat projelerinin bahsedilen yönleri, güvenilir ve güncel bilgilere çok bağımlıdır. Bu sebeple BİT tabanlı iş sistemlerine, iletişim araçlarına ve paylaşılan depolama sunucularına ihtiyaç duyduğu reddedilemez bir gerçek olarak göze çarpmaktadır [12].

İNşaat proje yönetimi uygulamalarındaki yenilik eksikliğinin, üretkenlik kaybına yol açağından söz edilebilir. Dijitalleşme, günümüz inşaat endüstrisinde çok sayıda gelişmiş BİT aracıyla desteklenen sıcak bir konudur. İnternet tabanlı proje platformları, dijital toplantılar ve YBM, çoğu zaman tam potansiyellerine ulaşmalar da bir süredir sektörde yer almaktadır. İnşaat endüstrisindeki çoğu profesyonel için BİT günlük işlerde gerekli ihtiyaçı karşılamaktadır. İnşaat ve proje yönetimi uygulamalarının uygun şekilde dijitalleştirilmesi üretkenlikteki düşüşü tersine çevirmeye yardımcı olabilir [12].

İNşaat 4.0, inşaat maliyetleri ve zaman çizelgesinin iyileştirilmesine etki etmektedir. Teknolojik açıdan bakıldığında, inşaat sektörü dijital ikiz olarak isimlendirilmese bile bu terimler ortaya çıkmadan önce dahi dijital ikizlere sahipti. Yapı Bilgi Modelleme, Varlık Bilgi Modelleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, fiziksel karşılıklarının dijital kopyalarıdır. Mühendislik ve mimarlık endüstrisinin bu kadar dikkat çekici olmasının sebebi, dijitalleşmeyle beraber tüm yaşam döngüsü boyunca maliyeti düşürecek birçok kâr fırsatı ortaya çıkaracak olmasıdır [8].

2.2.1 İnşaat Sektöründe Temel Dijital Unsurlar ve İşlemler

Dijital yapının yer alabileceği birçok alan mevcuttur. Örneğin, daha kolay iletişime izin veren ve seyahat ihtiyaçını azaltan mesajlaşma araçları süreçlere dâhil olabilir. Ayrıca, üretim sürecinin iyileştirilmesi veya otomasyonu, bulut tabanlı bilgi işlem ve dosyalama sistemi veya operasyon yönetiminde kullanılan yazılım uygulamaları örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca saha incelemesi için insansız hava aracı, 3D ve 4D baskı, robotik, yapay zekâ vb. gibi bazı gelişmiş araçlar da örnek olabilir. Yapay zekâyı (B), büyük veriyi (C) ve bağlantı (D) kapsayan dijital yapıyı (A) tanımlayan $A = B+C+D$ şeklinde bir model mevcuttur [3].

2.2.1.1 Yapay Zekâ (B)

Yapay zekâ kavramı, insana özgü algılama, düşünme, öğrenme ve karar verme gibi özelliklerin makineler tarafından yapılması olarak tanımlanabilir. Sanal ortamda oluşturulan ikiz ve gerçek yaşamda bulunun yapı arasında sürekli bir etkileşimin olduğu dijital ikiz teknolojisinde kullanılması öngörülmektedir. Veri akışıyla beslenen sistem, kendisi öğrenen, gelen verileri yüksek verimle işeyebilen ve bu verilerden yüksek düzeyde yararlanabileceği bilgiler üretebilen bir yapıya sahip olmalıdır. Elde edilen verilerin ikiz tarafından anlamlandırılması, ikizin bir yapay zekâyâ sahip olması gerektiğini ifade eder. Yapıya ve yapının yaşam döngüsüne ilişkin tüm veriler, bu süreçte veri seti olarak kullanılabilir. Yapay zekâyâ sahip bir bina modeli, yapı elemanlarının fiziki durumundan, kullanıcıların hareket alışkanlıklarının analizine kadar pek çok bilgiyi öğrenebilir. Veri geçmişini analiz edilerek geleceğe yönelik tahminler yapılır, bu tahminler daha sonraki tasarımlar için yol gösterici olabilir. Örneğin; yapıda gerçekleşmesi muhtemel bir hasarın önceden tespit edilebilmesi ikizin daha önceden bu yönde eğitilmiş olması ile mümkün olabilir [13].

2.2.1.2 Büyük Veri (C)

Büyük miktarda yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış durumda olan, geleneksel yazılım ve veri tabanı teknikleri kullanılarak işlenmesi zor olan verilerdir. Etkili veri toplama ve paylaştığı yöntemler, dijital dönüşümde en önemli konulardan biridir. Şantiyeler, dahil olan kişi sayısı, çok miktarda ekipman ve aynı anda gerçekleşen görevler nedeniyle daha da karmaşıklaşmaktadır. Ayrıca büyük veri, tedarik zincirindeki değişim ve performans değerlendirme ölçütlerinde de önemli bir rol üstlenmektedir. Veri, dijital araçlar ve yapay zekâ gibi dijital konsept ile çalışmaktadır. Büyük veri, bireysel lokasyonlar, satışlar, bakım, çalışma saatleri, internet ve performans vb. ekipman bilgilerinden toplanan çok büyük miktarda veriye eşit olabilir [3].

2.2.1.3 Bağlantı (D)

5G ağı, her sektörde bağlanabilirliği önemli ölçüde artırır ve otonom makine geliştirmeye olanak tanır. 5G ağı, veri aktarımını iyileştirir ve daha hızlı aktarım sağlar. 5G ağı ile daha doğru sinyaller elde edilebileceğinden, kendi kendini süren makinelerin performansını artıracaktır. Ayrıca, güvenliği ve verimliliği artırmak

için iletişimi de geliştirir. 5G ağı, ultra yüksek çözünürlüklü video sağlayarak teknolojik performansını da artırır [3].

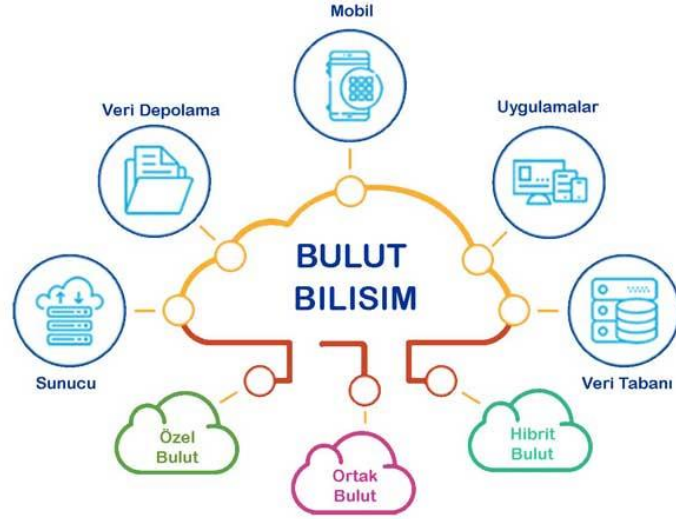
İnşaat işlerinde akıllı telefon gibi mobil teknolojiler kullanılmaktadır. İşçiler akıllı telefon kullanarak bilgileri kaydedebilir ve internet bağlantısı aracılığıyla başkalarıyla paylaşabilir. Çekilen fotoğraflar ayrıca uzak bir yerin incelenmesine de yardımcı olabilir.

- **Nesnelerin İnterneti**

Nesnelerin interneti, tüm günlük nesneleri internete bağlamak anlamına gelir. İnşaat açısından nesnelerin interneti, malzeme, ekipman, makine, yapı vb. performanslarını belirlemek için merkezi veri platformuna bağlantı sağlayabilir. Sensörler, yakın alan iletişimi (NFC) gibi gelişmiş teknolojiler, varlıkları ve personel üretkenliğini kontrol edebilir. Örneğin, malzemelerin stokta kalmadığını tahmin etmek ve sorumlu kişiyi bilgilendirmek için envanter yönetiminde benimsenebilir. Ayrıca, iletişim kuran, keşfeden ve kullanıcıyı bakımdan kaçınması konusunda bilgilendiren sensörler kullanılarak ekipman izleme gerçekleştirilebilir. Ek olarak, kusurları keşfetmek için titreşim sensörleri kullanılarak yapının kalitesi incelenebilir. Araç çalışmıyorsa kullanıcıları bilgilendirecek giyilebilir cihazlar kullanılarak işçi güvenliği artırılabilir [3].

- **Bulut Depolama**

Bulut depolama, verileri yedekleyen, yöneten ve herkesin ağ ile erişebildiği bir bulut bilişim modelidir. Ağ bağlantısı üzerinden güvenlik planları, çizimler gibi çeşitli belgelere erişebilirler. Yapım aşamasında bulut depolama, gerçek zamanlı iş birliğini geliştirebilir. Şekil 2.3' te gösterildiği gibi bulut bilişim ağıyla, bağlantısı olan herkes problemini veya mesajını güncelleyebilir ayrıca tüm ekip üyeleriyle paylaşabilir. İnşaat alanında bulut depolamanın benimsenmesi, veri kaybını ve fiziksel hırsızlığı önleyerek güvenliği artırabilir, internet ağı ve cihazlarının mevcut olduğu her yerde plan, karşılaştırma veya ölçüm yapılmasına olanak tanır.



Şekil 2.3 Bulut bilişim ağı [14]

Bulut depolama, büyük miktarda verinin yönetilmesi gerektiğinden, büyük veri çözümlerinin uygulanmasında, YBM modelleri, gömülü sensörler, bilgisayarlar, makineler veya insanlar gibi tüm veri üreten cihazlardan ya da araçlardan gelen verilerin toplanmasına yardımcı olabilir. Örneğin, geçmiş büyük verilerin analizi, gelecekteki projelerde veya gelişmiş karar vermede performans iyileştirmeleri için inşaat risklerinin olasılıklarını belirlemeye olanak sağlar [15].

2.2.1.4 Dijital Uygulamalar

İnşaat sektöründe dijital unsur ve işlemleri de bünyesinde bulunduran ve hali hazırda kullanılan dijital uygulamalar mevcuttur.

- **Yapı Bilgi Modelleme**

İnşaat paydaşlarının tüm inşaat aşamaları için kullandıkları yazılımlar birbirinden farklıdır. Bu, tasarım, program ve maliyetin gerçek zamanlı olarak entegre edilmesinin ulaşılamaz bir hal almasına neden olmuştur. Yapı Bilgi Modelleme, standart mekânsal tasarımın 3D parametresine ek olarak modellere zaman verisi girilmesine nesnelere maliyet verisi girilmesine de olanak tanır. Daha hızlı reaksiyon ve daha fazla doğruluk sağlar. İnşaat kullanıcılarının, değişken takvimini ve proje maliyetini analiz etmesine, sonuçlarını belirlemesine izin verir. Yapı Bilgi Modelleme hem tasarım süreçlerinin hem de inşaa süreçlerinin daha sürdürülebilir ve daha verimli yapılabilmesi için sanal gerçeklik ve arttırılmış gerçekliği de bünyesine katan bir alternatif sunar [3].

- **Prefabrikasyon**

Saha dışı yetenekleri nedeniyle prefabrike yapı, şantiye ile entegre edilerek bir üretim sistemine dönüştürülebilir. Bu entegrasyon, verimliliği ve güvenliği artıracak aynı zamanda da israfı azaltacaktır [3].

- **İnsansız Hava Aracı (İHA)**

İHA' lar olarak bilinen insansız hava araçları, kamera ve sensörlerle donatılı, pilotsuz, uzaktan yönlendirilebilen araçlardır. Üzerindeki kamera sayesinde iş takibi yapabilirler. Savunma sanayi gibi alanlarda da kullanılan bu araçlar, ticarileşerek farklı boyut, kapasite ve özelliklerde üretilmiştir. Tarayıcı, kamera, radyo frekansı tanıma okuyucularına sahip olabilirler. Gözetim yaparken çevresel sorunları tespit edebilir, tehlikeyi görebilir ve raporlayabilirler. Manevra kabiliyetleri ve hız avantajıyla iş takibi, denetim, iş kazalarını azaltma, uzak noktalara erişim, geniş alanlara hâkimiyet, saha kontrolü ve mekânsal analiz gibi amaçlarla kullanılabilirler [13].

İHA' lar şantiyede güvenliği artırmak ve gözetim sağlamak için iki önemli rol oynar. Yönetici, insansız hava araçlarını kullanarak şantiye koşullarının tamamen yeni bir görünümünü elde edebilir. İHA' nın kuş bakışı özelliği, arazinin ve kaydedilen ilerlemenin eksiksiz bir görüntüsünü sunabilir böylece insan hatalarının azaltılmasına yardımcı olur. Ayrıca İHA' lar, alanda bulunmasalar da sorumlu kişiyi döngüde tutarak iletişim aracı olarak da rol oynarlar. Güvenlik açısından İHA' lar tüm saha koşullarını ve çalışma sürecini izleyebilmektedir. İHA, yerde kolayca gözlemlenemeyen işçinin güvenliğine yönelik tehditler olduğunda alarmı etkinleştirerek güvenliği artırabilir. Bu, herhangi birini yaralanmaktan kurtarabilir.

- **Lazer Tarama Teknolojisi**

Lazer tarama teknolojileri binaların veya arazilerin gerçeğe uygun üç boyutlu rölelerinin alınmasını sağlamaktadır. Lazer tarayıcılar kullanılarak bir yapının 3 boyutlu modeline ulaşılabilir. İnşaat sektöründe lazer tarama teknolojilerinin kullanımı sayesinde binaların yenilenmesi, tamirat gibi işlerin hızlanması ve ölçüme dayalı hataların yok edilmesi sağlanmaktadır. Lazer tarayıcıların havadan lazer tarayıcılar, mobil lazer tarayıcılar ve yersel lazer tarayıcılar gibi çeşitleri vardır.

Yersel lazer tarayıcıların geleneksel ölçüm yöntemlerine göre avantajları şu şekildedir [16]:

- Nesnenin 3D verisinin doğru ve hızlı bir şekilde elde edilebilmesi,
 - Maliyetleri düşürme ve inşa sürecini hızlandırması,
 - Geleneksel metotların yetersiz kaldığı heyelan bölgesi veya ulaşılmaz, karışık alanların uzaktan görüntülenebilmesi,
 - Yersel lazer tarayıcıların ışığa ihtiyaç duymadan çalışabilmesi,
 - Taramadan elde edilen verilerin kapsamlı, detaylı ve bütüncül olması; ekstradan gereken bir veri için tekrardan saha çalışmasına gereksinim duyulmaması,
 - Tarama verilerinin depolanıp, gerektiği durumlarda tekrar kullanılabilmesi.
- **3D Baskı**

3D baskı, bilgisayar sistemlerindeki sanal verilerden somut bir nesne elde edilmesi işlemidir. Baskı yoluyla somut bir nesne elde etmek için 3 boyutlu yazıcılar ve yazıcıların 3 boyutlu objeye dönüştürebileceği miktarda veri birikimi gerekmektedir. 3D yazıcı kullanılarak inşaatın süresi ve maliyeti önemli ölçüde azaltılabilir. Ayrıca yazıcı, betondan harca kadar çeşitli yapı malzemeleri üretebilir. Bu malzemeler bina kodlarını yerine getirmek için geliştirilmektedir. Her ne kadar endüstri 3D baskının yaygın hale gelmesinden hala biraz uzakta olsa 3 boyutlu üretim inşaat endüstrisinde çok sayıda ülkede ev ve yapı malzemeleri gibi nesnelerin üretiminde kullanılmaya başlanmıştır.

- **Robotlar**

İnşaat alanında vinç ve buldozer gibi büyük makinelere sıkça rastlanır. İnşaat sektörü, yıkım, tesviye, kazma vb. işlemleri daha etkin ve daha az insan enerjisi ile yapabilen daha fazla robota ihtiyaç duymaktadır. Bu makineleri otonom hale getirmek, projeler için birçok açıdan harika sonuçlar verebilir. İlerlemeyi kontrol eder ve işçilerin zarar görmemesini sağlar. Böylece daha güvenli çalışma sahalarına olanak tanır, ayrıca işin verimliliğini de artırır. Güvenlik açısından robotlar, şantiyedeki daha riskli ve zorlu işleri gerçekleştirebilir [3].

2.2.2 İnşaatta Siber Fiziksel Sistemler

İnşaat sektöründe bilişime yönelik inovasyonların çoğunun YBM' ye odaklandığı görülmektedir. Bu nedenle, Avrupa İnşaat Endüstrisi Federasyonu' nun "YBM,

İnşaat 4.0' ın merkezinde yer alır ancak tek unsur değildir. En önemlisi, YBM inşaat sektörünü değiştirebilir ve İnşaat 4.0' ı kolaylaştırabilir." şeklinde görüş belirtmektedir [17]. İnşaat endüstrisinin karşı karşıya olduğu büyük değişimin önemli parçası olarak, YBM' nin ne olduğuna dair tek tip bir tanım olmadığı görülmektedir. Avrupa İnşaat Endüstrisi Federasyonu, YBM için şu tanımlamayı uygun görmüştür, "YBM, bağlama bağlı olarak Yapı Bilgi Modelleme, Yapı Bilgi Modeli veya Yapı Bilgi Yönetimi anlamlarına gelmektedir bazen başka terimler de kullanılabilir [17]." Bahsedilen diğer terimler arasında kavramın ilkesini ve ruhunu mükemmel bir şekilde yakalayan bir tanım ortaya çıkmaktadır: Daha İyi Bilgi Yönetimi. Endüstri 4.0 bağlamında YBM, mükemmel bir şekilde tanımlanmıştır: "YBM modeli, tüm bina-proje yaşam döngüsü boyunca proje iletişimi için gerçek bir binanın dijital bir temsilidir [18]."

Mühendislik ve mimarlık endüstrisinde, siber fiziksel sistemlerin beş düzeyinin tamamı bulunur [8]:

- **Bağlantı Düzeyinde**

Binalar, altyapı nesneleri, yollar ve yapıları çevreyi sunan diğer mühendislik tesisleri. Örneğin sıcaklık, nem, trafik hacmi, yer değiştirmeler, kuvvetler, voltajlar ve benzerlerini ölçmek için sensörlerle donatılmıştır.

- **Veriden Bilgiye Dönüştürme Düzeyinde**

Toplanan verilerin çoğu hâlihazırda analiz edilmektedir. Ham sensör verileri bilgisayar tarafından incelenerek karar alınmasında yardımcı olmaktadır. Örneğin, trafik hacmine göre trafik şeritlerinin açılması, tünelin kapatılmasına dayalı olarak içindeki araçların hızı, temellerin yer değiştirmesine dayalı uyarılar vb.

- **Siber Düzey**

Mühendislik ve mimarlık endüstrisinin bakış açısından en çok öne çıkan düzeydir. Yapı Bilgi Modeli, analiz, çıkarım, tasarım, planlama ve bakım için temel oluşturur. Bu, endüstri için dijital ikiz örneği olan bir çerçeve sağlar.

- **Biliş Düzeyi**

Makine öğrenmesi ve tündengelim alanında en çok çalışma biliş düzeyinde yapılmalıdır. Sensör ağlarından elde edilen verilere dayalı trafik yoğunluğunun etkin tahmini bunlardan biridir.

- **Yapılandırma Düzeyi**

Otonom sistemler düzeyinde, sistemlerin belirli etkilere karşı olumsuz sonuçlarını sıfıra indirgeyerek otomatik adaptasyonunu sağlayacak otonom çözümler sunabileceği bir süredir bilinmektedir. Örneğin, enerji ihtiyaçlarına, rüzgâra, depreme ve trafiğe, vb. nasıl yanıt vereceğini aktif olarak öğrenen akıllı binalar veya kendi kendini yapılandırabilen nesneler olabilir.

Tanımlanan tüm çözümler, siber adalar düzeyinde oluşturulur. Uygulamalar ve hizmetler için tek bir pazarla birlikte hizmetlere teknik altyapı sağlayan, aynı zamanda sağlayıcıları ve tüketicileri birbirine bağlamanın etkili bir yolunu sağlayan birleşik İnşaat 4.0 platformları hala geliştirme aşamasındadır.



TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM SÜRECİNİN ÖNÜNDEKİ ENGELLERİN BELİRLENMESİ

Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellerin belirlenmesi için öncelikle inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellerin belirlenmesi daha sonra bu engellerin Türk inşaat sektörü için uygunluğunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Aşağıdaki bölümlerde bu aşamaların detayları sunulmaktadır.

3.1 İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Sürecinin Önündeki Engeller

İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellerin belirlenmesi amacıyla Scopus veri tabanında “dijital adaptasyon, dijital teknoloji, dijital dönüşüm, inşaat sektörü, engeller, yorumlayıcı yapısal model, risk faktörleri” anahtar kelimeleri kullanılarak makale, tez ve bildiri türündeki yayınlar araştırılmıştır. Bulunan sonuçlardan inşaat sektörüyle ilgisi olmayanlar elenmiş, sonrasında ise yayın tarihi 2013-2023 yılları arasında olan 38 adet kaynak belirlenmiştir. Bu yaklaşım sayesinde konuyla ilişkili ve güncel kaynakların çalışmaya yol göstermesi sağlanmıştır. Belirlenen bu kaynaklarda yer alan inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller ve bu engellerin frekans analiz sonucu Tablo 3.1’ de sunulmaktadır. Yapılan çalışmada 38 kaynaktan 28’ inde bahsedilme sıklığıyla dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti en çok öne çıkan engel olarak göze çarpmaktadır. Bu engeli 38 kaynaktan 26’ sında bahsedilme sıklığıyla inşaat sektöründe çalışan ekibin dijital dönüşüm sürecini kabullenmeyişi engeli ve 38 kaynaktan 23’ ünde bahsedilme sıklığıyla yetkin teknik personel eksikliği engeli ve dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği engelleri takip etmektedir. En az bahsedilme sıklığına sahip engeller ise 38 kaynaktan 7’ sinde yer alan hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği, teknolojik yapılarıdaki donanımsal ve yazılımsal hataları ve inşaat sektöründe dijital dönüşüme yönelik rekabet ve motivasyon eksikliği engelleridir.

Tablo 3.1 İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellere ilişkin literatürün frekans analizi

	Engeller	Açıklama	Referans	Sıklık
1	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği	İnşaat sektörü geleneksel yapısıyla teknolojik gelişmelerin dışında kalmış farklı sektörlerde yaşanan dijital gelişmeleri takip edememiştir. Sektör paydaşları yeni teknolojilerin inşaat sektörüne getirebileceği faydalar ve yenilikler konusunda yeterli bilgiye sahip değildir.	[19][20][21][22][23] [24][25][26][27][28] [29][30][31][32]	14/38
2	İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijital dönüşüm sürecini kabullenmemesi	Dijital gelişmelerin kullanımına uyum sağlamak, yeni eğitim süreçlerinin içerisinde yer almak ekip üyeleri için ekstra çalışma ve çaba gerektirmektedir. Ayrıca yeni teknolojilerin kullanımıyla iş süreçlerinde insan faktörünün azalacağına olan inanç çalışanların dijitalleşme konusunda isteksiz davranmasına neden olmaktadır.	[5][8][21][22][23] [24][25][26][27][31] [32][33][34][35][36] [37][38][39][40][41] [42][43][44][45] [46][47]	26/38
3	Yetkin teknik personel eksikliği	İnşaat sektörü rekabeti oldukça yüksek olan bir sektördür. Şirket başarısını arttırmak için yenilikçi teknolojilere geçişin yaşanması zorunlu hale gelmektedir. Bu geçiş sürecine uyum ne kadar çabuk sağlanırsa rekabete ayak uydurmak o derece kolay olacaktır. Çalışanların uyum ve becerilerini arttırmak için nitelikli eğitmenler ve uygun motivasyon yönetimi sağlanarak çalışanların adaptasyon becerisi en yüksekte tutulmalıdır. Ancak çalışanlara gerekli eğitimi verecek yetkin teknik personel sayısı sınırlıdır.	[2][4][5][8][19][20] [21][22][24][25][26] [28][30][31][32][33] [36][38][40][42][48] [49][50]	23/38

Tablo 3.1 İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellere ilişkin literatürün frekans analizi (devamı)

4	Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği	Şirketlerin dijital dönüşüm süreçleri yüksek maddi yatırım, yeni bir organizasyon yapısı ve eğitim süreçlerini gerektirir. Dolayısıyla dönüşüm süreçleri en küçük detayına kadar iyi bir şekilde planlanarak dikkatlice yürütülmelidir. Bu sürece liderlik edecek nitelikte yöneticiyi bulmak oldukça zordur.	[21][25][26][27][30] [31][32][44][46]	9/38
5	Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti	Dijital dönüşüm sürecinde çalışanların eğitimine ayrılacak bütçenin yüksekliği, teknolojik altyapı maliyeti gibi yüksek yatırımlara karşılık maddi geri dönüşlerin tahmini konusundaki belirsizlik firmaların organizasyonlarını dönüştürmekten imtina etmesine neden olmaktadır.	[2][5][8][19][20] [21][22][23][24][25] [26][27][29][30][32] [33][34][35][36][37] [38][39][40][41][42] [43][45][49]	28/38
6	Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu	Dijital bir yapının sorunsuz bir şekilde işleyişe geçmesi için organizasyon içerisindeki çalışanların nitelikli eğitimler almaları gerekmektedir. Dijital yapıların anlaşılması kolay olmadığından verilecek eğitimler belirli bir süreç gerektirecektir. Bu sürecin kısa olmaması zaten zamana karşı yarışılan inşaat sektöründe dönüşüme karşı mesafeli bir tutuma neden olmaktadır.	[19][20][21][23][25] [27][32][43][48][49] [51]	11/38
7	Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği	Devlet nezdinde şirketleri teşvik edecek politikaların yetersizliği dönüşüm sürecinin hızlanmasında engel teşkil etmektedir.	[25][26][28][30][46] [47][49]	7/38

Tablo 3.1 İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellere ilişkin literatürün frekans analizi (devamı)

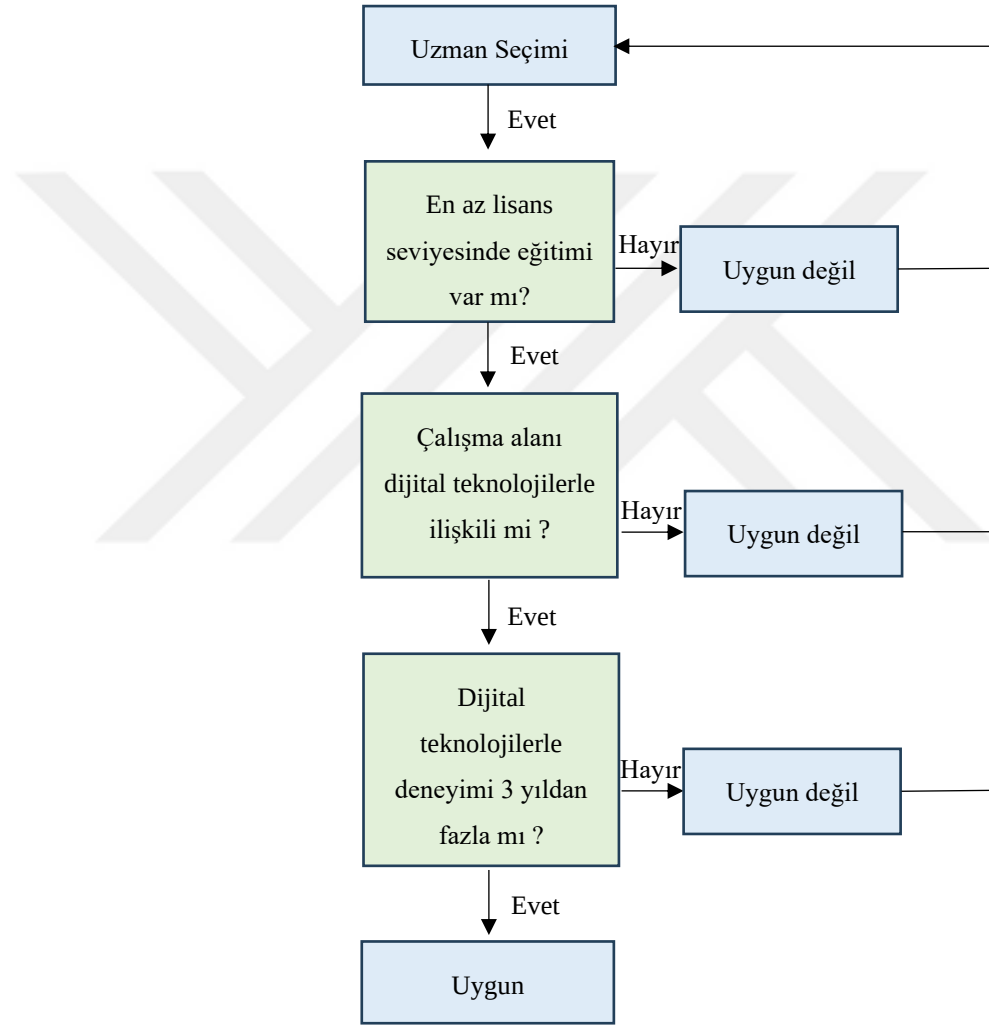
8	Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği	Özellikle gelişmekte olan ülkelerde yönetimlerin yenilikçi teknolojilere olumlu yaklaşımıyla pek karşılaşılmaz. Yeni teknolojilere bu mesafeli tutum yasal düzenlemelerin değişim sürecini de geciktirmektedir. Dijital dönüşümün gerçekleşebilmesi için yasal süreçlerin uygunluğu gerekmektedir. Özellikle mahremiyet ve gizlilik konusundaki kurallar dönüşümün önünde engel teşkil etmektedir.	[5][8][19][20][21] [22][25][26][28][29] [30][31][32][33][35] [36][37][38][39][42] [43][45][52]	23/38
9	Veri güvenliği endişesi	Yeni teknolojilerin organizasyonlara dâhil olması beraberinde siber güvenlik endişelerini de getirmektedir. Özellikle inşaat sektörü gibi sürekli aktif şekilde ilerleyen ve sürekli veri üreten bir sektörde; biriken bunca verinin depolanması, depolanan verilere herkesin ulaşabileceği endişesi teknolojik dönüşümün önünde engel teşkil etmektedir.	[5][8][19][20][21] [22][24][25][28][29] [31][32][35][36][37] [39][40][44][47][49]	20/38
10	Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler	Dijital dönüşümün uygulanmasından tam verim alınması için organizasyonların bütün seviyeleri değişime dâhil olmalıdır. Dönüşüm sürecinde herhangi bir alt seviyede oluşacak hata bütün yapıyı etkileyecektir. Meydana gelecek olası aksaklıkların getireceği zaman ve para kaybını tahmin etmek oldukça zordur.	[2][5][8][21][22] [23][24][25][27][28] [29][31][37][42][50] [51]	16/38

Tablo 3.1 İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellere ilişkin literatürün frekans analizi (devamı)

11	Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi	Dijital yapılar bütün çalışanlarla doğrudan aktif etkileşimli sistemlerdir. Katılımcılar arasındaki uyumsuzluklar dijital sistemin işleyişini komple etkileyecektir.	[2][22][25][30][31] [34][36][41][43][44] [48][51]	12/38
12	Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm süreçlerinden geçen firma sayısı oldukça azdır. Bu yüzden dijital dönüşüm evrelerinin en verimli şekilde nasıl tamamlanacağı konusu net değildir. Sektöre örneklik edecek model eksikliği firmaların dijital dönüşüme mesafeli bir tutum almasına neden olmaktadır.	[5][8][23][25][27] [28][31][32][35][37] [39][42][46][48][50]	15/38
13	Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hataları	Dijital teknolojilerde meydana gelecek donanımsal ve yazılımsal hatalar kolayca müdahale edilecek türden hatalar değildir. Konunun uzmanları tarafından sorun çözüme kavuşturulmalıdır. Çözüm sürecinin alacağı zaman ve süreç boyunca işlerin manuel olarak ilerlemeyecek olması dijital dönüşüme yaklaşım konusunda firmaları düşündürmektedir.	[21][24][32][35][40] [42][51]	7/38
14	İnşaat sektöründe dijital dönüşüme yönelik rekabet ve motivasyon eksikliği	İnşaat sektöründe dijital dönüşümünü tamamlamış, dönüşümün getirilerinden faydalanan diğer firmalara örnek teşkil edecek organizasyonlara ihtiyaç vardır. Ancak dijital dönüşüm sürecine dahil olan firma sayısı az olduğundan sektör içi rekabet ve motivasyon eksikliği bulunmaktadır.	[22][25][27][29][44] [45][46]	7/38

3.2 Dijital Dönüşüm Sürecinin Önündeki Engellerinin Türk İnşaat Sektörü İçin Uygunluğunun Değerlendirilmesi

Yapılan literatür taraması sonucunda uluslararası çalışmalarda yer alan inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller belirlenmiştir. Ancak her ülkenin kendi koşulları içerisinde değerlendirilmesi gerektiğinden bu engellerin Türk inşaat sektörüne uygunluğunu belirlenmesi gereklidir.



Şekil 3.1 Uzman seçim kriterleri

Şekil 3.1’de gösterilen kriterler doğrultusunda çalışma katılımcıları belirlenmiş ve literatür çalışması sonucunda ortaya koyulan engellerin Türk inşaat sektörü açısından uygunluğunu tespit etmek amacıyla konuyla ilgili uzmanlara engelleri

uygun veya uygun değil olarak değerlendirip uygun değilse neden uygun bulmadıklarına dair görüş belirttikleri bir çalışma uygulanmıştır.

Çalışma katılımcılarının demografik özellikleri Tablo 3.2’ de, çalışma örneği ise bölüm A’ da paylaşılmıştır.

Tablo 3.2 Katılımcıların demografik özellikleri

	Meslek	Yaş	Pozisyon	Mesleki Deneyim
Katılımcı 1	İnşaat Mühendisi	33	Akademisyen	10 Yıl
Katılımcı 2	Mimar	29	Akademisyen	5 Yıl
Katılımcı 3	İnşaat Mühendisi	32	Akademisyen	10 Yıl
Katılımcı 4	İnşaat Mühendisi	28	Akademisyen	6 Yıl
Katılımcı 5	İnşaat Mühendisi	28	Akademisyen	5 Yıl
Katılımcı 6	İnşaat Mühendisi	42	Proje Müdürü	4 Yıl

Çalışmaya katılım sağlayan 6 uzmandan 5 tanesinin mesleği inşaat mühendisi iken 1 tanesinin mesleği mimardır. Ayrıca, bu 6 katılımcıdan 5 tanesi akademisyen 1 tanesi proje müdürü olarak çalışmaktadır. En az mesleki deneyime sahip olan katılımcı 4 yıldır mevcut pozisyonunda çalışmaya devam ederken en uzun mesleki deneyime sahip olan katılımcının deneyimi 10 yıldır. Çalışmaya katılan kişilerin ortalama yaşı 32, ortalama mesleki deneyim süresi ise 6,66 yıl olarak öne çıkmaktadır.

Katılımcılar, literatür çalışması sonucu ortaya koyulan, inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellerin, Türk inşaat sektörüne uygunluğu konusunda görüşlerini belirtmişlerdir.

1 Numaralı Katılımcı belirlenmiş olan engellerden “İnşaat Sektöründe dijital dönüşüme yönelik rekabet ve motivasyon eksikliği” engeli ile “Dijital dönüşüme

örneklik edebilecek model eksikliği” engelinin birbiriyle çakıştığı konusunda görüş belirtmiştir. Ayrıca “Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği” engelinin uygun olmadığını söylemiş ancak herhangi bir görüş belirtmemiştir, diğer engellerin ise uygun olduğunu belirtmiştir.

5 Numaralı Katılımcı “Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği” engelinin yöneticilerin eksikleri olsa da getirebilecekleri faydalardan dolayı süreçlerde etkin rol alabilecekleri konusunda görüş belirtmiş, bu engelin Türk İnşaat sektörü için uygun olmadığını belirtmiştir. “Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu” engelinin de eğitim alacak personelin motivasyonunu etkileyen bir faktör olduğundan dolayı uygun olmadığını belirtmiştir. Ayrıca “Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği” engelinin gelişmiş ülkelerden alınabilecek örnek modellerin mevcut olduğunu belirterek uygun olmadığını, diğer engellerin ise Türk İnşaat sektörü için uygun olduğunu belirtmiştir.

6 Numaralı Katılımcı “Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti”, “Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği”, “Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği”, “Veri güvenliği endişesi” ve “Dijital dönüşüme örneklik edecek model eksikliği” engellerinin Türk İnşaat sektörü için uygun olmadığı konusunda görüş belirtmiştir, ancak neden uygun bulmadığına dair herhangi bir görüş paylaşmamıştır.

2,3 ve 4 Numaralı Katılımcılar belirlenmiş olan bütün engellerin Türk İnşaat sektörü için uygun olduğu konusunda görüş belirtmiştir. Katılımcıların verdikleri yanıtlar Tablo 3.3’ te sunulmaktadır.

Tablo 3.3 Katılımcıların engellerin Türk inşaat sektörüne uygunluğuna yönelik yanıtları

	Engeller	Katılımcı 1	Katılımcı 2	Katılımcı 3	Katılımcı 4	Katılımcı 5	Katılımcı 6
1	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	Yetkin teknik personel eksikliği	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği	✓	✓	✓	✓	X	✓
5	Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti	✓	✓	✓	✓	✓	X
6	Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu	✓	✓	✓	✓	X	✓
7	Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği	X	✓	✓	✓	✓	X

Tablo 3.3 Katılımcıların engellerin Türk inşaat sektörüne uygunluğuna yönelik yanıtları (devamı)

8	Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği	✓	✓	✓	✓	✓	x
9	Veri güvenliği endişesi	✓	✓	✓	✓	✓	x
10	Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11	Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi	✓	✓	✓	✓	✓	✓
12	Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği	✓	✓	✓	✓	x	x
13	Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hataları	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	İnşaat sektöründe dijital dönüşüme yönelik rekabet ve motivasyon eksikliği	x	✓	✓	✓	✓	✓

Katılımcıların görüşlerinde, 6 katılımcıdan 2 sinin dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği engelinin uygun olmadığına dair görüş belirttikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca bir diğer katılımcının bu engelin inşaat sektöründe dijital dönüşüme yönelik rekabet ve motivasyon eksikliği engeliyle benzer olduklarına dair belirttiği görüş de değerlendirildiğinde “inşaat sektöründe dijital dönüşüme yönelik rekabet ve motivasyon eksikliği” engeli ve “dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği” engellerinin birleştirilerek tek bir engel olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

“Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği” engelinin yöneticilerin eksikleri olsa da getirebilecekleri faydalardan dolayı süreçlerde etkin rol alabilecekleri konusunda belirtilen görüş, yöneticilerin süreç içerisinde etkin rol alma isteklerinin sürece liderlik etmeleri konusundaki eksikliklerini kapatmadığı düşünüldükten yapılan yorum geçerli bulunmamıştır ve çoğunluğun kararı gözetilerek engel Türk inşaat sektörü için geçerli kabul edilmiştir.

“Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu” engelinin, eğitim alacak personelin motivasyonunu etkileyen bir faktör olduğu yorumu aynı engelin yönetim kadrosunun dönüşüm süreçlerindeki fikirlerini de etkileyeceği düşünüldükten anlamlı bulunmamıştır ve çoğunluğun kararı gözetilerek bu engel Türk inşaat sektörü için geçerli kabul edilmiştir.

“Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği” engelinin gelişmiş ülkelerden alınabilecek örnek modellerin mevcut olduğunu belirten yorum ise aslında katılımcının Türk inşaat sektöründe bir model eksikliğinin var olduğunu düşündüğünü göstermektedir. Gelen yorum bu engele bir çözüm önerisi niteliğindedir bu sebeple çoğunluğun kararı gözetilerek bu engel Türk inşaat sektörü için geçerli kabul edilmiştir.

Diğer engeller hakkında ise gelen herhangi bir yorum olmadığından çoğunluğun kararı gözetilerek Türk inşaat sektöründe geçerli oldukları kabul edilmiştir. Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellerin belirlendiği nihai sonuçlar Tablo 3.4’ te sunulmaktadır.

Tablo 3.4 Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller

	Engeller	Açıklama
1	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği	Sektör paydaşlarının, yeni teknolojilerin inşaat sektörüne getirebileceği faydalar ve yenilikler konusunda yeterli bilgiye sahip olmaması.
2	İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi	Yeni teknolojilerin kullanımıyla iş süreçlerinde insan faktörünün azalacağına olan inançtan kaynaklı çalışanların dijitalleşme konusunda isteksiz davranması.
3	Yetkin teknik personel eksikliği	Sektör çalışanlarına gerekli eğitimleri verebilecek yetkinlikteki teknik personel sayısının kısıtlı oluşu.
4	Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği	Dönüşüm süreçlerini en küçük detayına kadar iyi bir şekilde planlayarak dikkatlice yürütecek, bu sürece liderlik edecek yöneticiyi bulmanın zorluğu.
5	Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti	Dijital dönüşüm sürecinde çalışanların eğitime ayrılacak bütçenin yüksekliği ve teknolojik altyapı maliyeti gibi yüksek yatırımların, firmaların organizasyonlarını dönüştürmekten imtina etmesine neden olması.
6	Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu	Personellere dijital teknolojilerin kullanımı için verilecek eğitim sürecinin uzun olması.

Tablo 3.4 Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller (devamı)

7	Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği	Devlet nezdinde şirketleri teşvik edecek politikaların yetersizliği.
8	Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği	Gelişmekte olan ülkelerde yönetimlerin yenilikçi teknolojilere olumlu yaklaşmayı sonucı, yeni teknolojilere olan mesafeli tutumun yasal düzenlemeleri geciktirmesi.
9	Veri güvenliği endişesi	Depolanan verilere herkesin ulaşabileceği endişesi.
10	Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler	Dijital dönüşümün uygulamasında tam verim alınması için organizasyonların bütün seviyelerinin değişime dâhil olması gerekmesi ve dâhilinde gelen belirsizlikler.
11	Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi	Dijital yapılar bütün çalışanlarla doğrudan aktif etkileşimli sistemler olduğundan dolayı katılımcılar arasındaki uyumsuzlukların dijital sistemin işleyişini bütünüyle etkilemesi.
12	Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm süreçlerinden geçen firma sayısının oldukça az oluşu ve bu sebeple, sektöre örneklik edecek model eksikliği.
13	Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hataları	Dijital sistemlerde oluşacak bir hatanın ancak konunun uzmanlarının müdahalesi ile düzeltilebilmesi ve bu süreçte işlerin manuel olarak ilerleyememesi.

TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM SÜRECİNİN ÖNÜNDEKİ ENGELLER ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN BELİRLENMESİ

Önceki bölümde, uluslararası çalışmalarda yer alan inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellerin Türk inşaat sektörü için uygunluğu değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller tespit edilmiştir. Tez çalışması, Türk inşaat sektörünün dijital dönüşüm sürecini hızlandıracak stratejiler geliştirmek isteyen gelecek çalışmalara destek olmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda engeller arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve engellerin önceliklendirilmesi gereklidir, ancak inşaat sektörünün dijital teknolojilerle olan ilişkisi ağır ilerletmektedir. Türk inşaat sektöründe ise durum daha da kısıtlıdır. Yapı Bilgi Modelleme gibi bir teknoloji dahi sınırlı sayıda şirket tarafından kullanılmaktadır ve bu teknolojiyi kullanan firmalar özellikle büyük çapta projelerin yapımını üstlenen firmalardır. Dolayısıyla dijital ikiz, bulut bilişim, insansız hava araçları, 3D baskı gibi yeni teknolojileri kullanacak olan firmalar yine büyük çaplı projeleri üstlenen firmalar olacaktır. İnşaat sektöründe çok fazla sayıda küçük ve orta ölçekte firmalar bulunmaktadır. Büyük projelerin yapımını üstlenen firmalar, projelerin belirli iş yüklerini bu küçük ve orta ölçekteki firmalara ihale etmektedir. Alt yüklenici olarak çalışan bu firmalar, benzer işlerde tekrar görev alabilmek için işi kendisine ihale eden firmaların sistemine ayak uydurmak zorundadır. Sahip olduğu imkanlar, hali hazırda kullandığı teknolojiler ve alt yüklenici ilişkileri de düşünüldüğünde, dijital dönüşüm süreçlerinin tepeden aşağı şekilde ilerleyeceği düşünülmektedir. Ayrıca engeller arasındaki ilişkileri değerlendirebilmek için dijital teknolojilere ilişkin deneyime ihtiyaç vardır. Dönüşüm sürecinin ilerleme şekli ve dijital teknolojileri kullanımları dikkate alındığında, engeller arasındaki ilişkileri değerlendirecek uzmanların büyük çaplı projelerde çalıştığı görülmektedir. Bu sebeple, bu çalışma 2023 yılında ENR 250 listesinde yer alan Türk inşaat şirketlerinde dijital teknolojilerle çalışan uzmanlara ulaşmayı hedeflemiştir. KOSGEB tarafından yapılan tanımlamaya göre bir işletmenin büyük ölçekli işletme olarak

tanımlanabilmesi için 250'nin üzerinde çalışan istihdam etmesi ve 500 milyon TL üzerinde mali bilançoya sahip olması gerekmektedir [53]. ENR 250 listesinde yer alan Türk inşaat şirketlerinin tamamı bu tanımına uymaktadır. Hedef kitle doğrultusunda ulaşılabilecek şirket ve çalışan sayısı kısıtlıdır, bu sebeple az katılımcı sayısı ile yüksek verim sağlayan bir değerlendirme yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Engeller önceliklendirilerek değerlendirebilecek farklı analiz yöntemleri olsa da yorumlayıcı yapısal model yüksek kalitede fakat düşük sayıdaki katılımcıyla yüksek verimli sonuç veren bir yöntemdir. Bu sebeple Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellerin analizini gerçekleştirmek için yorumlayıcı yapısal model tercih edilmiştir. Bu bölümde yorumlayıcı yapısal model ve uygulama aşamaları, çalışmanın veri toplama süreci ve veri analizi işlemlerinin detaylarına değinilecektir.

4.1 Yorumlayıcı Yapısal Model ve Uygulama Aşamaları

Yorumlayıcı yapısal model ilk olarak 1974 yılında Warfield tarafından önerilmiştir. Karmaşık yapılarda, faktörlerin birbirleriyle olan ilişkisine karar vermek için bir grup uzman katılımcının değerlendirmelerine dayanan modelleme tekniğidir. Analiz sonucunda alt sistem elemanları ve aralarındaki ilişkiyi netleştirmeye yardımcı olan çok seviyeli bir yapısal model ortaya koyulmaktadır. Yorumlayıcı yapısal model tekniği, küçük ama yüksek kaliteli bir katılımcı grubuyla yapılabilir. Bu tekniğin uygulanmasını sınırlayan herhangi bir katılımcı faktörü bulunmamaktadır. Literatürdeki çalışmalarda katılımcı sayısı 2 ile 120 arasında değişmektedir. Ortalama katılımcı sayısı 11 olarak öne çıkmaktadır [54]. Yorumlayıcı yapısal model, değişkenler arasındaki ilişkiyi inceleyen 9 aşamalı bir analiz modelidir.

4.1.1 Ögeler veya Değişkenlerin Belirlenmesi

Yorumlayıcı yapısal model yönteminde uzman katılımcıların görüşüne sunulacak faktörler, literatür taraması, uzman görüşleri veya anketler yardımıyla belirlenir. Belirlenen faktörler, katılımcılar anlayacağı şekilde açıklanarak listelenir.

4.1.2 Değişkenlerin Uzmanlar Tarafından Değerlendirilmesi

Belirlenen değişkenler arasındaki ilişkilerin tespit edilmesi için uzmanlara fikirlerini belirtecekleri bir çalışma sunulur. Bu çalışmada 1. Faktörün 2. Faktörü nasıl etkilediği, 2. Faktörün 1. Faktörü nasıl etkilediği, 2 faktörün karşılıklı olarak birbirini nasıl etkilediği veya 2 faktörün birbirini etkilemediği şeklinde görüş belirtmeleri istenir.

4.1.3 Yapısal İç Etkileşim Matrisinin Oluşturulması

Katılımcıların verdiği cevaplar doğrultusunda faktörler arasındaki ilişki aşağıda belirtilen semboller yardımıyla matris formunda gösterilir.

İki faktör arasında belirtilen ilişki türleri 4 farklı sembolle ifade edilir:

V: Faktör i, faktör j' yi etkilemektedir.

A: Faktör j, faktör i' yi etkilemektedir.

X: Faktör i ve faktör j birbirlerini karşılıklı etkilemektedir.

O: Faktör i ve faktör j arasında bir ilişki yoktur.

4.1.4 Erişilebilirlik Matrisinin Oluşturulması

V, A, X ve O sembolleriyle gösterilen faktörler arasındaki ilişkiler (3.1)' e göre 1 veya 0' lar ile değiştirilir. Böylece erişilebilirlik matrisi oluşturulur [54,55].

$$(i, j) = \begin{cases} V, (i, j) = 1, (j, i) = 0; \\ A, (i, j) = 0, (j, i) = 1; \\ X, (i, j) = 1, (j, i) = 1; \\ O, (i, j) = 0, (j, i) = 0. \end{cases} \quad (3.1)$$

4.1.5 Nihai Erişilebilirlik Matrisinin Oluşturulması

Geçişlilik, yorumlayıcı yapısal modelde temel varsayımdır. Eğer i değişkeni j' yi etkiliyorsa, o zaman i, k' yı geçişli olarak etkileyecektir. Nihai erişilebilirlik matrisi (NEM) bir faktörü diğerine bağlayan bir yol olup olmadığını ortaya koyacaktır. Son matriste (i, j) 0' a eşitse, faktör i ve faktör j arasında doğrudan veya dolaylı bir ilişki yoktur demektir. Bu prensibe göre, nihai erişilebilirlik matrisi Boole kuralları (3.2) kullanılarak hesaplanabilir [54,55].

$$R = (A + I)^r = (A + I)^{r-1} \neq (A + I)^{r-2} \neq \dots \neq (A + I), r \leq 13 \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)' de A ilk ulaşılabilir matris, I birim matris ve R son ulaşılabilir matristir [54].

4.1.6 Hiyerarşik Analiz

Faktörlerin hiyerarşik ilişkisini anlamak için, her bir faktörün ulaşılabilir kümesi $R(F_i)$ ve önceki küme $A(F_i)$ listelenir. Ulaşılabilir küme $R(F_i)$, F_i ' nin i satırında karşılık gelen değeri 1 olan öğeleri etkileyebileceğini temsil eder. Öncül küme $A(F_i)$, i sütununda karşılık gelen değeri 1 olan öğeleri temsil eder. $C(F_i)$, F_i ' yi etkileyebilecek ve F_i ' den de etkilenebilecek öğeler içerir. $R(F_i)$, A ' nın (F_i) tam bir alt kümesiye, eleman seçilecek ve belirli bir seviye atanacaktır. Daha sonra ilk katman elemanlarının satırları ve sütunları silinecek ve kalan elemanlar yeni bir erişilebilir matris oluşturacaktır. Daha sonra, ikinci katman olarak $C(F_i)$ ' nin $R(F_i)$ ' ye eşit olduğu öğeleri bulacaktır. Aynı şekilde, her düzeyde yer alan faktörler bulunabilir [55].

4.1.7 Konik Matris ve Diyagraf

Konik matris (KM), hiyerarşik analiz adımı tanımlanan değişkenlerin sıralarına veya seviyelerine dayalı olarak satır ve sütun şeklinde sıralanan NEM' dir. Ayrıca her değişkenin seviyeleri KM' de satır ve sütun sonlarında da kaydedilir. Bu matris, değişkenlerin hiyerarşik yön yapısının ilk görsel çıktısını elde etmek için diyagrafın çizilmesine yardımcı olur. Dairesel düğümler değişken sayılarla çizilir. Ayrıca değişken çiftleri arasında KM' deki 1' ler veya 1*' lere dayanan yönlü kenarlarla bağlanırlar [54].

4.1.8 İndirgenmiş Konik Matris ve Nihai Yorumlayıcı Yapısal Model

Konik matriste yer alan değişken numaralarına değişken adlarının eklenmesiyle indirgenmiş konik matris elde edilir. Diyagraf ise, düğüm numaralarının değişken adlarıyla değiştirilmesi ve düğümlerin dikdörtgen şekillerde temsil edilmesiyle son modele dönüştürülür. Ayrıca değişkenlerin düzeyleri ve yapıları ile değişkenlere ulaşılabilirlik korunurken, diyagraftan maksimum kenarların çıkarılmasına çalışılmaktadır. Bu, son modelin okunabilirliğini artırmak için yapılır [54].

4.1.9 MICMAC Analizi

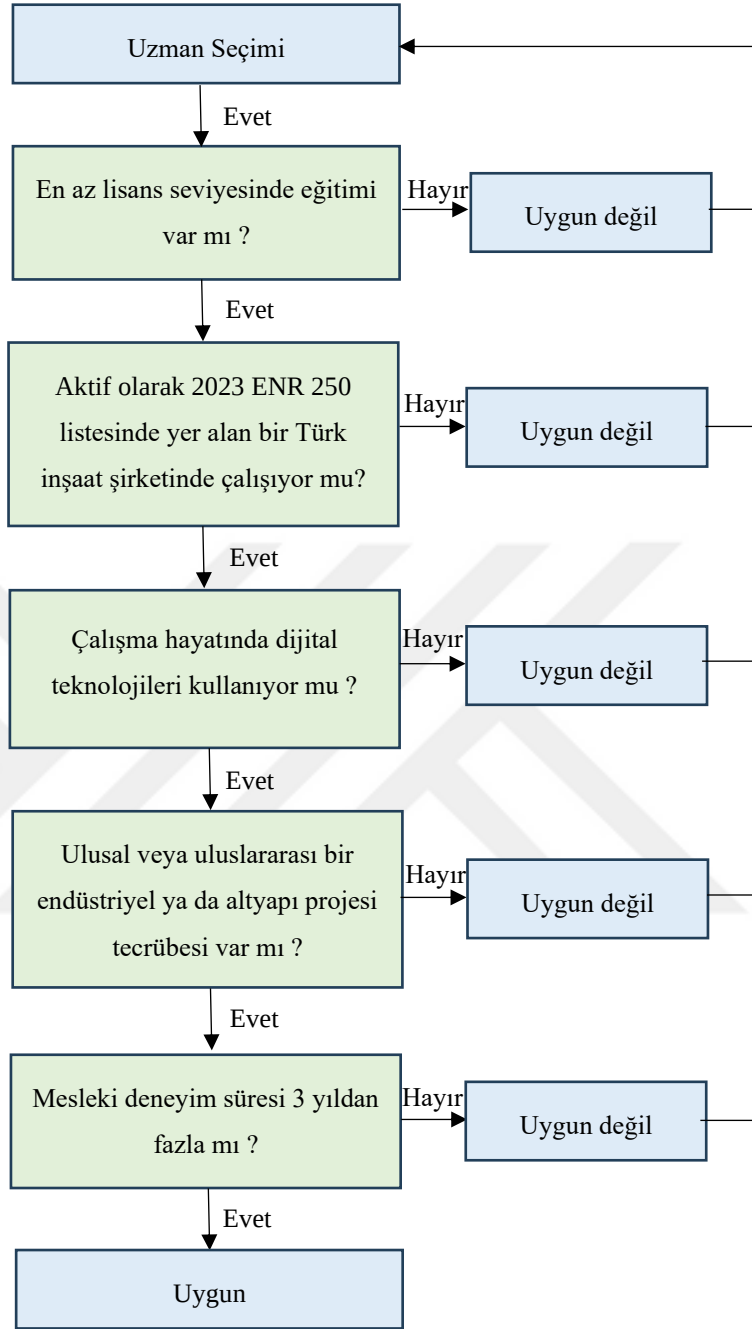
Etkileyen faktörler arasındaki güç ilişkisini açıkça tanımlamak ve etkileyen faktörlerin özelliklerini daha fazla araştırmak için yorumlayıcı yapısal modeli desteklemek amacıyla MICMAC uygulanır. MICMAC (Matrice d'Impacts Croisés Multiplication Appliquée à un Classement), en basit ifadeyle bir değişken sınıflandırma tekniğidir. Bağımlı güç, son ulaşılabilir matristeki elemanların sütunlarının toplanmasıyla elde edilir ve son ulaşılabilir matristeki eleman satırlarının toplanmasıyla itici güç elde edilir. Bağımlı ve itici güce dayalı olarak, etkileyen faktörler dört kategoriye ayrılabilir: Özerk grup, bağımlı grup, bağlantı grubu ve bağımsız grup [54,55,56].

- **Özerk Grup:** Bu grupta yer alan değişkenler zayıf itici güç değerine ve bağımlı güç değerine sahiptir. Bu da diğer değişkenlerle güçlü bir bağlarının olmadığı anlamına gelmektedir.
- **Bağımlı Grup:** Bu grupta yer alan değişkenler zayıf itici güç değerine sahipken güçlü bağımlı güç değerine sahiptirler. Bu değişkenler diğer değişkenlere oldukça bağımlıdır ve değişkenin gerçekleşme durumu diğer değişkenlerin varlığına göre değişiklik gösterecektir.
- **Bağımsız Grup:** Bu grupta yer alan değişkenler güçlü itici güç değerine sahipken zayıf bağımlı güç değerine sahiptir. Bu nedenle değerlendirmeler yapılırken bu değişkenlere odaklanılmalıdır. Çünkü bu değişkenler diğer değişkenlerin gerçekleşme durumunda yardımcı olma potansiyeline sahiptirler.
- **Bağlantı Grubu:** Bu grupta yer alan değişkenler hem güçlü itici güç değerine sahipken hem de güçlü bağımlı güç değerine sahiptir. Bu grupta yer alan değişkenlerin durumu diğer değişkenleri de etkileyecektir çünkü bu değişkenler birbirini etkilemektedir.

MICMAC analiziyle birleştirilmiş son hiyerarşik yorumlayıcı yapısal model, değişkenlerin anlaşılmasını büyük ölçüde geliştirir.

4.2 Veri Toplama Süreci

Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engelleri belirlemek amacıyla bölüm 3’ de detayları açıklanan çalışma gerçekleştirilmiştir. Belirlenen engeller arasındaki ilişkileri değerlendirmek amacıyla ENR 250 listesinde yer alan Türk inşaat şirketlerinde dijital teknolojilerle çalışan uzmanlara yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Listede yer alan 40 şirkette çalışan 121 uzmana mail ve LinkedIn üzerinden ulaşılmış, bölüm 4.1.2’ de açıklandığı şekilde engeller arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi istenmiştir. 121 uzmandan 29 tanesi çalışmaya katılım sağlamıştır ancak Şekil 4.1’de gösterilen kriterler doğrultusunda 27 katılımcının yanıtları değerlendirilmiştir. [54]’ de yapılan çalışmada 77 çalışma incelenmiş, yorumlayıcı yapısal modelde katılımcı sayısının 2 ile 120 kişi arasında değişiklik gösterdiği görülmüştür ve ortalama katılımcı sayısı 11 olarak öne çıkmıştır. Bu çalışmanın katılımcı sayısı 11 kişilik ortalamanın üzerinde kalmaktadır. Yorumlayıcı yapısal model gücünü, az katılımcı sayısı ile kaliteli sonuçlar vermesinden almaktadır, katılımcı sayısının artması analiz aşamasının karmaşıklaşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple katılımcı sayısı ortalamanın üzerinde tutulmuş ancak 120 katılımcı sayısına yaklaşım tercih edilmemiştir. Katılımcılar, ENR 250 listesinde yer alan 40 şirketten 20’ sinde çalışmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmanın örneği B bölümünde paylaşılmıştır. Çalışma katılımcılarının demografik yapısı, Tablo 4.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Uzman seçim kriterleri

Tablo 4.1 Katılımcıların demografik özellikleri

	MESLEK	YAŞ	CİNSİYET	POZİSYON	MESLEKİ DENEYİM	ŞİRKETİN FAALİYET ALANI
Katılımcı 1	Mimar	25	ERKEK	Proje Koordinatörü	3 Yıl	Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 2	Mimar	51	ERKEK	Proje Yöneticisi	33 Yıl	İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 3	Mimar	35	ERKEK	YBM Uzmanı	10 Yıl	Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 4	Mimar	46	ERKEK	Mimari Tasarım Koordinatörü	22 Yıl	İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 5	Mimar	33	ERKEK	Proje Koordinatörü	5 Yıl	İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 6	Mimar	47	ERKEK	YBM Uzmanı	19 Yıl	İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 7	Mimar	26	ERKEK	YBM Uzmanı	3 Yıl	İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 8	Mimar	37	ERKEK	YBM Uzmanı	13 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri
Katılımcı 9	Mimar	28	KADIN	YBM Uzmanı	5 Yıl	İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 10	Mimar	26	KADIN	YBM Mimarı	3 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri
Katılımcı 11	Mimar	33	KADIN	YBM Uzmanı	11 Yıl	Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 12	Mimar	25	KADIN	YBM Uzmanı	3 Yıl	İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 13	İnşaat Mühendisi	33	ERKEK	Teklif ve İhale Müdürü	10 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri
Katılımcı 14	İnşaat Mühendisi	45	ERKEK	Proje Müdürü	22 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri

Tablo 4.1 Katılımcıların demografik özellikleri (devamı)

Katılımcı 15	İnşaat Mühendisi	31	ERKEK	Proje Mühendisi	6 Yıl	Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 16	İnşaat Mühendisi	29	ERKEK	Hakediş ve Sözleşme Mühendisi	7 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri
Katılımcı 17	İnşaat Mühendisi	25	ERKEK	Proje Mühendisi	3 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri
Katılımcı 18	İnşaat Mühendisi	29	ERKEK	Proje Yöneticisi	6 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri
Katılımcı 19	İnşaat Mühendisi	48	ERKEK	Proje Müdürü	24 Yıl	İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 20	İnşaat Mühendisi	32	ERKEK	Planlama Mühendisi	5 Yıl	İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 21	İnşaat Mühendisi	34	ERKEK	Proje Mühendisi	7 Yıl	İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 22	İnşaat Mühendisi	38	ERKEK	Proje Müdür Yardımcısı	15 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri
Katılımcı 23	İnşaat Mühendisi	40	ERKEK	Planlama ve Maliyet Kontrol Müdürü	16 Yıl	İnşaat, Mühendislik ve Mimarlık Hizmetleri
Katılımcı 24	İnşaat Mühendisi	30	KADIN	Kalite Kontrol Mühendisi	7 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri
Katılımcı 25	İnşaat Mühendisi	25	KADIN	Proje Mühendisi	3 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri
Katılımcı 26	İnşaat Mühendisi	25	KADIN	YBM Uzmanı	3 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri
Katılımcı 27	İnşaat Mühendisi	27	KADIN	Proje Mühendisi	3 Yıl	Altyapı ve Üstyapı Hizmetleri

Çalışmaya toplam 27 katılımcı katkı sağlamıştır. Bu 27 katılımcı içerisinde aynı şirkette çalışan katılımcılar olmasıyla birlikte toplam 20 farklı şirkette çalışan uzmandan geri dönüş alınmıştır, böyle ENR 250 listesinde yer alan 40 şirketten 20 tanesinden dönüş alınmış %50' lik ulaşma oranı yakalanmıştır. 27 uzman katılımcıdan 15 tanesinin mesleği inşaat mühendisi iken 12 tanesinin mesleği mimardır. Ayrıca katılımcılardan 8 tanesi kadinken 19 tanesi erkektir. Kadın katılımcıların 4 tanesi mimarlık mesleğini icra ederken 4 tanesi de inşaat mühendisliği mesleğini icra etmektedir. Anket katılımcıları, YBM süreçleri, proje tasarım süreçleri veya e-ihale süreçleri gibi teknolojik gelişmelerin odağındaki pozisyonlarda çalışmaktadır. Kadın katılımcıların yaş ortalaması 27,37 ve ortalama mesleki deneyim süreleri 4,75 yıldır. Erkek katılımcıların ise yaş ortalaması 36 ve ortalama mesleki deneyim süreleri 12,05 yıldır. Bütün katılımcılardan deneyim süresi en az olan katılımcı, 3 yıllık deneyime sahipken en uzun mesleki deneyime sahip olan katılımcı 33 yıllık bir mesleki deneyim süresine sahiptir. Ayrıca ankete katılım sağlayan katılımcılardan yaşı en yüksek olan 51 yaşındayken en küçük yaşa sahip olan katılımcı 25 yaşındadır. Katılımcıların ortalama mesleki deneyim süresi 9,88 yıl, ortalama yaşı ise 33,44 olarak öne çıkmaktadır.

4.3 Verilerin Analizi

Yorumlayıcı yapısal model ile analizin gerçekleştirilebilmesi için bilgisayar desteğine ihtiyaç vardır. Önceki çalışmalar analizi gerçekleştirmek için Matlab programını kullanmış olsa da [54,57], SmartISM programı tasarlanırken incelenen 77 farklı çalışmadan yalnızca 29 tanesinde analizin doğru şekilde gerçekleştirildiği gözlemlenmiş, özellikle geçişlilik hesaplamalarında sıkça hata yapıldığı tespit edilmiştir. Çalışmaların tamamı SmartISM programıyla tekrar analiz edilmiş ve program çıktılarının doğru analiz sonuçlarıyla uyduğu görülmüştür [55]. Ortaya koyduğu başarılı sonuçlar nedeniyle çoğu güncel çalışma SmartISM programını kullanmaktadır [58,59]. Bu nedenle, çalışmanın analiz aşamasında SmartISM programı tercih edilmiştir.

4.3.1 Yapısal İç Etkileşim Matrisinin Oluşturulması

Bölüm 4.1.3' de açıklandığı şekilde uzmanlara engeller arasındaki ilişkileri değerlendirecekleri bir çalışma uygulanmıştır. 27 uzmandan gelen yanıtlar, “azınlık

yerini çoğunluğa bırakır” ilkesi doğrultusunda 4 koşuldan en fazla tercih edilen seçeneğin doğru kabul edilmesiyle değerlendirilmiştir. Önceki çalışmalar da aynı ilke doğrultusunda gerçekleştirilmiştir [55,57,60]. Verilen yanıtlar doğrultusunda yapısal iç etkileşim matrisi oluşturulmuştur. Yapısal iç etkileşim matrisi Tablo 4.2’de gösterilmektedir.



Tablo 4.2 Yapısal iç etkileşim matrisi

Değişkenler		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği		X	X	A	O	O	O	X	V	V	X	X	O
2	İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi			X	A	O	O	O	O	O	A	X	X	O
3	Yetkin teknik personel eksikliği				X	A	A	O	O	O	O	V	V	O
4	Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği					O	O	O	O	O	V	V	X	O
5	Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti						O	O	O	O	O	O	O	O
6	Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu							O	O	O	O	O	O	O
7	Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği								V	O	O	O	V	O
8	Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği									V	V	O	V	O
9	Veri güvenliği endişesi										O	O	O	A
10	Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler											O	A	O
11	Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi												A	O
12	Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği													O
13	Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hataları													

4.3.2 Engellerin Erişilebilirlik Matrisinin Oluşturulması

Yapısal iç etkileşim matrisinde yer alan V, A, O ve X ifadeleri denklem 3.1 doğrultusunda 1 ve 0' lar ile değiştirilir ve erişilebilirlik matrisi elde edilir. Matrisin son sütununda ilgili değişkene karşılık gelen satırdaki 1 ve 0 değerleri toplanarak itici güç değerine ve matrisin son satırında, ilgili değişkene karşılık gelen sütundaki 1 ve 0 değerleri toplanarak bağımlı güç değerine ulaşılır. Tablo 4.3' te erişilebilirlik matrisini yer verilmiştir.



Tablo 4.3 Erişilebilirlik matrisi

Değişkenler		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	İtici Güç
1	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	8
2	İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	5
3	Yetkin teknik personel eksikliği	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	6
4	Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	7
5	Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
6	Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
7	Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	3
8	Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	5
9	Veri güvenliği endişesi	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
10	Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
11	Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3
12	Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	6
13	Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hataları	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2
Bağımlı Güç		7	7	6	3	1	1	1	3	4	5	6	7	1	

4.3.3 Nihai Erişilebilirlik Matrisi

Engeller arasındaki geçişlilik ilişkisini ortaya koymak adına denklem 3.2’ deki bağıntı uygulanır ve nihai erişilebilirlik matrisine ulaşılır. Nihai erişilebilirlik matrisindeki 1^* ifadeleri engeller arasındaki geçişlilik ilişkisini göstermektedir. Tablo 4.4’ te nihai erişilebilirlik matrisi gösterilmektedir.



Tablo 4.4 Nihai erişilebilirlik matrisi

Değişkenler		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	İtici Güç
1	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği	1	1	1	1*	0	0	0	1	1	1	1	1	0	9
2	İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi	1	1	1	1*	0	0	0	1*	1*	1*	1	1	0	9
3	Yetkin teknik personel eksikliği	1	1	1	1	0	0	0	1*	1*	1*	1	1	0	9
4	Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği	1	1	1	1	0	0	0	1*	1*	1	1	1	0	9
5	Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti	1*	1*	1	1*	1	0	0	1*	1*	1*	1*	1*	0	10
6	Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu	1*	1*	1	1*	0	1	0	1*	1*	1*	1*	1*	0	10
7	Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği	1*	1*	1*	1*	0	0	1	1	1*	1*	1*	1	0	10
8	Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği	1	1*	1*	1*	0	0	0	1	1	1	1*	1	0	9
9	Veri güvenliği endişesi	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
10	Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler	1*	1	1*	1*	0	0	0	1*	1*	1	1*	1*	0	9
11	Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi	1	1	1*	1*	0	0	0	1*	1*	1*	1	1*	0	9
12	Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği	1	1	1*	1	0	0	0	1*	1*	1	1	1	0	9
13	Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hataları	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2
Bağımlı Güç		7	11	11	11	11	1	1	1	11	13	11	11	11	

4.3.4 Hiyerarşik Analiz

Engellerin hiyerarşik ilişkisini anlamak için, bölüm 4.1.6 açıklandığı şekilde her bir engelin erişilebilirlik kümesi ve öncül kümesi listelenir. Erişilebilirlik kümesi öncül kümenin bir alt kümesi ise engele bir seviye atanır. Daha sonra seviye atanan eleman erişilebilirlik kümesi ve öncül kümesinden çıkartılarak diğer engeller için alt küme kontrolü yapılır. Bu işlem her bir engelin erişilebilirlik kümesi öncül kümesinin alt kümesi oluncaya kadar devam eder ve engellerin seviye ataması tamamlanır.



Tablo 4.5 Hiyerarşik analiz 1. İterasyon

Unsurlar	Erişilebilirlik Seti R(Fi)	Öncül Set A(Fi)	$C(Fi) = R(Mi) \cap A(Fi)$	Seviye
1	1,2,3,4,8,9,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	
2	1,2,3,4,8,9,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	
3	1,2,3,4,8,9,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	
4	1,2,3,4,8,9,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	
5	1,2,3,4,5,8,9,10,11,12	5	5	
6	1,2,3,4,6,8,9,10,11,12	6	6	
7	1,2,3,4,7,8,9,10,11,12	7	7	
8	1,2,3,4,8,9,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	
9	9	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13	9	1
10	1,2,3,4,8,9,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	
11	1,2,3,4,8,9,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	
12	1,2,3,4,8,9,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	
13	9,13	13	13	

Hiyerarşik analizin 1. İterasyonu Tablo 4.5’ de gösterilmektedir, iterasyon sonucunda 9 numaralı engele 1.seviye ataması yapılmıştır.

Tablo 4.6 Hiyerarşik analiz 2. İterasyon

Unsurlar	Erişilebilirlik Seti R(Fi)	Öncül Set A(Fi)	$C(Fi) = R(Fi) \cap A(Fi)$	Seviye
1	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
2	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
3	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
4	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
5	1,2,3,4,5,8,10,11,12	5	5	
6	1,2,3,4,6,8,10,11,12	6	6	
7	1,2,3,4,7,8,10,11,12	7	7	
8	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
9		1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12,13		1
10	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
11	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
12	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
13	13	13	13	2

Hiyerarşik analizin 2. İterasyonu Tablo 4.6' da gösterilmiştir, iterasyon sonucunda 1,2,3,4,8,10,11,12 ve 13 numaralı engellere 2.seviye ataması yapılmıştır.

Tablo 4.7 Hiyerarşik analiz 3. İterasyon

Unsurlar	Erişilebilirlik Seti R(Fi)	Öncül Set A(Fi)	$C(Fi) = R(Mi) \cap A(Fi)$	Seviye
1		5,6,7		2
2		5,6,7		2
3		5,6,7		2
4		5,6,7		2
5	5	5	5	3
6	6	6	6	3
7	7	7	7	3
8		5,6,7		2
9		5,6,7		1
10		5,6,7		2
11		5,6,7		2
12		5,6,7		2
13				2

Hiyerarşik analizin 3. İterasyonu Tablo 4.7' de gösterilmiştir, iterasyon sonucunda 5,6 ve 7 numaralı engellere 3.seviye ataması yapılmıştır.

Tablo 4.8 Nihai hiyerarşik analiz sonuçları

Unsurlar	Erişilebilirlik Seti $R(F_i)$	Öncül Set $A(F_i)$	$C(F_i) = R(M_i) \cap A(F_i)$	Seviye
1	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
2	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
3	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
4	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
5	5	5	5	3
6	6	6	6	3
7	7	7	7	3
8	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
9	9	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13	9	1
10	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
11	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
12	1,2,3,4,8,10,11,12	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12	1,2,3,4,8,10,11,12	2
13	13	13	13	2

Üç aşamada tamamlanan iterasyon işlemleri sonucunda ortaya çıkan nihai hiyerarşik analiz sonuçları Tablo 4.8’ de gösterilmiştir.

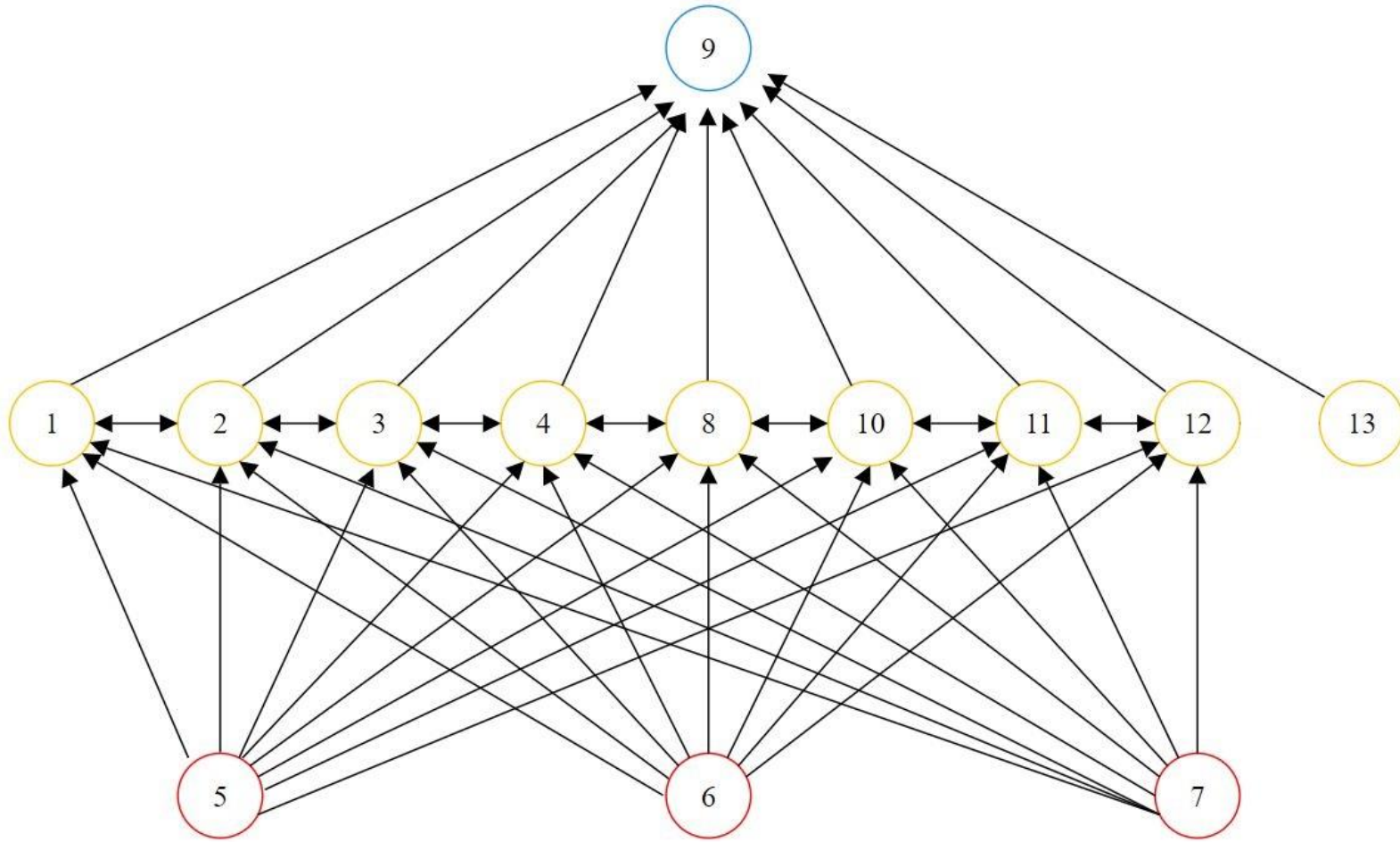
4.3.5 Konik Matris ve Diyagraf

Konik matris bölüm 4.1.7’ de anlatıldığı şekilde, hiyerarşik analiz adımımda engellere tanımlanan seviyelerin sıralarına dayalı olarak satır ve sütunlar yeniden matris formuna getirilmesiyle oluşturulur. Her engelin seviyesi konik matrisme satır ve sütun sonlarına kaydedilmiştir. Konik matrisin elde edilmesiyle engellerin hiyerarşik yön yapısının ilk görseli olan diyagraf çizilmiştir. Tablo 4.9’ da konik matris ve Şekil 4.2’ de diyagram şeması gösterilmektedir.



Tablo 4.9 Konik matris

Değişkenler	9	1	2	3	4	8	10	11	12	13	5	6	7	İtici Güç	Seviye
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1*	1	1	1	1	0	0	0	0	9	2
2	1*	1	1	1	1*	1*	1*	1	1	0	0	0	0	9	2
3	1*	1	1	1	1	1*	1*	1	1	0	0	0	0	9	2
4	1*	1	1	1	1	1*	1	1	1	0	0	0	0	9	2
8	1	1	1*	1*	1*	1	1	1*	1	0	0	0	0	9	2
10	1*	1*	1	1*	1*	1*	1	1*	1*	0	0	0	0	9	2
11	1*	1	1	1*	1*	1*	1*	1	1*	0	0	0	0	9	2
12	1*	1	1	1*	1	1*	1	1	1	0	0	0	0	9	2
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2
5	1*	1*	1*	1	1*	1*	1*	1*	1*	0	1	0	0	10	3
6	1*	1*	1*	1	1*	1*	1*	1*	1*	0	0	1	0	10	3
7	1*	1*	1*	1*	1*	1	1*	1*	1	0	0	0	1	10	3
Bağımlı Güç	13	11	11	11	11	11	11	11	11	1	1	1	1		
Seviye	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3		



Şekil 4.2 Diyagraf

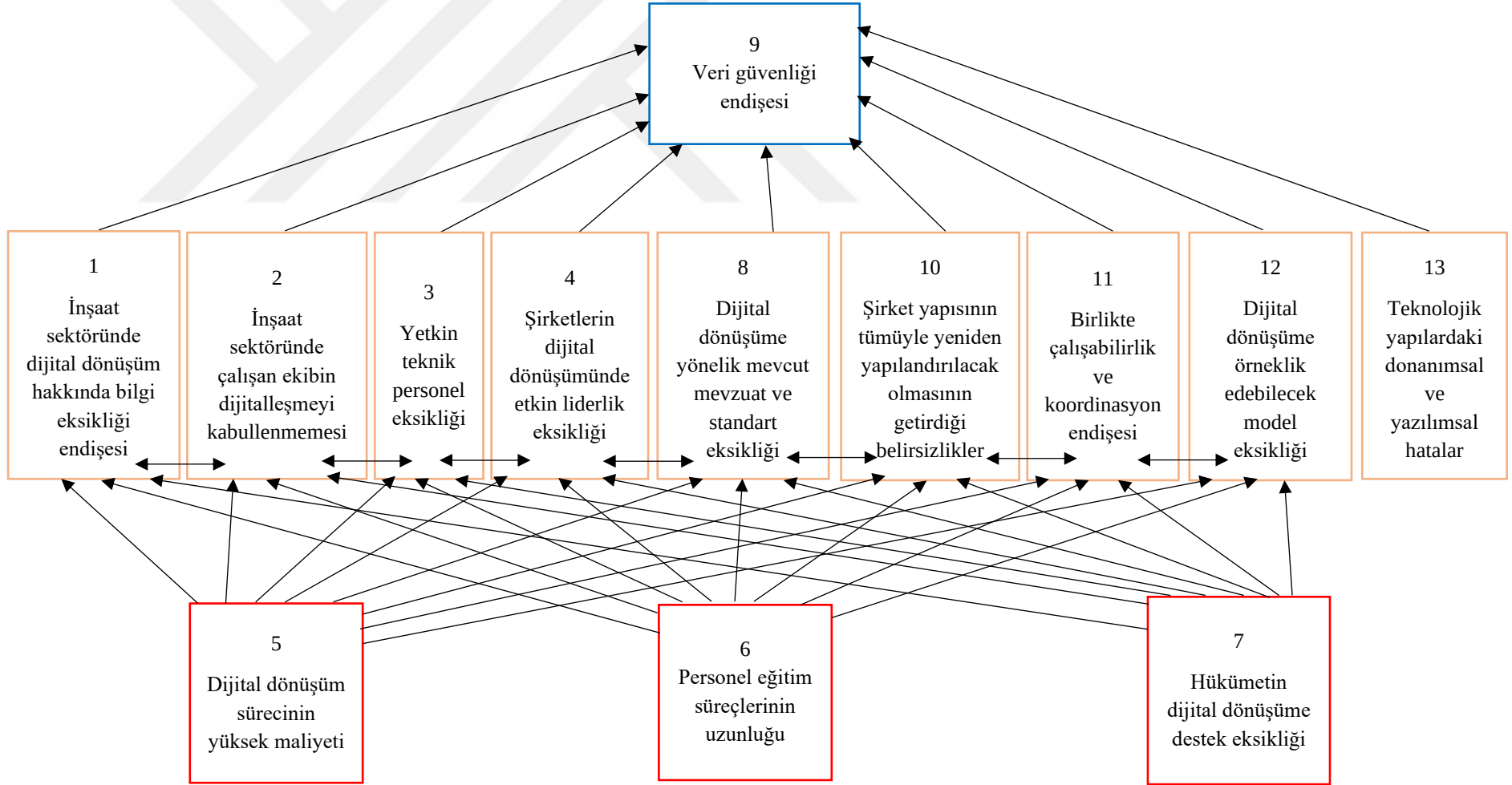
4.3.6 İndirgenmiş Konik Matris ve Nihai Yorumlayıcı Yapısal Model

Bölüm 4.1.8’ de açıklandığı şekilde konik matrise engellerin adlarının eklenmesiyle indirgenmiş konik matris, diyagrafin düğüm numaralarının değişken adlarıyla değiştirilmesi ve düğümlerin dikdörtgen şekillerde temsil edilmesiyle nihai yorumlayıcı yapısal model oluşturulur. Tablo 4.10’ da indirgenmiş konik matris ve Şekil 4.3’ de nihai yorumlayıcı yapısal model şeması gösterilmektedir.



Tablo 4.10 İndirgenmiş konik matris

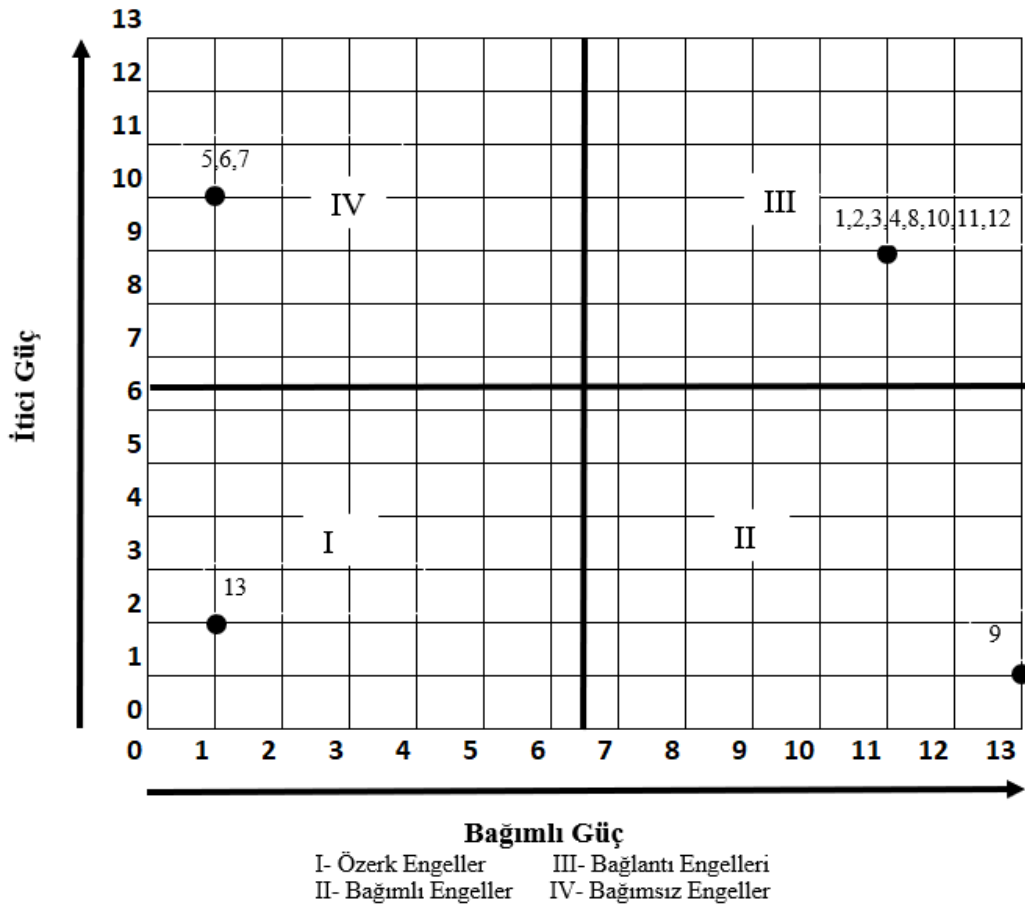
Değişkenler		9	1	2	3	4	8	10	11	12	13	5	6	7	İtici Güç	Seviye
9	Veri güvenliği endişesi	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği	1	1	1	1	1*	1	1	1	1	0	0	0	0	9	2
2	İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi	1*	1	1	1	1*	1*	1*	1	1	0	0	0	0	9	2
3	Yetkin teknik personel eksikliği	1*	1	1	1	1	1*	1*	1	1	0	0	0	0	9	2
4	Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği	1*	1	1	1	1	1*	1	1	1	0	0	0	0	9	2
8	Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği	1	1	1*	1*	1*	1	1	1*	1	0	0	0	0	9	2
10	Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler	1*	1*	1	1*	1*	1*	1	1*	1*	0	0	0	0	9	2
11	Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi	1*	1	1	1*	1*	1*	1*	1	1*	0	0	0	0	9	2
12	Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği	1*	1	1	1*	1	1*	1	1	1	0	0	0	0	9	2
13	Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hataları	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2
5	Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti	0	1*	1*	1	1*	1*	1*	1*	1*	0	1	0	0	10	3
6	Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu	0	1*	1*	1	1*	1*	1*	1*	1*	0	0	1	0	10	3
7	Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği	0	1*	1*	1*	1*	1	1*	1*	1	0	0	0	1	10	3
Bağımlı Güç		13	11	11	11	11	11	11	11	11	1	1	1	1		
Seviye		1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3		



Şekil 4.3 Nihai yorumlayıcı yapısal model

4.3.7 MICMAC Analizi

Bölüm 4.1.9 da bahsedildiği gibi yorumlayıcı yapısal modeli desteklemek ve engeller arasındaki sınıf ilişkisini ortaya koymak için MICMAC analizi kullanılır. İndirgenmiş konik matristeki eleman sütunlarının toplanmasıyla bağımlı güç elde edilir, matristeki eleman satırlarının toplanmasıyla ise itici güç elde edilir. Satıra bağımlı güç değerlerinin sütuna ise itici güç değerlerinin yazıldığı bir grafik oluşturulur. Sonrasında satır ve sütunun orta değerinden grafik dört parçaya bölünür, engeller sahip oldukları itici güç ve bağımlı güç değerlerine göre bu dört gruptan birinde kendine yer bulacaktır. Engellerin kümelenmiş oldukları gruplar Şekil 4.4’ te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 MICMAC analiz sonuçları

- **Özerk Grup:** Bağımlı güç ve itici güç değeri düşük olan 13 numaralı “Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hatalar” engeli kendisine özerk engeller grubunda yer bulmuştur.

- **Bağımlı Grup:** Yüksek bağımlı güç değerine ancak düşük itici güç değerine sahip olan 9 numaralı “Veri güvenliği endişesi” engeli kendisine bağımlı engeller grubunda yer bulmuştur.
- **Bağımsız Grup:** Yüksek itici güç değerine sahip ancak düşük bağımlı güç değerine sahip olan 5 numaralı “Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti” engeli, 6 numaralı “Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu” ve 7 numaralı “Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği” engeli bağımsız engeller grubunda kendisine yer bulmuştur.
- **Bağlantı Grubu:** Yüksek bağımlı güç değeri ve yüksek itici yük değerine sahip olan 1 numaralı “İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği” engeli, 2 numaralı “İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi” engeli, 3 numaralı “Yetkin teknik personel eksikliği” engeli, 4 numaralı “Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği” engeli, 8 numaralı “Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği” engeli, 10 numaralı “Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler” engeli, 11 numaralı “Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi engeli ve 12 numaralı “Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği” engeli bağlantı engelleri grubunda kendisine yer bulmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma, Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellerin belirlenmesini ve büyük ölçekli firmalar açısından engeller arasındaki ilişkilerin incelenmesine odaklanmıştır. SmartISM ile gerçekleştirilen yorumlayıcı yapısal model analizi sonucunda, “Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti” (5), “Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu” (6) ve “Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği” (7) engelleri gerçekleştirilen hiyerarşik analiz sonucunda 3’ üncü seviyede kendilerine yer bulmuşlardır. Hiyerarşik analiz sonuçları Tablo 4.8’ de gösterilmiştir. Çalışmada, 3’ üncü seviyede yer alan ve Şekil 4.3’ de gösterildiği gibi yorumlayıcı yapısal modelin en altında bulunan bu engellere öncelik verilmesi gerektiği ortaya koyulmaktadır çünkü bu seviyede yer alan engeller diğer engellerin durumlarına da etki etmektedir.

Yorumlayıcı yapısal model analizinin 2’ nci seviyesinde “İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği” (1), “İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi” (2), “Yetkin teknik personel eksikliği” (3), “Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği” (4), “Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği” (8), “Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler” (10), “Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi” (11), “Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği” (12) ve “Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hataları” (13) engelleri yer almaktadır. Bu engellerin durumları 5,6 ve 7 numaralı engeller tarafından büyük oranda etkilenmektedir.

Yorumlayıcı yapısal model analizinin 3’ üncü seviyesinde ise “Veri güvenliği endişesi” (9) engeli yer almaktadır. Bu engelin durumu diğer engeller tarafından dolaylı ya da dolaysız olarak etkilenmektedir. Diğer engellerden birinde gerçekleşecek olası bir olumlu veya olumsuz durum bu engeli de aynı yönde etkileyecektir.

- **Bağımsız Engeller**

Analiz gerçekleştirilmeden önce, “Dijital dönüşümün yüksek maliyeti” (5) engelinin yapıda ilk dikkat edilmesi gereken biri engellerden olması beklenmektedir. Çünkü gerçekleştirilen literatür taramasında en çok bahsedilme sıklığına sahip engellerden biri olarak göze çarpmaktadır. Çalışmanın bulguları, [25]’ de bahsedildiği gibi mali durumlardaki belirsizliklerin ve yüksek yatırım maliyetlerinin en öncelikli risklerden biri olduğunu desteklemektedir. Benzer şekilde [44,61]’ da dijital teknolojilerin benimsenmesinin önündeki en büyük engellerden birinin yüksek maliyet olduğundan bahsedilmektedir.

“Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu” (6) engeli literatürde geçme sıklığı açısından en yüksek sıklığa sahip engellerden biri olmasa da dijital dönüşüm sürecinin bütün yapıyı etkileyecek bir süreç olmasından ve bütün katılımcıların eğitimlere ihtiyaç duyacak olmasından dolayı öncelik verilmesi gereken engel grubunda yer alması beklenmektedir. [19]’ e göre sürekli eğitim ihtiyacı, Endüstri 4.0 uygulamaları açısından itici gücü yüksek, bağımsız değişken grubunda kendine yer bulmuştur. Çalışmanın bulgularında da bağımsız engeller grubunda kendine yer bulan personel eğitim süreçlerinin uzunluğu engeli ve önceki çalışma sonuçları birbirini destekler niteliktedir.

“Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği” (7) engeli, literatürde sıklık açısından düşük bir orana sahiptir, ancak bu engel ülke özelinde doğrudan değişiklik gösterme potansiyeline sahiptir. Bir ülkede hükümet destekleri yüksek seviyede ise herhangi bir engel teşkil etmezken, başka bir ülkede hükümet desteği yok denecek kadar az olabilir; bu durumda bu konu dijital dönüşüm için önemli seviyedeki bir engel halini alabilir. Nitekim bu çalışmada hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği öncelikli yorumlayıcı yapısal model yapısında öncelikli dikkate alınması gereken engeller arasında kendine yer bulmuştur. Bu engeller diğer engellerle yüksek seviyede ilişkiye sahiptir ve engellerin aşılması diğer engellerin aşılmasının da yolunu açacaktır.

MICMAC analizinde ortaya koyulan sonuçlar ve yorumlayıcı yapısal modelde çıkan seviyeler birbirini destekler niteliktedir. MICMAC analizine göre 5,6 ve 7 numaralı engeller yüksek itici güç değerine fakat düşük bağımlı güç değerlerine

sahiptir ve kendilerine bağımsız engeller grubunda yer bulmuşlardır. Dolayısıyla diğer engellerden etkilenme oranları düşükken, diğer engelleri etkileme oranları oldukça yüksektir. Yorumlayıcı yapısal model analiz sonuçları ve MICMAC analizi sonuçları karşılaştırıldığında 3' üncü seviyede yer alan 5,6 ve 7 numaralı engelleri bağımsız değişkenler grubuyla örtüşmektedir.

- **Bağlantı Engelleri**

“İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği” (1) engelinin öncelikli engeller grupta yer alması beklenmektedir, çünkü önceki çalışmalarda [22], dijital dönüşüm sürecinin en önemli adımlarından görülen YBM kabulünün önündeki engeller üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiş ve bu süreçteki en etkin engelin YBM süreçlerine yönelik bilgi eksikliği olduğu görülmüştür. Ancak bu çalışmada, Türk inşaat sektöründe büyük ölçekli firmalar özelinde dijital dönüşüm hakkındaki bilgi eksikliğinin öncelikli engel grubunda yer almadığı görülmektedir. Bu durumdan dijital dönüşüm hakkında belirli seviyede bilgi sahibi olunduğu ancak farklı engellerin dönüşüm sürecinde daha etkin rol oynadığı çıkarılabilir. Etkin engellerin ortadan kaldırılmasıyla dijital dönüşüm hakkındaki farkındalık artırılabilir.

“İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi” (2) engelinin bağlantı engelleri grubunda yer alıyor olması analiz öncesinde beklenen bir durumdur. Çünkü çalışanların dijital dönüşüm süreçlerini reddetmesinin, dijital dönüşüm süreci hakkında bilgi eksikliğinden, insan gücüne duyulan ihtiyacın azalacağının düşünülmesinden dolayı işsizlik korkusundan ve eğitim süreçlerinin uzunluğundan etkilendiği düşünülmektedir. Dijital dönüşüm sürecinin başrollerinden kabul edilen YBM üzerine yapılan çalışmada [22], çalışan ekibin YBM kabulüne yönelik talep eksikliğinin önemli bir engel olduğu belirlenmiştir. Bir başka çalışmada [62] ise, YBM kullanımının önündeki engeller incelenmiş ve Pakistan’ da bu engelin öncelik bakımından son grupta yer aldığı görülmüştür. Bu çalışma engellerin yer aldıkları öncelik gruplarının ülkeden ülkeye farklılık gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

“Yetkin teknik personel eksikliği” (3) engelinin bağlantı engelleri grubunda yer alması beklenen bir durumdur. Çünkü bu engelin, dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği, dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti, eğitim sürecinin uzunluğu,

standart ve mevzuat eksikliği gibi diğer engellerden etkilendiği düşünülmektedir. Çalışma sonuçları da bu engelin diğer engellerle etkileşim halinde olduğunu doğrulamaktadır. [31]' a göre, inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller tespit edilmiş ve anlamlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Yetkin teknik personel eksikliği 26 engel arasında kendine 4' üncü sırada yer bulmuştur ve gruplama sonrasında kaynak ve profesyonel eksikliği grubunda yer verildiği görülmüştür. Bu çalışmada ise bağlantı grubunda yer alan bu engelin 2,4,5,6 ve 7 numaralı engeller ile etkileşim halinde olduğu görülmektedir. Önceki çalışmada yer aldığı grup ve anlam derecesiyle, bu çalışmada ortaya koyulan engeller arasındaki ilişkiler birbirini destekler niteliktedir.

“Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği” (4) engelinin bağlantı engelleri grubunda yer alması analiz öncesi beklentilerle uyushmaktadır. Çünkü dijital dönüşüm süreçlerinin yavaş ilerlediği bir iş ortamında doğru profesyonellere ulaşmak kolay olmayacaktır. Doğru profesyonelle ulaşılmış olsa dahi süreci gerçekleştirmesi için gerekli bütçenin kendisine verilmesi gerekecektir, ayrıca bu profesyonel tarafından tasarlanan değişim süreci, personel eğitim süreçlerini, hükümet tarafından verilen desteği ve dijital süreçlerle ilgili mevzuatları dikkate alacak şekilde planlanmış olacaktır. Ek olarak dijital teknolojilerin kullanımına aşina olan, süreci başlatabilecek potansiyelde belirli sayıda çalışana ihtiyaç duyacaktır. Bu kadar yan etkileşime sahip olması açısından şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliğinin yer aldığı pozisyon beklentilerle uyushmaktadır. Önceki çalışmada [27], etkili dijital dönüşüm sürecindeki liderliğin nasıl olması gerektiğine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiş, liderde olması gereken özellikler belirlenmiştir. [27], dijital dönüşüm sürecinde etkin liderliğin önemini vurgulamaktadır.

“Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği” (8) engelinin bulunduğu bağlantı engelleri grubu analiz öncesi beklentilerle uyushmaktadır. Çünkü hükümet politikalarının dijital dönüşüme destek verdiği bir ortamda, ilgili mevzuat ve standartlara yönelik çalışmalar da ilgili birimler tarafından gerçekleştirilecektir. Ayrıca, böyle bir ortamda yüksek maliyet engelini hafifletecek destekleyici projeler de ortaya çıkacaktır. Bu beklentiler 8 numaralı engelin, diğer engellerle ilişkinin yüksek olduğu bağlantı engelleri grubunda yer almasıyla

örtüşmektedir. [62]' a göre YBM' nin kabulünün önündeki engeller için mevzuat ve standart eksikliği bizim çalışmamızdakine benzer şekilde ara seviyede kendisine yer bulmuştur.

“Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler” (10) engelinin bulunduğu bağlantı engelleri grubu analiz öncesi beklentilerle uyuşmaktadır. Çünkü bu engelde bahsedilen belirsizlikler maliyet, zaman, personel beklentileri, dijital teknolojilerin sürekli gelişen yapısı gibi çok sayıda değişkenden etkilenmeye müsaittir. Nitekim çalışmanın sonuçları da 5,6,7,8 ve 11 numaralı engellerin bu engelin durumunu etkilediğini göstermektedir. [37]' ya göre inşaat sektörünün dijitalleşme sürecinde oluşan belirsizlikler ve bu belirsizliklerin getirdiği risklerin önemi vurgulanmaktadır.

“Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi” (11) engelinin ara seviye bir grupta yer alması beklenmekteydi. Çünkü dijital dönüşüm süreci belirli bölümlerde gerçekleştirilip diğer bölümleri dışarıda bırakabilecek bir süreç değildir, dolayısıyla bölümler arası koordinasyon gerektirdiği gibi aynı bölüm içerisinde yer alan bütün bireylerin de birlikte uyum içerisinde çalışmasını gerektirmektedir. Bu durumda zaman, para, motivasyon, eğitim gibi birçok etken bireyleri etkileyebilir. Nitekim çalışma sonucunda 11 numaralı engelin bağlantı engelleri grubunda yer alıyor olması ve 2' nci seviyede, 5,6,7,10 ve 12 engelleriyle etkileşim halinde olması beklentilerle örtüşmektedir. [63]' de YBM teknolojisinin uygulamasındaki engellere yönelik bir çalıştırılma gerçekleştirilmiş, birlikte çalışabilirlik ve uyumluluk engelinin eğitim sistemi, standart eksikliği, örnek model eksikliği, teşvik politikaları gibi diğer engellerden doğrudan ya da dolaylı olarak etkilendiği görülmüştür.

“Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği” (12) engelinin, bağlantı engelleri grubunda yer alıyor olması beklenen bir durumdur. Çünkü örnek model eksikliği, daha önce dijital dönüşüm sürecine yönelik gerçekleştirilen girişim sayısının yetersizliğinin bir sonucudur. Dolayısıyla bu engelin oluşumunda maliyet, destek eksikliği, eğitim süreçleri ve uyumluluk gibi endişelerin rol oynaması tutarlı bir yaklaşım olacaktır. Dijital teknolojilerin gelişimi devam edip örnek girişim eksikliği yaşandıkça, diğer şirketlerin dönüşüm süreçlerine dahil olma cesaretleri olumsuz etkilenebilir. Bu açıdan, 12 numaralı engelin ara bir basamakta yer alması

analiz öncesi beklentilerle örtüşmektedir. [39]' de yapay zekâ teknolojisinin inşaat sektörüne katabileceği faydalar ve benimsenmesini zorlaştıran durumlara değinilmiştir. Yapay zekâ teknolojisi de dijital dönüşüm sürecinin bir parçasıdır ve bu teknolojinin uygulanmasında örnek alınabilecek modellerin eksikliği çalışmada vurgulanmaktadır.

MICMAC analizi sonucunda 1,2,3,4,8,10,11 ve 12 numaralı engellerinin yüksek itici güç ve bağımlılık gücü puanlarıyla birlikte bağlantı grubunda yer aldıkları görülmüştür. Yorumlayıcı yapısal model ise 3 seviyeli bir şema ortaya koymuştur. Bağlantı grubu elemanlarının 2' nci seviye olan ara grupta yer alması, MICMAC analiz sonuçları ve yorumlayıcı yapısal model şemasının uyumlu olduğunu göstermektedir.

- **Özerk Engeller**

“Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hatalar” (13) engelinin, diğer engellerle olan ilişkisinin sınırlı olması beklenen bir durumdur. Çünkü engelin varlığı, sistem katılımcıları, maliyet, eğitim süreçleri gibi diğer engellerden etkilenmeye uygun değildir. Ancak engelin kendisi, hataların çözüm süresinin belirsizliği, çözüm sürecinde oluşacak para kaybı gibi belirsizlikler oluşturabilir. Ayrıca, hata sürecinde depolanan verilerin kaybı ya da veri sızıntısı gibi konular da tedirginlik meydana getirebilir. Çalışma sonuçları da bu engelin diğer engeller tarafından etkilenmediğini, ancak veri güvenliği endişesi engelini etkilediğini göstermektedir. Yorumlayıcı yapısal model şemasında bu engelin yalnızca 9 numaralı engelle tek yönlü ilişkisi görülmektedir. MICMAC analizi sonuçları da bu engelin özerk engeller grubunda yer aldığını göstermektedir. Engeller arasındaki sınırlı ilişkisi ve özerk engeller grubunda yer alıyor olması sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. [32]' de teknoloji ve yazılım kaynaklı risklerin YBM dönüşüm sürecindeki önemi üzerine vurgu yapılmaktadır. [21]' de ise Türk inşaat sektöründe YBM kullanımında yazılım ve donanım kaynaklı engeller önem sıralamasında 16 engel arasında 12' nci sırada kendisine yer bulmuştur. Bu çalışmanın sonucu ve önceki çalışmalar donanımsal ve yazılımsal hataların şirketler için dikkate alınması gereken bir engel olduğunu fakat diğer engellerle ilişkisi açısından daha bağımsız bir pozisyonda olduğunu göstermektedir.

- **Bağımlı Engeller**

“Veri güvenliği endişesi” (9) engelinin, diğer engellerle ilişkisi değerlendirildiğinde engeller tarafından etkilenen ancak etki ettiği engellerin az olduğu bir pozisyonda yer alması beklenmektedir. Ancak yorumlayıcı yapısal model şemasının tepesinde 1’ inci seviyede yer alıyor olması beklenmedik bir sonuç olmuştur. Çünkü olası veri kayıplarının meydana getirebileceği para ve zaman kaybının belirsizlik oluşturabileceği düşünülmektedir. [21]’ de Türk inşaat sektöründe YBM kullanımında entegrasyon kaynaklı veri kaybı endişesinin sürecin önünde bir engel olarak görüldüğü, ancak yapılan analiz sonucunda bu engelin almış olduğu puanın diğer engellerin gerisinde kaldığı görülmektedir. Bu çalışma sonuçları ve önceki çalışmanın sonuçları birbirini destekler niteliktedir. [24]’ de ise, Nijerya için dijital dönüşümün önündeki engeller üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiş ve veri güvenliği endişesinin 16 engel arasında kendisine 8’ inci sıra ile orta sıralarda yer bulduğu görülmüştür. Önceki çalışmalara bakılarak engelin öncelik sırasında son sıralarda yer alması uygun gözükmemektedir. MICMAC analizinde 9 numaralı engel kendisine bağımlı engeller grubunda yer bulmuştur, yorumlayıcı yapısal modelde ise bu engel 1’ inci seviyede yer almış ve diğer bütün engellerden doğrudan veya dolaylı yoldan etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır. MICMAC analizinin sonucu, yorumlayıcı yapısal model sonucunu desteklemektedir. Analiz sonucunda Türk inşaat sektöründe büyük ölçekli firmaların veri güvenliği endişesinin, diğer engellere kıyasla en az sorunu teşkil ettiği görülmektedir. Diğer engellerin aşılması durumunda bu engeli aşmak kolaylaşacaktır.

6 SONUÇ

Bu çalışma, Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engelleri belirlemeyi ve bu engeller arasındaki ilişkileri büyük ölçekli firmalar açısından ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engelleri belirlemeye yönelik literatür taraması yapılmıştır. Uluslararası çalışmalardan seçilen engeller frekans analizleriyle birlikte Türkiye’deki konunun uzmanlarına sunulmuş ve engellerin Türk inşaat sektörü için geçerliliğinin değerlendirildiği bir pilot çalışma gerçekleştirilmiştir. Uzmanlardan gelen geri dönüşler değerlendirilmiş 14 olan engel sayısı 13’e düşürülmüştür. Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellerin belirlenmesinden sonra, engeller arasındaki ilişkilerin büyük ölçekli firmalar açısından belirlenmesi için yorumlayıcı yapısal model ile analiz yapılması planlanmıştır. ENR 250 listesinde yer alan 40 Türk inşaat şirketinde dijital teknolojilerle çalışan uzmanlara engeller arasındaki ilişkileri değerlendirecekleri bir anket çalışması gönderilmiş, 20 farklı şirketten 27 katılımcıdan geri dönüş alınmıştır. Katılımcılardan gelen yanıtlar çoğunluğun verdiği yanıtlar dikkate alınarak SmartISM aracılığıyla analiz edilmiştir. Analiz sonucunda engeller arasındaki ilişkiler ortaya koyularak engeller belirli seviyelerde gruplanmış ve önceliklendirilmiştir.

Çalışma sonuçları, gözetilerek üç aşamalı bir dijital dönüşüm stratejisi planlanabilir. Birinci aşamada yorumlayıcı yapısal model şemasının 3’üncü seviyesinde yer alan, ilk etapta dikkate alınması gereken sürecin maliyeti, personel eğitim süreçlerinin uzunluğu ve hükümetin dijital dönüşüm sürecine destek eksikliği engellerine odaklanılmalıdır. Konuya yönelik uzmanlardan bir ekip kurularak, yetkili mercilere dijital dönüşüm sürecinin getireceği faydalardan ve uzun vadede inşaat sektörüne, dolayısıyla ülke ekonomisine getireceği katma değerden bahsedilebilir. Böylece dijital dönüşüm sürecine dahil olmak isteyen şirketlere hükümetin destekleyici politikalarla yaklaşması sağlanabilir.

Dijital dönüşüm sürecinin başlangıç maliyeti maalesef yüksektir, ancak doğru bir planlama ile uzun vadede getireceği faydalar başlangıç maliyetlerinin göz ardı edilmesini sağlayabilir. Ayrıca hükümet destekli bir strateji geliştirilmesi

durumunda çeşitli vergi indirimi, teşvik ücreti gibi destekler maliyet konusunda şirketlerin dijital dönüşüm süreci yatırımlarında cesaretlerini arttırabilir.

Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu, maalesef göz ardı edilemez bir gerçektir. Ancak eğitim planlamaları kademeli olarak yapılabilir. Bir grup çalışan eğitim sürecini tamamladıktan sonra iş yükünün bir kısmı dijital süreçler üzerinden yürütülürken bir kısmı mevcut düzen üzerinden işlerini yürütebilir, sonrasında ise gruplar halinde eğitimlerini tamamlayan çalışanlarla dijital dönüşüm süreçleri tamamlanabilir. Tabii ki dijital teknolojiler kendisini geliştirmeye devam ettiği için eğitim programları da sürekli devam etmeli ve teknolojik gelişmelerin gerisinde kalınmamalıdır.

İkinci aşamada ise yorumlayıcı yapısal model şemasının 2' nci seviyesinde yer alan engellere odaklanılmalıdır. Birinci aşamada yer alan engellere odaklanan bir strateji planı, 2' nci seviyede kendine yer bulan engellere çözüm getirmenin önünü açacaktır. Gerekli mali yükün göze alınarak başlatıldığı bir dönüşüm sürecinde çalışanların dijital dönüşüm hakkındaki bilgi eksikliğini gidermek için çeşitli seminerler, eğitimler ve daha önce yapılmış uygulama örnekleri gösterilecek, böylece konu hakkındaki bakış açısının değişmesi sağlanacaktır. Dönüşüm süreci ve dijital teknolojiler hakkında bilgi sahibi olan bir ekibin, dijital dönüşüm sürecine ve yeni dijital teknolojilere yaklaşımı değişecek, motivasyon ve sürecin ilerleyiş hızı artış gösterecektir. Yetkin teknik personel eksikliği engeli dolaylı veya doğrudan olarak eğitim süreçleriyle bağlantılıdır. Dijital teknolojilerin gelişimine dair yeterli bilgiye sahip olan ve gerekli eğitimleri almış olan profesyonel sayısı az olduğundan yetkin teknik personel eksikliği yaşanmaktadır. Şirketlerin dijital dönüşüm süreçlerini yapılandırmasıyla birlikte bu farkındalık artacaktır ve sektördeki yetkin personel sayısı da artış eğilimine girecektir.

Şirketler, dijital dönüşüm süreçlerinin planlamasında ve yönetilmesinde daha önce süreç içerisinde yer almış profesyonellere ihtiyaç duyacaktır. Bu engelin aşılması, sürece liderlik edebilecek az sayıda yöneticiyle iletişime geçip gerekli bütçe, zaman ve özgürlüğün kendisine verilmesinden geçmektedir. Ülkemizde dijital dönüşüm sürecine yönelik standart ve mevzuat eksikliği göze çapmaktadır. Ancak ilk aşamada bahsedilen hükümet yetkilerini bilgilendiren ve teşvik politikaları oluşturulmasını sağlayacak girişim, bu engelin aşılmasının da önünü açacaktır.

Çünkü şirketlerin dijital dönüşüm süreçlerini destekleyen bir hükümet, bu süreci denetlemek ve kontrol altında tutmak isteyecektir. Bu doğrultuda, gerekli teknik bilgiye sahip bir komisyon oluşturarak sürecin kontrolü sağlayacak standartların ve mevzuatların geliştirilmesini sağlayacaktır. Dönüşüm sürecinin belirli standartlara tabii tutulması ise dijital dönüşüm sürecinin getirdiği belirsizliklerin azalmasına etki edecektir. Çünkü geliştirilen strateji, konunun uzmanları tarafından belirlenmiş mevzuatlarla ilerleyecek ve dönüşüm sürecine olan güven artacaktır.

Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesinin oluşması, her seviyeden katılımcının sistemde yer alacak olmasından dolayı normaldir. Ancak eğitim süreçlerini layığıyla tamamlamış ekiplerin uyumluluğu, belirli standartlar dahilinde birlikte çalışıkça artacaktır. Sürecin başında mutlak koordinasyon beklenmesi, gerçekçi bir yaklaşım olmayacaktır; bu durumun farkında olmak ve stratejiye güvenmek gereklidir.

Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliğini aşmak maalesef süreci başlatacak ilk şirketler için mümkün olmayacaktır. Çünkü, Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecini ilk başlatan şirketler, sürece öncülük edecek ardından dönüşüm sürecini başlatmak isteyecek şirketlere örnek olacaktır. Sürecin öncü şirketleri, doğru bir reklam çalışması yöneterek almış aldıkları bu riski kendi lehine kullanabilirler. Ayrıca yaşamış oldukları geçiş süreci sebebiyle bu alanda danışmanlık sağlayarak kendilerine yeni bir iş alanı oluşturabilirler.

Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hatalar maalesef dönüşüm sürecini yöneten şirketlerin yapabileceklerinin sınırlı olduğu bir engeldir. Bu süreçte problem yaşamamak adına kaliteli bir teknoloji danışmanlık şirketiyle anlaşarak, bu engelin oluşturabileceği olumsuzlukların azaltılması sağlanabilir.

Üçüncü ve son aşamada ise yorumlayıcı yapısal model şemasının 1' inci seviyesinde yer alan veri güvenliği endişesi engeline odaklanılmalıdır. Bu engelin ortadan kaldırılması büyük oranda diğer engellerin varlığıyla ilişkilidir. Diğer seviyede yer alan engellerin ortadan kaldırılmasını veri güvenliği endişesinin azalması izleyecektir. Yine de olası veri sızıntılarından kaynaklı yaşanacak problemleri azaltmak adına siber güvenlik şirketleriyle anlaşarak bir güvenlik prosedürü oluşturulabilir.

Bu çalışma, Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin tepeden aşağı ilerleyen bir süreç olacağını düşünerek, dönüşüm sürecinin önündeki engellerin büyük ölçekli firmalar açısından değerlendirilmesini amaçlamıştır. Çalışmanın bulguları hem akademik hem de pratik çıkarımlara sahiptir. İlk olarak literatürde Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellere yönelik çalışma sayısı yetersizdir. Çalışma sonuçları hem engellerin belirlenmesini sağlamış hem de engeller arasındaki ilişkilere yönelik bir fikir oluşmasını sağlamıştır. Pratik olarak ise büyük ölçekli firmaların dijital dönüşüm sürecine yönelik yaklaşımlarını değerlendirerek dönüşüm planlaması yapacak şirketlerin dijital dönüşüm stratejileri geliştirmesini destekler nitelikte sonuçlar ortaya koymuştur.

Bu çalışmanın önemli katkıları olmasına rağmen bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Çalışma, alanında uzman katılımcıların görüşleri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir, bu görüşler özeldir ve farklı katılımcılarla farklı sonuçlara ulaşılabilir. Ayrıca, mevcut teknolojilerin kullanımı gözetilerek çalışma büyük ölçekli firmaları hedeflenmiş ve bu şirketlerde çalışan uzmanlar özelinde gerçekleştirilmiştir. Firma ölçeğinin değişmesiyle engeller arasındaki ilişkilerin değiştiği farklı yapılar ortaya çıkabilir. Farklı çalışmaların sonuçları da değerlendirilerek genel bir engel ilişki şeması geliştirilebilir. Çalışma, Türkiye özelinde belirlenmiş engeller ile gerçekleştirilmiştir. Engellerin geçerliliği ülkeye göre farklılık gösterebilir. Hedef şirket sayısı, dolayısıyla ankete katılım sağlayabilecek uzman sayısı sınırlıdır. Katılımcı sayısındaki sınırlamalar düşünüldüğünde, az katılım sayısı ile verimli sonuçlar veren yorumlayıcı yapısal model bu çalışmanın analizinde tercih edilmiştir. İlerleyen süreçte farklı analiz yöntemleriyle benzer çalışmalar gerçekleştirilebilir. Bu çalışma, sınırlama ve katkılarıyla birlikte Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm süreçlerine yönelik gerçekleştirilebilecek gelecek çalışmalara ışık tutar niteliktedir.

KAYNAKÇA

- [1] R.B Akbay, B. B. Ökten, Y. A. Üstüner “Şantiyelerde Bilgi Modellemesi ve Dijital Teknolojilerin Kullanımı.”, Academic Journal of Information Technology, Cilt: 14, Sayı: 54, 2023.
- [2] T. Mäkinen, “Strategizing for Digital Transformation: A Case Study of Digital Transformation Process in the Construction Industry.”, Master’s Thesis Aalto University School of Science Degree Programme in Industrial Engineering and Management, 17.08.2017.
- [3] L. K. Bin, “Readiness Of Digital Transformation In Malaysian Construction Industry”, Bachelor’s Thesis Lee Kong Chian Faculty of Engineering and Science Universiti Tunku Abdul Rahman, Nisan 2020.
- [4] V. Koscheyev, V. Rapgof ve V. Vinogradova, “Digital transformation of construction organizations,” in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Institute of Physics Publishing, Nisan 2019.
- [5] T. D. Oesterreich ve F. Teuteberg, “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, vol. 83. Elsevier B.V., pp. 121–139, Aralık 01, 2016.
- [6] T. M. Cherian, C. Joe ve A. Sj, “Digital Transformation in Supply Chain Management: A conceptual framework for construction industry.”, Indian Journal of Economics and Business Vol. 20 No. 3 Aralık 2021.
- [7] C. Matt, T. Hess ve A. Benlian, “Digital Transformation Strategies,” Business and Information Systems Engineering, vol. 57, no. 5. Gabler Verlag, pp. 339–343, Ekim 01, 2015.
- [8] R. Klinc ve Ž. Turk, “Construction 4.0 – Digital Transformation of One of the Oldest Industries,” Economic and Business Review, vol. 21, no. 3, Aralık 2019.
- [9] S. N. Ernstsén, J. Whyte, C. Thuesen ve A. Maier, “How Innovation Champions Frame the Future: Three Visions for Digital Transformation of Construction,” J Constr Eng Manag, vol. 147, no. 1, Ocak 2021.
- [10] M. Jacobsson, H. C. J. Linderöth ve S. Rowlinson, “The role of industry: an analytical framework to understand ICT transformation within the AEC industry,” Construction Management and Economics, vol. 35, no. 10, pp. 611–626, Ekim 2017.
- [11] H. C. Linderöth, M. Jacobsson ve A. Elbanna, “Barriers for Digital Transformation: The Role of Industry.” Australasian Conference on Information Systems 2018, Sydney.
- [12] K. R. Prebanić ve M. Vukomanović, “Realizing the need for digital transformation of stakeholder management: A systematic review in the construction industry,” Sustainability (Switzerland), vol. 13, no. 22. MDPI, Kasım 01, 2021.
- [13] E. Z. Ceylan, C. Mimar, S. Güzel, S. Üniversitesi, Enformatik Bölümü, “Dijital İkizler ve İnşaat Sektöründeki Yeri”, Yapı Bilgi Modelleme Cilt: 1 Sayı: 2, 53 - 61, 30.10.2019.

- [14] N. Varol, “Dijital dönüşüm ve yapay zekâ: muhasebenin ve denetimin geleceği,” *Denetim ve Güvence Hizmetleri Dergisi*, 3(2), 162-184, 2023.
- [15] A. E. Keleş, M. K. Keleş, “İnşaat Sektöründe Kullanımı Artan Bilgisayar Yazılımları ve Bilgi Teknolojilerinin İrdelenmesi”, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* Cilt: 5, No: 2, 610-617, 2018.
- [16] Y. Reshetyuk, “Investigation and calibration of pulsed time of flight terrestrial laser scanners,” *Royal Institute of Technology*, Stockholm, 2006.
- [17] FIEC BIM Manifesto, “DIGITALISATION, CONSTRUCTION 4.0 AND BIM,” FIEC European Construction Industry Federation. Accessed: Mart 01, 2023.
- [18] T. Cerovsek, “A review and outlook for a ‘Building Information Model’ (BIM): A multi-standpoint framework for technological development,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 25, no. 2, pp. 224–244, Nisan 2011.
- [19] J. S. Kent, W. Jensen ve K. Philipsen, *Drivers and Barriers for Industry 4.0 Readiness and Practice: A SME Perspective with Empirical Evidence*.
- [20] J. Stentoft, K. Aadsbøll Wickstrøm, K. Philipsen ve A. Haug, “Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers,” *Production Planning and Control*, vol. 32, no. 10, pp. 811–828, 2021.
- [21] H. Aladag, G. Demirdögen ve Z. Isik, “Building Information Modeling (BIM) Use in Turkish Construction Industry,” in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, , pp. 174–179, 2016.
- [22] O. I. Olanrewaju, N. Chileshe, S. A. Babarinde ve M. Sandanayake, “Investigating the barriers to building information modeling (BIM) implementation within the Nigerian construction industry,” *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 27, no. 10, pp. 2931–2958, Ekim 2020.
- [23] C. Newman, D. Edwards, I. Martek, J. Lai, W. D. Thwala ve I. Rillie, “Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study,” *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 10, no. 4, pp. 557–580, Kasım 2021.
- [24] F. O. Ezeokoli, K. C. Okolie, P. U. Okoye ve C. C. Belonwu, “Digital Transformation in the Nigeria Construction Industry: The Professionals’ View,” *World Journal of Computer Application and Technology*, vol. 4, no. 3, pp. 23–30, Eylül 2016.
- [25] X. Chen, A. Y. Chang-Richards, T. W. Yiu, F. Y. Y. Ling, A. Pelosi ve N. Yang, “A multivariate regression analysis of barriers to digital technologies adoption in the construction industry,” *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2023.
- [26] L. Stojanovska-Georgievska, I. Sandeva, A. Krleski, H. Spasevska, M. Ginovska, I. Panchevski, R. Ivanov, I. P. Arnal, T. Cerovsek ve T. Funtik., “BIM in the Center of Digital Transformation of the Construction Sector—The Status of BIM Adoption in North Macedonia†,” *Buildings*, vol. 12, no. 2, Şubat 2022.

- [27] S. L. Zulu, A. M. Saad, S. O. Ajayi, M. Dulaimi ve M. Unuigbo, "Digital leadership enactment in the construction industry: barriers undermining effective transformation," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2023.
- [28] N. Zhang, J. Ye, Y. Zhong ve Z. Chen, "Digital Transformation in the Chinese Construction Industry: Status, Barriers, and Impact," *Buildings*, vol. 13, no. 4, Nisan 2023.
- [29] D. Aghimien, C. Aigbavboa, A. Oke, W. Thwala ve P. Moripe, "Digitalization of construction organisations—a case for digital partnering," *International Journal of Construction Management*, vol. 22, no. 10, pp. 1950–1959, 2022.
- [30] S. Perera, X. Jin, M. Samaratunga ve K. Gunasekara, "Drivers and Barriers To Digitalisation: A Cross-Analysis of The Views Of Designers and Builders In The Construction Industry", *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 28, pp. 87–106, 2023.
- [31] K. Wang, F. Guo, C. Zhang ve D. Schaefer, "From Industry 4.0 to Construction 4.0: barriers to the digital transformation of engineering and construction sectors," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2022.
- [32] B. Q. A. Ahlam ve Z. A. Rahim, "A Review of Risks for Bim Adoption in Malaysia Construction Industries: Multi Case Study," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1051, no. 1, p. 012037, Şubat 2021.
- [33] A. O. Windapo, "The construction industry transformation and the digital divide: Bridging the gap," *South African Journal of Science*, vol. 117, no. 7–8. Academy of Science of South Africa, 2021.
- [34] A. Oke, D. Emmanuel, A. Omoregie, O. Clinton ve K. Nteboheng, "Challenges of Digital Collaboration in The South African Construction Industry.", *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bandung, Indonesia*, Mart 6-8, 2018.
- [35] A. O. Afolabi, C. Nnaji ve C. Okoro, "Immersive Technology Implementation in the Construction Industry: Modeling Paths of Risk," *Buildings*, vol. 12, no. 3, Mart 2022.
- [36] D. Aghimien, C. Aigbavboa, T. Meno ve M. Ikuabe, "Unravelling the risks of construction digitalisation in developing countries," *Construction Innovation*, vol. 21, no. 3, pp. 456–475, 2021.
- [37] A. Bajpai ve S. C. Misra, "Identifying Critical Risk Factors for Use of Digitalization in Construction Industry: A Case Study," in *Proceedings - 2020 IEEE India Council International Subsections Conference, INDISCON 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 124–128, Ekim 2020.
- [38] A. N. Hasan ve S. M. Rasheed, "The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry," *Civil Engineering Journal (Iran)*, vol. 5, no. 2, pp. 412–421, Şubat 2019.
- [39] M. Regona, T. Yigitcanlar, B. Xia ve R. Y. M. Li, "Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA Review," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 8, no. 1, Mart 2022.

- [40] S. O. Abioye, L. O. Oyedele, L. Akanbi, A. Ajayi, J. M. D. Delgado, M. Bilal, O. O. Akinade ve A. Ahmed, “Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges,” *Journal of Building Engineering*, vol. 44. Elsevier Ltd, Aralık 01, 2021.
- [41] D. Pamučar, M. Behzad, M. Janosevic ve C. A. Aburto Araneda, “A Multi-Criteria Decision-Making Framework for Prioritizing and Overcoming Sectoral Barriers in Converting Agricultural Residues to a Building Material,” *Mathematics*, vol. 10, no. 21, Kasım 2022.
- [42] A. E. Oke, J. Aliu ve S. A. Onajite, “Barriers to the adoption of digital technologies for sustainable construction in a developing economy,” *Architectural Engineering and Design Management*, 2023.
- [43] N. Lasarte, P. Elguezabal, M. Sagarna, I. Leon ve J. P. Otaduy, “Challenges for digitalisation in building renovation to enhance the efficiency of the process: A spanish case study,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 21, Kasım 2021.
- [44] O. Samuelson ve L. Stehn, “Digital transformation in construction – a review,” *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 28, pp. 385–404, Temmuz 2023.
- [45] A. Bajpai, S. C. Misra and D. Y. Kim, “Identification and assessment of risks related to digitalization in Indian construction: a quantitative approach,” *Business Process Management Journal*, vol. 29, no. 4, pp. 965–990, Haziran 2023.
- [46] C. Wilson ve I. Mergel, “Overcoming barriers to digital government: mapping the strategies of digital champions,” *Gov Inf Q*, vol. 39, no. 2, Nisan 2022.
- [47] T. D. Moshood, A. Q. Adeleke, G. Nawanir ve W. A. Ajibike, “Emerging Challenges and Sustainability of Industry 4.0 Era in the Malaysian Construction Industry”, *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)* ISSN: 2277-3878, Volume-9 Issue-1, Mayıs 2020.
- [48] F. Kretschmer, S. Franziskowski, F. Huber ve T. Ertl, “Chances and barriers of building information modelling in wastewater management,” in *Water Science and Technology*, IWA Publishing, pp. 1630–1642, Nisan 2023
- [49] A. Maqsoom, M. Zulqarnain, M. Irfan, F. Ullah, F. K. Alqahtani ve K. I. A. Khan, “Drivers of, and Barriers to, the Adoption of Mixed Reality in the Construction Industry of Developing Countries,” *Buildings*, vol. 13, no. 4, Nisan 2023.
- [50] H. Al-Siah ve A. Fioravanti, “BIM and BPMN 2.0 Integration for Interoperability Challenge in Construction Industry” Chapter 21, *Technological Imagination in the Green and Digital Transition*, Springer, 2023.
- [51] K. F. Chien, Z. H. Wu ve S. C. Huang, “Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects: Empirical study,” *Autom Constr*, vol. 45, pp. 1–15, 2014.
- [52] M. S. Jalali, J. P. Kaiser, M. Siegel ve S. Madnick, “The Internet of Things Promises New Benefits and Risks: A Systematic Analysis of Adoption Dynamics of IoT Products,” *IEEE Secur Priv*, vol. 17, no. 2, pp. 39–48, Mart 2019.
- [53] “KOBİ TANIMI GÜNCELLENDİ!”, KOSGEB, 26 Mayıs 2023. <https://www.kosgeb.gov.tr/site/tr/genel/detay/8807/kobi-tanimi-guncellendi>. [Erişim: 25 Şubat 2024].

- [54] N. Ahmad ve A. Qahmash, "Smartism: Implementation ve assessment of interpretive structural modeling," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 16, Ağustos 2021.
- [55] G. Ma, J. Jia, J. Ding, S. Shang ve S. Jiang, "Interpretive structural model based factor analysis of BIM adoption in Chinese construction organizations," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 7, Nisan 2019.
- [56] M. I. Adegoriola, J. H. K. Lai ve R. Abidoye, "Critical success factors of heritage building maintenance management: An ISM-MICMAC analysis," *Journal of Building Engineering*, vol. 75, Eylül 2023.
- [57] X. Gan, R. Chang, J. Zuo, T. Wen ve G. Zillante, "Barriers to the transition towards off-site construction in China: An Interpretive structural modeling approach," *J Clean Prod*, vol. 197, pp. 8–18, Ekim 2018.
- [58] N. Ahmad, "The Structural Modeling of Significant Factors for Sustainable Cloud Migration," *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, Vol.14, No.2, 2021.
- [59] N. Ahmad, S. Qamar, N. Khan, A. Naim, M. R. Hussain, Q. N. Naveed ve M. R. Mahmood, "Cloud Computing Trends and Cloud Migration Tuple," Springer 2020.
- [60] Shen, L., Song, X., Wu, Y., Liao, S. ve Zhang, X. "Interpretive Structural Modeling based factor analysis on the implementation of Emission Trading System in the Chinese building sector," *J. Clean. Prod.* 127, 214–227, 2016.
- [61] W. S. Alaloul, M. S. Liew, N. A. W. A. Zawawi ve I. B. Kennedy, "Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 225–230, Mart 2020.
- [62] U. Farooq, S. K. Ur Rehman, M. F. Javed, M. Jameel, F. Aslam ve R. Alyousef, "Investigating bim implementation barriers and issues in Pakistan using ism approach," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 20, pp. 1–21, Ekim 2020.
- [63] N. Alaboud ve A. Alshahrani, "Adoption of Building Information Modelling in the Saudi Construction Industry: An Interpretive Structural Modelling," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 7, Nisan 2023.

A

DİJİTAL DÖNÜŞÜM SÜRECİNİN ÖNÜNDEKİ ENGELLERİN TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNE UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ ÇALIŞMASI

Bu bölümde Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engelleri belirlemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmanın detayları paylaşılmıştır. Bu çalışma, alanındaki uzmanlardan değerli görüş ve bakış açıları elde etmek amacıyla yapılmıştır. Çalışma, ilgili konudaki uzmanlık ve deneyimlerine göre seçilen 6 uzmana dağıtılmıştır. Uzmanların görüşleri doğrultusunda tez çalışmasına yön verecek olan anket çalışmasında yer alacak değişkenlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışma için aşağıdaki tabloda yer alan engelleri incelemeniz, değerlendirme sütununda bu engellerin Türk İnşaat Sektöründeki Firmalar açısından anlamlı bir engel faktörü olup olmaması ile ilişkili uygundur veya uygun değildir şeklinde görüş belirtmeniz beklenmektedir. Tablo A.1’ de “sıklık” olarak belirtilen değerler, ilgili engellerin literatürde bahsi geçme sıklığıdır. Belirlenen engellerden uygun bulmadığınız olması halinde “değerlendirme” sütununa neden uygun bulmadığınızı lütfen belirtiniz. Ekleme yapmak istediğiniz hususlar mevcutsa ilgili tablodaki son satıra yine değerlendirme sütununa ekleme sebeplerini belirterek yazmanızı rica ederiz.

Adınız/Soyadınız:

Yaşınız:

Cinsiyetiniz:

Mesleğiniz:

Çalıştığınız Kurum:

Çalıştığınız Pozisyon:

Sektörde Çalışma Süreniz:

Tablo A.1 İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller

Engeller	Açıklama	Literatürde Bahsedilme Sıklığı	Türk inşaat sektöründeki firmalar açısından uygunluğu	Değerlendirme
İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği	İnşaat sektörü geleneksel yapısıyla teknolojik gelişmelerin dışında kalmış farklı sektörlerde yaşanan dijital gelişmeleri takip edememiştir. Sektör paydaşları yeni teknolojilerin inşaat sektörüne getirebileceği faydalar ve yenilikler konusunda yeterli bilgiye sahip değildir.	14/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	
İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi	Dijital gelişmelerin kullanımına uyum sağlamak, yeni eğitim süreçlerinin içerisinde yer almak ekip üyeleri için ekstra çalışma ve çaba gerektirmektedir. Ayrıca yeni teknolojilerin kullanımıyla iş süreçlerinde insan faktörünün azalacağına olan inanç çalışanların dijitalleşme konusunda isteksiz davranmasına neden olmaktadır.	26/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	

Tablo A.1 İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller (devamı)

Yetkin teknik personel eksikliği	İnşaat sektörü rekabeti oldukça yüksek olan bir sektördür. Şirket başarısını arttırmak için yenilikçi teknolojilere geçişin yaşanması zorunlu hale gelmektedir. Bu geçiş sürecine uyum ne kadar çabuk sağlanırsa rekabete ayak uydurmak o derece kolay olacaktır. Çalışanların uyum ve becerilerini arttırmak için nitelikli eğitmenler ve uygun motivasyon yönetimi sağlanarak çalışanların adaptasyon becerisi en yüksekte tutulmalıdır. Ancak çalışanlara gerekli eğitimi verecek yetkin teknik personel sayısı sınırlıdır.	23/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	
Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği	Şirketlerin dijital dönüşüm süreçleri yüksek maddi yatırım, yeni bir organizasyon yapısı ve eğitim süreçlerini gerektirir. Dolayısıyla dönüşüm süreçleri en küçük detayına kadar iyi bir şekilde planlanarak dikkatlice yürütülmelidir. Bu süreçte liderlik edecek nitelikte yöneticiyi bulmak oldukça zordur.	9/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	
Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti	Dijital dönüşüm sürecinde çalışanların eğitimine ayrılacak bütçenin yüksekliği, teknolojik altyapı maliyeti gibi yüksek yatırımlara karşılık maddi geri dönüşlerin tahmini konusundaki belirsizlik firmaların organizasyonlarını dönüştürmekten imtina etmesine neden olmaktadır.	28/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	

Tablo A.1 İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller (devamı)

Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu	Dijital bir yapının sorunsuz bir şekilde işleyişe geçmesi için organizasyon içerisindeki çalışanların nitelikli eğitimler almaları gerekmektedir. Dijital yapıların anlaşılması kolay olmadığından verilecek eğitimler belirli bir süreç gerektirecektir. Bu sürecin kısa olmaması zaten zamana karşı yarışılan inşaat sektöründe dönüşüme karşı mesafeli bir tutuma neden olmaktadır.	11/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	
Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği	Devlet nezdinde şirketleri teşvik edecek politikaların yetersizliği dönüşüm sürecinin hızlanmasında engel teşkil etmektedir.	7/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	
Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği	Özellikle gelişmekte olan ülkelerde yönetimlerin yenilikçi teknolojilere olumlu yaklaşımıyla pek karşılaşmaz. Yeni teknolojilere bu mesafeli tutum yasal düzenlemelerin değişim sürecini de geciktirmektedir. Dijital dönüşümün gerçekleşebilmesi için yasal süreçlerin uygunluğu gerekmektedir. Özellikle mahremiyet ve gizlilik konusundaki kurallar dönüşümün önünde engel teşkil etmektedir.	23/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	

Tablo A.1 İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller (devamı)

Veri güvenliği endişesi	Yeni teknolojilerin organizasyonlara dâhil olması beraberinde siber güvenlik endişelerini de getirmektedir. Özellikle inşaat sektörü gibi sürekli aktif şekilde ilerleyen ve sürekli veri üreten bir sektörde; biriken bunca verinin depolanması, depolanan verilere herkesin ulaşabileceği endişesi teknolojik dönüşümün önünde engel teşkil etmektedir.	20/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	
Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler	Dijital dönüşümün uygulanmasından tam verim alınması için organizasyonların bütün seviyeleri değişime dâhil olmalıdır. Dönüşüm sürecinde herhangi bir alt seviyede oluşacak hata bütün yapıyı etkileyecektir. Meydana gelecek olası aksaklıkların getireceği zaman ve para kaybını tahmin etmek oldukça zordur.	16/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	
Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi	Dijital yapılar bütün çalışanlarla doğrudan aktif etkileşimli sistemlerdir. Katılımcılar arasındaki uyumsuzluklar dijital sistemin işleyişini komple etkileyecektir.	12/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	

Tablo A.1 İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller (devamı)

Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm süreçlerinden geçen firma sayısı oldukça azdır. Bu yüzden dijital dönüşüm evrelerinin en verimli şekilde nasıl tamamlanacağı konusu net değildir. Sektöre örneklik edecek model eksikliği firmaların dijital dönüşüme mesafeli bir tutum almasına neden olmaktadır.	15/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	
Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hataları	Dijital teknolojilerde meydana gelecek donanımsal ve yazılımsal hatalar kolayca müdahale edilecek türden hatalar değildir. Konunun uzmanları tarafından sorun çözüme kavuşturulmalıdır. Çözüm sürecinin alacağı zaman ve süreç boyunca işlerin manuel olarak ilerlemeyecek olması dijital dönüşüme yaklaşım konusunda firmaları düşündürmektedir.	7/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	
İnşaat sektöründe dijital dönüşüme yönelik rekabet ve motivasyon eksikliği	İnşaat sektöründe dijital dönüşümünü tamamlamış, dönüşümün getirilerinden faydalanan diğer firmalara örnek teşkil edecek organizasyonlara ihtiyaç vardır. Ancak dijital dönüşüm sürecine dahil olan firma sayısı az olduğundan sektör içi rekabet ve motivasyon eksikliği bulunmaktadır.	7/38	☐ Uygun ☐ Uygun Değil	

B

TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM SÜRECİNİN ENGELLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN DEĞERLENDİRİLME ÇALIŞMASI

Bu bölümde Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmanın detayları paylaşılacaktır. Bu çalışma, 2023 yılında ENR 250 listesinde yer alan inşaat şirketlerinde dijital teknolojilerle çalışan uzmanlara gönderildi ve 27 kişiden geri dönüş alındı. Çalışma sonucunda, engeller arasındaki ilişkiler değerlendirilerek dijital dönüşüm sürecine etki eden engelleri önceliklendirmek amaçlanmaktadır.

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Yüksek Lisans programında gerçekleştirilen “**Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Sürecinin Önündeki Engellerin Büyük Ölçekli Firmalar Açısından Yorumlayıcı Yapısal Model ile Analizi**” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasının bir parçasıdır. Çalışma, Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engellerin ikili bağlamsal ilişkilerinin incelenmesini amaçlamaktadır. Vereceğiniz yanıtlar gizli tutulacak ve yalnızca bilimsel amaçlı kullanılacaktır. Zaman ayırdığınız için teşekkür ederiz.

Adınız/Soyadınız:

Yaşınız:

Cinsiyetiniz:

Mesleğiniz:

Çalıştığınız Kurum:

Çalıştığınız Kurumun Faaliyet Alanı:

Çalıştığınız Pozisyon:

Sektörde Çalışma Süreniz:

Aşağıdaki tabloda gösterilen engelleri ve açıklamalarını dikkatlice inceleyiniz.

Tablo B.1 Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller

	Engeller	Açıklama
1	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği	Sektör paydaşlarının, yeni teknolojilerin inşaat sektörüne getirebileceği faydalar ve yenilikler konusunda yeterli bilgiye sahip olmaması.
2	İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi	Yeni teknolojilerin kullanımıyla iş süreçlerinde insan faktörünün azalacağına olan inançtan kaynaklı çalışanların dijitalleşme konusunda isteksiz davranması.
3	Yetkin teknik personel eksikliği	Sektör çalışanlarına gerekli eğitimleri verebilecek yetkinlikteki teknik personel sayısının kısıtlı oluşu.
4	Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği	Dönüşüm süreçlerini en küçük detayına kadar iyi bir şekilde planlayarak dikkatlice yürütecek, bu sürece liderlik edecek yöneticiyi bulmanın zorluğu.
5	Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti	Dijital dönüşüm sürecinde çalışanların eğitime ayrılacak bütçenin yüksekliği ve teknolojik altyapı maliyeti gibi yüksek yatırımların, firmaların organizasyonlarını dönüştürmekten imtina etmesine neden olması.
6	Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu	Personellere dijital teknolojilerin kullanımı için verilecek eğitim sürecinin uzun olması.
7	Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği	Devlet nezdinde şirketleri teşvik edecek politikaların yetersizliği.
8	Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği	Gelişmekte olan ülkelerde yönetimlerin yenilikçi teknolojilere olumlu yaklaşmayı sonucı, yeni teknolojilere olan mesafeli tutumun yasal düzenlemeleri geciktirmesi.
9	Veri güvenliği endişesi	Depolanan verilere herkesin ulaşabileceği endişesi.
10	Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler	Teknolojik dönüşümün uygulamasında tam verim alınması için organizasyonların bütün seviyelerinin değişime dâhil olması gerekmesi ve dâhilinde gelen belirsizlikler.
11	Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi	Dijital yapılar bütün çalışanlarla doğrudan aktif etkileşimli sistemler olduğundan dolayı katılımcılar arasındaki uyumsuzlukların dijital sistemin işleyişini bütünüyle etkilemesi.
12	Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm süreçlerinden geçen firma sayısının oldukça az oluşu ve bu sebeple, sektöre örneklik edecek model eksikliği.
13	Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hataları	Dijital sistemlerde oluşacak bir hatanın ancak konunun uzmanlarının müdahalesi ile düzeltilebilmesi ve bu süreçte işlerin manuel olarak ilerleyememesi.

Tablo B.1’ de belirlenen engellerin yorumlayıcı yapısal model ile analiz edilebilmesi için kullanıcıların doldurması gereken tabloya ait örnek bir gösterim Tablo B.2’ de gösterilmektedir. Tablo B.2’ de belirtilen sembollerin anlamı aşağıdaki gibidir.

- V= engel i, j engelini etkiliyorsa
- A= j bariyeri, i bariyerini etkiliyorsa
- X= i ve j engelleri birbirini karşılıklı olarak etkiliyorsa
- O= i ve j engelleri birbiriyle ilişkili değilse

Tablo B.2: İkili etkileşim matrisi örneği

Engel i \ Engel j	6	5	4	3	2	1
1 Finansal kaynak eksikliği	V	A	O	O	O	
2 Nitelikli personel eksikliği	X	O	O	X		
3 Tecrübe eksikliği	O	O	O			
4 Çevre baskısı	O	O				
5 Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti	O					
6 Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu						

Yukarıda verilen örnek gösterime göre;

- Finansal kaynak eksikliği, personel eğitim süreçlerinin uzunluğu engelini etkilemektedir.
- Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti, finansal kaynak eksikliği engelini etkilemektedir.
- Finansal kaynak eksikliği ve çevre baskısı engelleri birbirlerini etkilememektedir.
- Nitelikli personel eksikliği ve personel eğitim süreçlerinin uzunluğu engelleri birbirlerini karşılıklı olarak etkilemektedir.

Lütfen incelemiş olduğunuz engeller doğrultusunda, Tablo B.3’ te yer alan beyaz alanları yukarıdaki örnekte gösterildiği gibi doldurunuz.

Tablo B.3: İnşaat sektöründe dijital dönüşüm sürecinin önündeki engeller ikili ilişki matrisi

Engel i \ Engel j		13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	İnşaat sektöründe dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği													
2	İnşaat sektöründe çalışan ekibin dijitalleşmeyi kabullenmemesi													
3	Yetkin teknik personel eksikliği													
4	Şirketlerin dijital dönüşümünde etkin liderlik eksikliği													
5	Dijital dönüşüm sürecinin yüksek maliyeti													
6	Personel eğitim süreçlerinin uzunluğu													
7	Hükümetin dijital dönüşüme destek eksikliği													
8	Dijital dönüşüme yönelik mevcut mevzuat ve standart eksikliği													
9	Veri güvenliği endişesi													
10	Şirket yapısının tümüyle yeniden yapılandırılacak olmasının getirdiği belirsizlikler													
11	Birlikte çalışabilirlik ve koordinasyon endişesi													
12	Dijital dönüşüme örneklik edebilecek model eksikliği													
13	Teknolojik yapılardaki donanımsal ve yazılımsal hataları													

Katılımınız için teşekkür ederiz.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

1. F. B. Semiz, H. Aladağ ve Z. Işık, “Barriers to the Digital Transformation Process in the Turkish Construction Industry,” Recent Advances in Science & Engineering, Volume 3, No 2, pp 58-69, Dec. 2023 Research Article.

