T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT PROJELERİNDE GEOTEKNİK RİSKLERİN YÖNETİMİNDE TEKNOLOJİK ARAÇLARIN KULLANIMI

İdil ÇALIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Yüksek Lisans Programı

Danışman

Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN

Eş Danışman

Prof. Dr. Aslı Pelin GÜRGÜN

Haziran, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT PROJELERİNDE GEOTEKNİK RİSKLERİN YÖNETİMİNDE TEKNOLOJİK ARAÇLARIN KULLANIMI

İdil ÇALIK tarafından hazırlanan tez çalışması 11.06.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Geoteknik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN Yıldız Teknik Üniversitesi Danışman	Prof. Dr. Aslı Pelin GÜRGÜN Yıldız Teknik Üniversitesi Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Aslı Pelin GÜRGÜN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi OSMAN HÜROL TÜRKAKIN, Üye
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa _____

Danışmanım Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN ve eş-danışmanın Prof. Dr. Aslı Pelin GÜRGÜN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "İnşaat Projelerinde Geoteknik Risklerin Yönetiminde Teknolojik Araçların Kullanımı" 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.

İdil ÇALIK

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Çalışmamda bana yön ve destek veren, emeklerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım sayın Prof. Aslı Pelin GÜRGÜN ve Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda, herhangi bir sıkıntı ve problemle karşılaştığımda bana her zaman kapılarını sonuna kadar açan sayın hocalarım Dr.Öğr.Üyesi Hande ALADAĞ ve Doç.Dr. Kerim KOÇ'a,

Bir yılı aşkın süredir çalıştığım Yapı Merkezi İnşaat şirketinde, kendileri ile tanıştığım için çok şanslı hissetiğim ve bu süreçte tüm bilgi ve birikimleriyle bana her anlamda yardımcı olan Ar-Ge koordinatörünümüz Dr. Hasan Burak GÖKÇE'ye ve departmanımın sayın koordinatörü Özgür GELBAL'a,

Yorulduğum ve tökezlediğim zamanlarda bana moral ve destek veren değerli arkadaşım Ömer Can ÖZEN'e,

Sıkıntılı dönemlerde yanımdan ayrılmayan ve bana her zaman güvenen aileme; çocukları için her türlü fedakarlığı yapan canım anneme, babama, sevgili kardeşlerim Münir ve İrem'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İdil ÇALIK

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR iv
SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ xii
ÖZET xiii
ABSTRACT xv
1 GİRİŞ 17
1.1 Literatür Özeti 18
1.2 Tezin Amacı 20
1.3 Hipotez (veya Orijinal Katkı) 21
2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI 23
2.1 Süregelen İnşaat Projelerinde Günümüz Problemleri ve Teknoloji 23
2.2.1 Proje ve Risk Yönetiminde Kullanılan Teknolojik Araçlar 36
2.2 Risk Yönetimi 30
3 GEOTEKNİK RİSKLER VE TEKNOLOJİK ARAÇLAR 80
3.1 Geoteknik Mühendisliği 80
3.2 Projelerdeki Geoteknik Riskler ve Teknolojik Araçlar 83
3.2.1 İnşaat Projelerinde Geoteknik Riskler ve Tarihçesi 83
3.2.2 Geoteknik Riskler ve Teknolojik Araçlar 89
3.3 Proje Yönetiminde Geoteknik Riskler 95
4 ANKET ÇALIŞMASI 108
4.1 Anket Tanıtımı 108
4.2 Anket Katılımcıları Analizi 111
4.3 Anket Cevapları Analizi 115
4.3.1 Güvenilirlik Testi 116
4.3.2 Normal Dağılım Testi 118
4.4 Kruskal-Wallis & Wilcoxon & Man Whitney Testleri 122
4.4.1 BIM 123
4.4.2 Paydaşlara göre BIM Cevaplarının Karşılaştırılması 128
4.4.3 BIM'in Performans Kriterlerine Etkisi 128
4.4.4 İş Tecrübesine göre BIM Cevaplarının Yorumlanması 129

4.4.5 Teknolojik Araçlar Karşılaştırmalar..... 130
4.5 Teknolojik Araçların Kategorilere göre Dağılımları 137
4.5.1 Paydaşlara Göre Teknolojik Araç Kullanımı.....137
4.5.2 Kategorilere göre En Çok ve En Az tercih edilen teknolojik araçlar.....140
5 SONUÇ **147**
5.1 Bulgular.....147
5.1.1 Anlamlı Farklılıklar.....148
5.1.2 Teknolojik Araçların Kategorilere göre Dağılımları& İncelenmesi.....156
5.2 Tartışma 159
KAYNAKÇA **162**
A ANKET **175**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **183**

SİMGE LİSTESİ

p, α	Anlamlılık Seviyesi
$H_N n$	İlgili hipotez
n	Bir setteki veri sayısı
σ	Standart sapma
α	Cronbach Alfa

KISALTMA LİSTESİ

3G	Üçüncü Nesil Kablosuz Mobil Telekomünikasyon Teknolojisi
4G/ 4G LTE	Dördüncü Nesil Kablosuz Mobil Telekomünikasyon Teknolojisi
5G	Beşinci Nesil Kablosuz Mobil Telekomünikasyon Teknolojisi
Ar-Ge	Araştırma Geliştirme
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Kurumu)
BIM	Building Information Modelling (Yapı Bilgi Modellemesi)
CCD	Charge Coupled Device (Yük Bağlaşımlı Cihaz)
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor (Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken)
DWG	Drawing (Çizim)
EN	European Standard (Avrupa Standartı)
GPT	Generative Pre-trained Transformer (Önceden Eğitimli Üretken Transformatör)
IEC	The International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
IT	Information Technology (Bilgi Teknolojisi)
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
RFID	Radio-frequency identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama Teknolojisi)
RQD	Rock Quality Designation (Kaya Kalite Değeri)
SCR	Ratio of Solid Core Recovered (Silindirik Karot Yüzdesi)
TBM	Tunnel Boring Machine (Tünel Kazma Makinesi)
TCR	Ratio of Core Recovered (Toplam Karot Yüzdesi)
TS	Türk Standartları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 654 Yayın için Scopus'ta "Endüstri 4.0" YA DA "Endüstriyel Evrim 4.0" VE BAŞLIK "inşaat" YA DA "bina" araştırma dizisi ile en sık ortaya çıkan anahtar kelime araması **30**

Şekil 2.2 The PMBOK® Rehberi Risk Yönetimi Süreci [28] **34**

Şekil 2.3 Kurumsal risk yönetimi performans ve varlık yönetimini tamamlayıcıları [33] **35**

Şekil 2.4 Teknolojik araçlar ve kronoloji **38**

Şekil 2.5 Büyük veri analitiğine dayalı tedarik zinciri performansını ölçme sistemi çalışması [36] **40**

Şekil 2.6 Gelişmiş bilgi teknolojileri **41**

Şekil 2.7 İnşaatta tablet kullanan işçi **42**

Şekil 2.8 Analog hücresel devre anahtarlamalı veri iletişimi [47]. **45**

Şekil 2.9 Literatürde son yıllarda inşaat mühendisliğinde Blok Zincir ile ilgili yapılan bazı çalışmalar ve içerikleri [55] **48**

Şekil 2.10 Gantt Şeması'nın basit bir gösterimi **49**

Şekil 2.11 İnşaat sektöründe kurumsal kaynak planlaması uygulamasının özellikleri [60] **53**

Şekil 2.12 Giyilebilir teknoloji sensör uygulaması [64] **54**

Şekil 2.13 Bulut bilişim teknolojisi [75] **57**

Şekil 2.14 Sahada Artırılmış Gerçeklik [100] **65**

Şekil 2.15 BIM-based Risk Management: Challenges and Opportunities **70**

Şekil 2.16 Kamera teknolojilerinin kısa tarihi **74**

Şekil 3.1 Pisa Kulesi **81**

Şekil 3.2 Şerit temel örneği **83**

Şekil 3.3 3 Boyutu sınırlandırılmamış sızıntı probleminin şematik gösterimi [153] **91**

Şekil 3.4 DEM 10 x 10 m'ye dayalı modelleme ve kartometrik ölçümlerin çıktısı **94**

Şekil 3.5 Sondaj ringi ve saha koşulları **100**

Şekil 3.6 Topoğrafik araştırma çalışmasına bir örnek **101**

Şekil 3.7 Zemin kayması [160] **103**

Şekil 4.1 Ankette teknolojik araçların tanıtıldığı bölüm a) fiziki ankette b) Google Formlar'da **109**

Şekil 4.2 İlk kategori soru örneği, fiziki anket (cevaplar göstermeliktir) **110**

Şekil 4.3 İkinci kategori soru örneği, fiziki anket (cevaplar göstermeliktir) **110**

Şekil 4.4 Üçüncü kategori soru örneği fiziki anket (cevaplar göstermeliktir)..... **110**

Şekil 4.5 a) Performans Kriterleri ve b) Yaşam Döngüsü **111**

Şekil 4.6 Cinsiyet dağılımı **112**

Şekil 4.7 Katılımcıların meslekleri **112**

Şekil 4.8 a) Katılımcıların kurumlarının sektördeki rolü pie-chart b) Kurum türü frekansları **113**

Şekil 4.9 Katılımcıların a) Toplam b) Geoteknik aktivitelerde iş tecrübeleri (yıl) **114**

Şekil 4.10 Anket katılımcılarının iş tecrübesi ile geoteknik uygulama tecrübesi arasındaki ilişki **114**

Şekil 4.11 İş tecrübesi ile geoteknik işlerde tecrübe arasında ilişki **115**

Şekil 4.12 Daha önce verilen teknolojileri an az bir kere kullanan katılımcıların yüzdesi **116**

Şekil 4.13 SPSS güvenilirlik analizi sonuçları **117**

Şekil 4.14 Soru 1 cevapların frekans dağılımı **119**

Şekil 4.15 Beklenen normal grafiği **120**

Şekil 4.16 Normalden sapma çizgisi **120**

Şekil 4.17 BIM kullanılma yüzdeleri **123**

Şekil 4.18 Paydaşlar ve BIM Ki Kare Testi **124**

Şekil 4.19 Paydaşlar ve BIM Ki Kare Testi (devam) **124**

Şekil 4.20 İş deneyimi yıllarına göre BIM kullanımı **125**

Şekil 4.21 Paydaşların daha önce BIM'i kullanma sayısı **125**

Şekil 4.22 Kruskal-Wallis Testi BIM ve geoteknik risklerin paydaşlar açısından karşılaştırılması **126**

Şekil 4.23 İşverenlere göre BIM'in risklere etkisi **127**

Şekil 4.24 BIM ve performans kriterleri frekans analizi **128**

Şekil 4.25 Man-Whitney testi işveren-denetim paydaşları maliyet performans kriteri anlamlı farklılık **129**

Şekil 4.26 BIM kullananlar ve kullanmayanlar arasında soru cevapları karşılaştırma Man-Whitney Testi sonucu bir kısmı (p değerleri > 0,05) **130**

Şekil 4.27 İş Tecrübesine göre teknolojik araç kullanımı Kruskal-Wallis testi .. **133**

Şekil 4.28 Paydaşlara göre teknolojik araç kullanımı Kruskal-Wallis Testi **135**

Şekil 4.29 Paydaşlar ve teknolojik araç kullanımları **139**

Şekil 4.30 Geoteknik riskler için en çok ve en az tercih edilen teknolojik aracın seçilmesi adımları **142**

Şekil 5.1 Anket katılımcıları ve özellikleri **147**

Şekil 5.2 Katılımcı meslekleri **148**

Şekil 5.3 Paydaşların en çok ve en az kullandığı teknolojik araçlar **157**

Şekil 5.4 Geoteknik riskler için en çok tercih edilen teknolojik araçlar..... **158**

Şekil 5.5 En tercih edilen ve en az tercih edilen teknolojik araçlar..... **158**

Şekil 5.6 Proje yaşam döngüsü ve proje performans kriterleri için en çok tercih edilen teknolojik araçlar..... **159**

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 İnşaat sektörü sorunlarının şiddeti [10] **24**

Tablo 2.2 Türkiye inşaat işlerinde süreç boyunca karşılaşılan firma risklerinin meydana gelme ihtimali [12] **26**

Tablo 3.1 Literatür taraması geoteknik risklerin sıklığı..... **88**

Tablo 3.2 Bir Türk inşaat fırmasının geoteknik risk değerlendirmesi **97**

Tablo 3.2 Bir Türk inşaat fırmasının geoteknik risk değerlendirmesi (devamı)... **98**

Tablo 3.2 Bir Türk inşaat fırmasının geoteknik risk değerlendirmesi (devamı).. **99**

Tablo 4.1 Teknolojik araçlar..... 108

Tablo 4.2 Anket için seçilen geoteknik riskler..... 108

Tablo 4.3 Soru 1 cevapların SPSS ile analizi..... 121

Tablo 4.4 Testlerde paydaşların numaraları..... 123

Tablo 4.5 Geoteknik Riskler için en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar 140

Tablo 4.5 Geoteknik Riskler için en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar (devamı)..... 141

Tablo 4.6 Performans kriterleri için en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar 142

Tablo 4.6 Performans kriterleri için en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar (devamı)..... 143

Tablo 4.7 Proje yaşam döngüsü için en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar 144

Tablo 4.8 İş Tecrübesine göre en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar.. 145

ÖZET

İnşaat Projelerinde Geoteknik Risklerin Yönetiminde Teknolojik Araçların Kullanımı

İdil ÇALIK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN

Eş-Danışman: Prof. Dr. Aslı Pelin GÜRGÜN

Bu tez çalışmasının temel amacı, inşaat projelerinde geoteknik risklerin saptanması, bunların teknolojik araçlar ile ne ölçüde yönetildiğinin irdelenmesi, bu risklerin iş programını nasıl ve ne kadar etkilediğinin anket çalışması ve literatür taraması ile belirlenmesidir. İnşaat yapılarının güvenliğini organize etme ve yönetme sürecinde, genellikle alınan kararların sonuçlarının insan beklentilerini karşılamadığı durumlar ortaya çıkar. Tatmin edici olmayan bir yönetim, çelişkilerle sonuçlanır. Geoteknik riskler, inşaat mühendisliğinde ortaya çıkan sorunların büyük bir kısmını oluşturur. Bu yüzden inşaat öncesi oluşabilecek muhtemel geoteknik risklerin belirlenip öngörülmesinde hangi araçların kullanılacağını bilmek önem arz etmektedir. Literatür araştırması kapsamında inşaat sektöründe geoteknik riskler ve geoteknik mühendisliğinde bu riskleri öngörmek ve engellemek amacı ile kullanılan 19 adet teknolojik araç belirlenmiş, çalışmanın temeli olacak bir anket oluşturulup uzman kişilere bu anket gönderilerek bu araçların risklerin çözümüne katkıları irdelenirken aynı zamanda proje yaşam döngüsüne ve performans kriterleri ile olan ilişkilerine değinilmiştir. Literatür incelenmesinde geoteknik risklerin

yönetilmesinin iş programına etkilerinin incelenmesi konusunda yeterli araştırma ve bu araçların şirketlerce ne kadar kullanıldığına dair yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu eksiklik, bu tezin yapım işlerindeki iş programı ve şirketlere yeni ve yararlı teknolojik araçların tanıtımı konusunda sağlayabileceği bir alan olmaktadır. İnşaat sektöründe yeni teknolojik araçların kullanımının arttığı, ancak Türkiye'de henüz yeterince tanıtılmadığı, kurum türüne göre teknolojik araçların kullanımının değişebildiği, işverenlerin diğer paydaşlara göre dijital dönüşüme daha meraklı olduğu temel bulgulardan bazılarıdır. Çalışmanın ayrıca Türkiye'deki inşaat sektöründe dijital dönüşümü ve Ar-Ge faaliyetlerini teşvik etmeye, proje yönetimini daha etkin hale getirmeye ve geoteknik risk yönetimine daha dijital bir bakış açısı kazandırmaya yardımcı olacağı, teknolojik araçların proje müdürleri de dahil olmak üzere birçok sektör uzmanına tanıtılmasıyla öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Geoteknik riskler, geoteknik mühendisliği, teknolojik araçlar, proje yönetimi, inşaat risk yönetimi

ABSTRACT

The Use of Tecnologıcal Tools in the Management of Geotechnical Risks in The Construction Projects

İdil ÇALIK

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN

Co-supervisor: Prof. Dr. Aslı Pelin GÜRGÜN

The main objective of this thesis is to identify geotechnical risks in construction projects, to examine the extent to which they are managed with technological tools, and to determine how and to what extent these risks affect the work schedule by means of a survey and literature review. In the process of organizing and managing the safety of construction structures, situations often arise where the results of decisions taken do not meet human expectations. Unsatisfactory management results in contradictions. Geotechnical risks constitute a large part of the problems arising in civil engineering. Therefore, it is important to know which tools to use in identifying and predicting possible geotechnical risks that may occur before construction. Within the scope of the literature review, geotechnical risks in the construction sector and 19 technological tools used in geotechnical engineering to predict and prevent these risks were identified, a questionnaire was created to be the basis of the study and this questionnaire was sent to experts and the contributions of these tools to the solution of risks were examined, while at the same time the project life cycle and their relationship with performance criteria were mentioned. In the literature review, there is not enough research on the effects of managing geotechnical risks on the work program and there are not enough studies

on the extent to which these tools are used by companies. This gap is an area where this thesis can contribute to the introduction of new and useful technological tools to the work program and companies in construction works. Some of the key findings are that the use of new technological tools in the construction industry is increasing but not yet sufficiently promoted in Turkey, the use of technological tools may vary according to the type of organization, and employers are more interested in digital transformation than other stakeholders. It is also envisaged that the study will help to promote digital transformation and R&D activities in the construction industry in Turkey, make project management more efficient and provide a more digital perspective on geotechnical risk management by introducing technological tools to many industry experts, including project managers.

Keywords: Geotechnical risks, geotechnical engineering, technological tools, project management, construction risk management

1
GİRİŞ

Risk, belirli bir yatırımın karlılık olasılığını değiştirecek bazı belirsiz, öngörülemeyen ve hatta istenmeyen olayların meydana gelme olasılığı olarak tanımlanmıştır [1]. Bir kararın veya bir eylemin sonucunun ne olacağının kesin olarak tahmin edilemediği durumlarda ortaya çıkar. Riskin değerlendirilmesi, olası zarar veya kayıp derecesine ve olasılığına göre belirlenir. Yüksek riskli bir durum, büyük bir kayıp olasılığı taşırken, düşük riskli bir durumda kayıp olasılığı daha düşüktür. Finansal alandaki riskler, yatırım yaparken veya işletme faaliyetlerini yönetirken karşılaşılabilecek piyasa dalgalanmaları, kredi riski, faiz oranı riski gibi faktörleri içerebilirken sağlık alanındaki riskler, hastalıkların yayılması veya kişisel sağlık durumu ile ilgili belirsizlikleri içerir. İnşaat mühendisliğine gelindiğinde ise inşaat yapılarını organize etme ve yönetme sürecinde alınan kararlar çeşitli riskler oluşturmakta ve projeyi, yöneticileri, çalışanları ve çevreyi direkt/dolaylı olarak farklı faktörler açısından olumsuz şekilde etkilemektedir. Bu riskler, proje bütçesinin aşılması, maliyet tahminlerinin yanlış yapılması gibi mali riskler olabilmekle birlikte tedarik zinciri kesintileri veya hava koşulları gibi nedenlerle projelerin tamamlanma süresini etkileyen riskler de olabilir. Hatalı mühendislik uygulamalarından, kalite kontrol eksiklikleri veya malzeme sorunları gibi teknik risklere; sözleşme ihlalleri, yasal anlaşmazlıklardan kaynaklanan finansal ve hukuki risklerden, iş gücü ve işçilik sorunları, nitelikli işgücü eksikliği gibi iş gücü risklerine ve çevresel risklere kadar uzanabilir. İnşaat projelerinin çok detaylı karmaşık yapısı ve her projenin kendine has özellikte oluşu bu risklerin oluşmasına fazlasıyla neden olmaktadır. Özellikle geniş çaplı, büyük yatırımlı yapı projelerinde çok sayıda paydaş olması risk yönetimini zorunlu hale getirir. Alınan her karar, gözden kaçırılan hesaplar ve üstlerden gelen baskılar, proje yönetimi ilkelerinin doğru bir şekilde kullanılamamasına ve dolayısıyla finansal ve teknik açıdan büyük kayıplara neden olabilir. Risk yönetimi, risklerin tanımlanması, analiz edilmesi, azaltılması veya kabul edilmesi için stratejiler geliştirmeyi içerir. Risklerin yönetilmesi, risklerin en aza indirilmesi veya kabul edilebilir düzeylere getirilmesi, kurumların, bireylerin ve toplumların sürdürülebilir bir şekilde faaliyet göstermelerine yardımcı olur. Bu yüzden risk yönetimi, inşaat projelerinin

yönetimde kritik bir rol oynar. Risk yönetiminde ilk adım ise, inşaat projelerinde öngörülebilir sorunları ortadan kaldırmak veya etkilerini azaltmaya çalışmaktır.

1.1 Literatür Özeti

Geoteknik riskler, inşaat projelerinde yeraltı koşullarının ve zemin özelliklerinin projenin başarısına olan etkilerini ifade eder. Bu riskler, zemin çökmesi, zemin stabilitesi sorunları, kaymalar, taşıma kapasitesi, yeraltı suyu seviyelerinin değişmesi, doğal afetler (heyelan, deprem) ve diğer çevresel faktörler (doğal kaynak kullanımı, su kaynaklarının etkilenmesi vb.) gibi beklenmedik olaylar çeşitli unsurlardan kaynaklanabilir. Projenin yürütülmesi sırasında bu risklerin göz ardı edilmesi veya yanlış hesaplanmasının projeye etkilerine bakıldığında geoteknik sorunlar, maliyet artışı, proje gecikmeleri, kalite problemleri ve güvenlik, İSG gibi ciddi sorunlarına yol açabilir.

İnşaat projelerinin zamanında teslim edilmesi, işveren ve yüklenici için çok önemlidir. En az problemle zamanında teslim edilen proje, maliyet kontrolü, yatırım ve müşteri memnuniyeti gibi konularda tarafları memnun eder. Tahmin edilemeyen veya tahmin edilenden daha zorlu zemin koşullarına rastlanıldığında, zemin iyileştirmesi, temel güçlendirmesi veya destek yapısı gerekebilir. Bu da ekstra bir bütçe aşımına neden olur. Hatta zemin koşullarının beklenenden daha zorlu olduğu durumlarda, tasarımın yeniden gözden geçirilmesi bile beklenebilir ve ekipman hasarı veya çevresel etkiler nedeniyle çalışmalara ara verilmesi gerekebilir. Bu sebeplerden ötürü, geoteknik risklerin mümkünse sıfır, değilse en az kayıpla yönetilmesi şarttır.

İnşaat mühendisliğinde teknolojinin kullanımı son 20 yılda büyük bir evrim geçirmiş ve sektörde önemli değişikliklere yol açmıştır. Teknoloji, projelerin daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirilmesine yardımcı olmaktadır. İnşaat 4.0[1] ve Lean[2] yaklaşımlarının gittikçe popülarite kazanması, inşaat mühendisliğinde risk yönetimini geliştirmek için teknolojik araçların kullanımını teşvik etmeye başlamıştır.

[1]İnşaat 4.0 terimi, inşaat sektöründe dijital dönüşümü ifade eder. Bu kavram, Endüstri 4.0'ın inşaat sektörüne uyarlanmış halidir.

[2]Temel amacı, israfları azaltmak ve süreçleri sürekli olarak iyileştirmek olan, sürekli olarak müşteriye değer katan süreçleri belirlemeyi ve bu süreçlerdeki israfları ortadan kaldırmayı hedefleyen bir yaklaşımdır.

Bu araçlar, veri analitiği, proje yönetimi, iletişim, güvenlik vb. alanlarda riskleri öngörüp azaltmaya yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, inşaat sektöründeki profesyonellerin bu teknolojileri benimsemesi ve entegre etmesi riskleri azaltarak projelerin başarılı bir şekilde tamamlanmasına katkıda bulunacaktır.

Literatürde teknolojik araçların proje yönetimine etkileri ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin bugün, birçok mühendislik firması ve ilgili hizmet şirketleri, dron uygulamalarını binaların, köprülerin ve diğer sivil altyapı sistemlerinin inşaatını ve işletmesini görsel olarak izlemek için kullanmaktadır. Büyük miktarda görüntü ve video koleksiyonları yakalayarak ve bu görsel veriyi 3 boyutlu modellere dönüştüren yöntemlerle inşaat sahaları denetlenir, devam eden işler izlenir, güvenlik için belgeler oluşturulur ve özellikle ulaşılması zor bölgeler için mevcut yapılar denetlenir [2]. Buradan dronların, en çok izleme ve kontrol aşaması olmakla birlikte projelerin planlama, yürütme ve kapanışına kadar birçok aşamada kullanıldığını görülmektedir. İnşaat sahalarında, işçilerin giremediği yerlere girebilen, hızlı hareket edebilen dronlar, zaman ve iş güvenliği açısından proje performans kriterlerini olumlu yönde etkilemektedir.

Jang vd., bina çevresi izleme için web tabanlı bir Kablosuz Sensör Ağı (WSN) sistemi önerdi [3]. Önerilen sistem, mühendislerin tüm bina izlemesi için WSN kullanma potansiyel bir yol sağladı. Son çalışmalar ve ticari sistemler, GPS yol noktalarını ve önceden belirlenmiş uçuş yollarını kullanarak otonom navigasyon ve veri toplama yetenekleri sunmaktadır. Bu yöntemler arazi ölçümü veya büyük alan kaplayan düşük yapılardan veri toplama için faydalıdır [2].

Türk inşaat sektöründe teknolojinin kullanımının en güzel örneklerinden biri, 18 Mart 2022'de hizmete açılan dünyanın en uzun açıklıklı (2023 m) Çanakkale Köprüsünde görülmektedir. Köprünün yapısal sağlığının kontrolü 27 farklı sensör grubundan oluşan ve bin 80 sensörden elde edilen anlık verileri işleyen Yapı Sağlığı İzleme Sistemi ile sağlanmaktadır. Merkez tarafından işlenen verilen sayesinde köprünün güncel durumu anlık olarak izlenip bakım, onarım ve planlamaları optimize edebilen tasarım araştırmaları gerçekleştirilebilmektedir [4]. Bir başka örnek ise, Sismik Avrasya Tüneli güzergâhının 17 km yakınından geçen aktivitesi yüksek 'Kuzey Anadolu Fayı'nın sismik aktivitelerinden doğacak gerilme ve yer değiştirmeleri kabul edilebilir düzeye indirmek amacıyla tasarlanan sismik bileziklerin tünelde kullanılmasıdır. Sismik bilezikler mühendislik özellikleri

laboratuvarlarda test edilerek uygunluğu ve başarısı kanıtlandıktan sonra üretilmiştir. Bilezikler, geometrik boyutları ve maruz kalacağı sismik aktivite seviyesi dikkate alındığında, TBM tünelcilik sektöründe bu özelliklere sahip 'ilk' uygulama olmuştur [5]. Türk inşaat sektörünün ayrıca BIM kullanımına da literatürde oldukça rastlanılmıştır. Lakin, görüldüğü üzere dijital dönüşüme istekli olan Türk inşaat sektörünün, ilgili mühendis ve uzmanlarla yapılan anket sonucunda, tüm yapı yaşam döngüsü kapsamında sık kullanımına bağlı olarak önem sırası yapıldığında zenginleştirilmiş gerçeklik, blok zincir ve akıllı sözleşme gibi uygulamalara çok ilgi göstermediği görülmüştür [6].

Lu vd., sektörde yenilikçi teknolojileri kullanma konusundaki isteksizliğe neden olan iki ana faktörü ortaya koymuştur: teknolojiye ilişkin bilgi eksikliği ve belirsizlik [7]. Eliwa vd., 2009 yılından 2021 yılına kadar inşaat sektöründe Bilgi ve İletişim Teknolojisinin (BİT) proje yönetiminde gündeme girmesinden büyük veri ve BIM'in yeni BİT trendlerine evrildiğini belirtmekle birlikte, ayrıca yeni teknolojilerin ve metotların sektöre entegrasyonunda boşluk olduğuna parmak bastı [8]. Ayrıca proje döngüsü içinde tasarım, üretim gibi erken proje aşamalarından kapanışına kadar BİT'in geliştirilmesi ve genişletilmesi üzerinde de çalışmalar yapılabileceğini vurguladılar. Lakin, geoteknik risk yönetiminde teknolojik araçların kullanımı ile ilgili çalışmalar bulunmasına rağmen bu araçlar ile risk yönetiminin proje performans kriterleri ve proje aşamalarına etkileri konusunda bir açıklık bulunmaktadır.

Yapılan literatür çalışmasında, inşaat sektöründe proje yönetimi genelinde ve risk yönetimi özelinde kullanılan 19 adet teknolojik araç belirlenmiştir. Bu araçlar ileriki bölümlerde daha detaylı açıklanacaktır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı geoteknik risk yönetiminin teknolojik araç kullanımı kapsamında ele alınıp bu araçların proje performans kriterlerine ve proje yaşam döngüsü aşamalarına ne derecede katkı sağladığının araştırılmasıdır. Teknolojik araçların belirlenecek geoteknik risklerin öngörülmesi, engellenmesi ya da etkilerinin azaltılması açısından ne derece etkili olabileceği incelenecek, sonraki aşamalarda ise araçların geoteknik risk yönetimi kapsamında projenin kalite, maliyet, iletişim, iş sağlığı ve sözleşme yönetimi gibi performans kriterlerine ve

proje yaşam döngüsü aşamalarına ne ölçekte etki ettiği de incelenecektir. Ayrıca, katılımcıların bu araçları kullanıp kullanmama yüzdeleri de anket sonrasında hesaplanmış olacaktır.

Bu bağlamda, bu tezin temel amaçları şunlardır:

- İnşaat projelerinde en çok karşılaşılan geoteknik risklerin saptanması
- Geoteknik risk yönetiminde kullanılan teknolojik araçların literatür taraması ve uzman kişiler yardımıyla belirlenmesi
- Teknolojik araçların geoteknik problemlerin çözülmesine/öngörülmesine ne derece katkı sağladığı & sağlayabileceği
- Teknolojik araçların geoteknik risk yönetimi kapsamında proje performans kriterleri ve proje aşamalarında ne derecede etkili olduğunun araştırılması
- Türkiye'deki inşaat firmalarının geoteknik risk yönetiminde teknolojik araçları ve derecede kullandıklarının sorgulanması
- Paydaşlar arasında teknolojik araç kullanımında farklılık olup olmadığı
- İş tecrübesi ile teknolojik araç kullanımında farklılık olup olmadığı

1.3 Hipotez (veya Orijinal Katkı)

Bu çalışmanın temel hipotezi, "inşaat sektörüne entegre edilen & edilmeye çalışılan teknolojik araçların, geoteknik risk yönetimi, proje aşamaları ve proje performans kriterleri üzerinde belirgin bir etkisinin olduğunu ya da olabileceğini" öne sürmektedir. Mevcut literatürde, inşaat sektöründe teknolojik gelişmelerin yaygın olduğu ve inşaat projelerinin farklı yönlerini etkilediği belirtilse de bu araçların özellikle geoteknik risk yönetimi açısından ne kadar etkili olduğu hala belirsizdir.

Bu hipotez, insansız hava araçları, yapay zekâ, nesnelerin interneti, artırılmış ve sanal karma gerçeklik gibi teknolojik araçların, özellikle geoteknik risklerle ilgili sorunların aşılmasında inşaat aşamaları ve proje performans kriterleri açısından önemli bir role sahip olabileceği düşüncesine dayanmaktadır. Ayrıca, bu hipotez, bu teknolojik araçların inşaat sektöründe daha yaygın bir şekilde kullanılması gerektiği ve bu kullanımın proje yönetimi ve geoteknik risk yönetimi açısından olumlu sonuçlar doğurabileceği konusunda bir vizyon sunmaktadır.

Bu çalışma, inşaat sektöründe faaliyet gösteren ve çoğunluğun geoteknik mühendisi olduğu katılımcılara yapılan bir anketle, teknolojik araçların ne kadar bilindiği ve

kullanıldığı konusunda bir farkındalık yaratırken bu araçların geoteknik risk yönetiminde hangi alanlarda kullanılabileceğine anlayış geliştirerek ilk paragrafta belirtilen hipotezi test etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, teknolojik araçları katılımcılara tanıtmakla birlikte sektörde bu araçların kullanımı konusunda inşaat yönetimi ve geoteknik risk yönetimi açısından bir vizyon oluşturulmasına katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

2
LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Süregelen İnşaat Projelerinde Günümüz Problemleri ve Teknoloji

Günümüzde çoğu sektör farklı problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu problemler sektörden sektöre farklılık gösterse de bazı ortak problemler de bulunmaktadır. Bunlardan bazıları hızlı teknolojik ilerlemeye ayak uydurmakta zorlanmak ya da geç kalmak; küreselleşme ve serbest ticaretin rekabeti arttırması, iklim değişikliği ve çevresel vb. meselelerden kaynaklı yasal düzenlemelere uyum gereksinimleri; nitelikli işgücüne erişim ve çalışanların motivasyonu için doğru insan kaynağı yönetiminde sorun; veri ihlalleri ve siber saldırılardan kaynaklı dijital güvenlik problemleri vb. şekilde sıralanabilir.

Uzun yıllardır, inşaat sektöründe, artan proje karmaşıklığı ve parçalanmış projeler ortamı gibi nedenlerle üretkenlik sorunları yaşanmıştır. Bu yüzden inşaat projeleri ve yönetimi, genellikle bir dizi karmaşık zorlukla karşı karşıya kalır. Bu zorluklar arasında yukarıda sıralanan sorunlara ek olarak ayrıca, bütçe aşımı, süreçlerin aksaması, tasarım değişiklikleri, malzeme ve işçilik sorunları ve kaynak tahsisi problemleri de yer alır. Ayrıca proje boyutlarına göre projeyi farklı derecelerde etkileyebilecek ekonomik dalgalanmalar, politika değişiklikleri ve toplumsal talepler gibi iç-dış etkenler de boy gösterebilir. Üstelik, birçok gözlemci, proje onayını sağlamak amacıyla proje iş kalemlerinin ve hesaplanan tahminlerin kasten bile yanlış gösterilebildiğini öne sürmüştür [9]. Bu örneklerden de çıkarılacağı üzere, projeler inşaatın başlangıç ve planlanma aşamasından teslim ve kapanış aşamalarına kadar çok fazla tehditle yüzleşmektedir. 2020 yılında Proverbs vd.'nin yaptığı detaylı bir literatür incelemesinden sonra, Birleşik Krallık'ın inşaat sektöründe karşılaşılan on sekiz yaygın sorun belirlenmiş, bu sorunların ciddiyetlerinin yapım & inşaat firmalarının tecrübeli yöneticileri tarafından bir anket çalışması yoluyla değerlendirmeleri istenmiştir [10].

Katılımcılardan önemine ve ciddiyetine göre problemleri 1'den (çok düşük) 5'e kadar (aşırı yüksek) şiddet düzeylerinde bir Likert Ölçeği[3] ile değerlendirmeleri istenmiştir. İnşaat şirketleri direktörlerinin bu problemlerle ilgili anketlerde verdikleri cevaplardan problemlerin ortalama önemlilik derecesi hesaplanmış ve Tablo 2.1.'de sıralanmıştır. Anket katılımcılarının cevaplarına göre kötü imaj / itibar ve İngilizce'de "cowboy builders" olarak geçen düşük standartta iş yapan, uygun eğitime veya resmi niteliklere sahip olmayan inşaat işçileri [11] en büyük problemler olarak değerlendirilirken, işgücü devamsızlığı ve aşırı kapasite, düşük üretim ve tesislerin tam olarak kullanılmamasına bağlı düşük ekipman / tesis kullanımı en düşük derecede önem içeren problemler olarak derecelendirilmiştir.

Tablo 2.1 İnşaat Sektörü Sorunlarının Şiddeti [10]

Sıra	Problem	$\bar{x}$	σ
1	Kötü imaj / itibar	3,88	0,83
2	Sömürücüler (cowboy builders)	3,73	1,15
3	İnşaat aşamasında tasarımdaki değişiklikler	3,39	0,93
4	Geciken ödeme	3,35	1,3
5	Zaman kısıtlamaları ve/veya hızlandırılmış tamamlama	3,27	0,91
6	Rekabetçi ihale prosedürleri	3,22	1,03
7	Maliyet aşımları	3,16	0,94
8	Parçalanma	3,02	0,92
9	Geç tamamlama	2,98	1,05
10	İsraf	2,94	1,09
11	Geleneksel tedarik yoluna güven	2,69	1,06
12	Düşük üretkenlik	2,69	0,98
13	Aşırı spesifikasyon (yani aşırı tasarımlama)	2,65	1,07
14	Deneyimsiz yönetim ve denetim	2,59	0,84
15	Kötü kalite / işçilik	2,57	0,76
16	Aşırı fazla mesai	2,08	0,95
17	İşgücü devamsızlığı	2,08	0,84
18	Düşük ekipman / tesis kullanımı	2,06	0,72

Karmaşık tasarım ve üretim aşamalarının koordinasyonlu yürütüldüğü yapım aktiviteleri, kontrol edilemeyen iç ve dış etkenlere bağlı olarak; kalite, maliyet ve zaman çerçevesinde birçok aktiviteden oluşur. Bu da birtakım belirsizlikler ve problemler oluşturur. Bu sorunlar yanında karar vermesi gereken kişilerin doğru bir risk yönetimi yapması gerekliliğini doğurur. Olcay vd., 2018 yılı çalışmasında yaptığı literatür araştırmasında, inşaat sektörünün karşılaştığı risk, belirsiz ve problemleri:

[3]Likert ölçeği, genellikle anketlerde kullanılan ve katılımcıların fikirlerini, tutumlarını veya duygularını belirtmeleri için kullanılan bir ölçme aracıdır, önceden belirlenmiş bir dizi ifade veya ifade grubu içerir ve katılımcıların bu ifadeleri kendi görüşleriyle ilişkilendirmeleri istenir.

1) Proje-tasarım aşamasındaki riskler
2) İnşaat aşaması - organizasyon riskler
3) Dış – çevresel riskler
4) Doğal afet/eylem/kaza riskleri

olarak 4 kategoride incelemiş, 163 Türk mühendisin katılımından oluşan anket ile bu risklerin meydana gelme ihtimallerini yine Likert Ölçeği ağırlık ortalamasına göre hesaplamışlardır [12]. Anket sonuçlarına göre tasarım sürecinin proje paydaşlarıyla (mimar, mühendis, tedarikçi ve müşteriler vb.) beraber gerçekleştirilmemesi sonucu yaşanabilecek tasarım / hesap hataları ve eksiklikleri yanında proje paydaşlarının geç değişiklik talepleri gibi problemlerden kaynaklanabilecek "proje-tasarım aşamasındaki riskler" Tablo 2.2' de görüldüğü üzere, ilk sırada yer almıştır. Bununla ilişkilendirilebilecek inşaat projelerinin teslim & devredilme şekli ve kontratlarının da beraberinde bir sürü riski getirdiği ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Örnek olarak, büyük inşaat projelerinde Tasarla-İnşa et proje teslim yöntemi kullanıldığında, geoteknik risklerin araştırılması için mevcut süre sınırlıdır ve kapsamlı geoteknik çalışmalar ihale sonrası zaman dilimine havale edilmektedir [13]. Bu da müteahhittin proje başladıktan sonra karşılaştığı geoteknik sorunlarla başa çıkma zorunluluğunu doğurabilir. Bu durum, projenin maliyetini etkileyebilir ve zaman çizelgesini olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca bu risklerin anlaşılmaması veya doğru bir şekilde değerlendirilememesi, müteahhit ile proje sahibi arasında anlaşmazlıklara neden olabilir. Müteahhit, beklenmeyen zemin koşullarıyla başa çıkmak için değişiklik talepleri sunabilir, bu da maliyet artışlarına ve proje süresinde gecikmelere yol açabilir. Başka bir çalışma [14], iki grup proje teslim yöntemi olan Entegre Proje Teslimi (EPT) ve Risk Altında İnşaat Müdürü (RAİM) ile birlikte takım entegrasyonu ile proje sonuçları arasındaki bağlantıları, birçok projeden toplanan nicel ve nitel verileri kullanarak inceledi. Veri analizi sonuçları, daha yüksek takım entegrasyonuna sahip bir proje teslim yönteminin daha memnun sahiplere sahip olduğunu ima etti. Bulgular, takım entegrasyon seviyelerinin proje teslim yöntemine göre farklılık gösterdiğini, EPT'nin RAİM 'ye göre daha yüksek takım entegrasyonu gösterdiğini ve entegrasyon derecelerinin sahiplerin memnuniyeti ile yüksek derecede korele olduğunu gösterdi. Sonuç olarak, EPT'yi benimseyen projelerin, RAİM 'ye göre daha fazla müşterinin memnun olduğu bulundu. Özellikle, BIM'in EPT projelerinde

RAİM projelerine göre daha etkin bir şekilde uygulandığı ve bu durumun iki teslim yöntemi arasındaki takım entegrasyon seviyesinde büyük bir farka neden olduğu da bulundu.

Zemin koşullarında değişiklik, kötü hava şartları, terorizm gibi "doğal afetler ya da ülkesel problemlerin doğurduğu riskler" ise en alt kategoride yer almıştır. Ödemelerde ve hakedişlerde gecikmelerin yaşanması, ülke ekonomisinde yaşanan enflasyonun, ya da gelişmelerin fiyatlara yansımasından oluşacak "dış-çevresel riskler" ve işin beklenen bütçe sınırları dâhilinde tamamlanamaması, yapım sürecinde iş programına ayak uyduramama gibi problemlerinden kaynaklanan "inşaat aşaması - organizasyon riskleri" orta seviye ihtimalle meydana gelen & gelebilecek riskler olarak sıralanmışlardır.

Tablo 2.2 Türkiye inşaat işlerinde süreç boyunca karşılaşılan firma risklerinin meydana gelme ihtimali [12]

Risk Anketi Boyutları	Likert Ölçeği Ağr. Ort.
Proje-tasarım aşamasındaki riskler	3,19
İnşaat aşaması- organizasyon riskleri	3,16
Dış - çevresel riskler	2,99
Doğal afet/eylem/kaza riskleri	2,09

Dünyanın dört bir yanındaki ülkelerde kilit bir sektör olması inşaat sektörünü diğer sektörlerinde yaptığı gibi yaklaşımları geliştirmek için mücadele etmeye sürüklemiştir. Lakin sonuçların istenilen verimde olup olmadığı halen literatürde güncel olarak araştırılan bir konu olmaktadır. Barbosa ve arkadaşlarına göre perakendeden imalata diğer sektörler verimliliklerini değiştirip ve üretkenliklerini arttırıp dijital çağı benimsemiş olsalar da inşaat sektörü bir zaman kapsülünde sıkışmış gibi bu alanda ilerleme kaydedememiş ve çağa ayak uydurma konusunda bu sektörlerin gerisinde kalmıştır [15]. Schlachter ve arkadaşlarına göre ise endüstri, diğer sektörlerin teknolojik gelişmelerine ayak uydurma konusunda geride kalmış ve bu alandaki yetersiz yatırımlardan kaynaklanan sorunlarla karşı karşıya gelmiştir [16]. Küresel ölçekte inşaat sektörünün teknoloji adaptasyon düzeyi ile gerçekleştirilen araştırmalar 2021 yılı itibariyle inşaat teknolojisinin entegrasyonunun inşaat firmaları bünyesinde kısmen gerçekleşebildiği ve inşaat firmalarının teknoloji kullanımındaki uyum eksikliklerine bağlı olarak adaptasyon düzeyinin çok düşük olduğunu göstermektedir [17].

Dijital dönüşüm, inşaat sektörünün karşılaştığı birçok problemin çözümünde önemli bir rol oynayabilir. Örneğin, proje yönetimi yazılımları, projelerin daha etkili bir şekilde yönetilmesine yardımcı olabilir ve gecikmeleri en aza indirebilir. BIM gibi dijital araçlar, tasarım ve yapım süreçlerini iyileştirebilir ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayabilir. Dijital teknolojiler, inşaat projelerinin çevresel etkilerini izlemek ve azaltmak için de kullanılabilir. Bu nedenle, inşaat sektörünün dijital dönüşümü, maliyetlerin düşürülmesi, verimliliğin artırılması ve sürdürülebilirlik hedeflerinin karşılanmasında ve daha birçok inşaat kaleminde büyük bir potansiyele sahiptir.

Dijital dönüşüm konusunda geride kalmak, proje yönetimi genelinde şirketlerde maliyet, zaman, kaynak ve benzeri konularda sıkıntı çıkarırken, proje yönetimi özelinde en önemli konumlardan birine sahip risklerin yönetilmesine bütüncül, stratejik ve küçük gibi gözüken ama aslında büyük kayıplara neden olabilecek detayların da göz ardı edilmesine yol açmaktadır. Changali ve arkadaşlarına göre, büyük inşaat projelerinin %98''i maliyet aşımlarıyla karşı karşıya kalmakta, bu da ortalama %80'lik bir maliyet artışına ve ortalama 20 aylık gecikmelere neden olmaktadır [18]. Agenda'ya göre ise son yıllarda üretkenliğin muazzam bir şekilde arttığı imalat sanayi ile karşılaştırıldığında, inşaat sektöründeki verimlilik oranı neredeyse hiç değişmemiştir [19]. Bu karmaşıklıkların üstesinden gelmek için etkili proje yönetimi ve planlama, bütçe kontrolü, efektif paydaş iletişimi, kalite kontrolü, süreç iyileştirmeleri ve risk yönetimi gibi konulara odaklanılıp projenin sorunları minimize edilebilir. Öte yandan, sektördeki artan rekabet, sürdürülebilirlik gereksinimlerinin yükselmesi ve inşaat projelerinin karmaşıklığının artması, Ar-Ge faaliyetleri ve teknolojik inovasyonu sektörün daha fazla benimsemesi gerekliliğini zorunlu kılmaktadır. Yine de teknolojinin sürekli ilerlemesi ile BIM, Akıllı İnşaat Araçları, 3D yazıcılar, yeşil teknolojiler, veri analitiği gibi yeni teknolojik araçlar ve yöntemler, eski inşaat geleneklerine meydan okumaya ve sektörde bu konudaki açığı kapatmak için mühendislik uygulamalarını iyileştirmeye yönelik yeni teknikler geliştirmeye başladı. Bu yeni teknikler ve araçlar, inşaat sektörünün verimliliğini artırabilir, maliyetleri azaltabilir, projelerin zamanında teslimini sağlayabilir ve çevresel sürdürülebilirliği artırabilir. Bu yenilikleri dahil ederek, firmalar, üretkenlik düzeyini, iş güvenliğini ve kalitesini artırabilir ve proje yönetimini sorunlarını iyileştirebilirler. Teknolojik dönüşümün

uygulanması ve uygun altyapının oluşturulması, kapsamlı bir strateji ve yatırım gerektirir. Doğru strateji ise çeşitli toplantılar & operasyonlar, adaptasyon eğitimleri, iş birlikçi çalışmalar sonucunda gerekli düzenlenmelerin yapılması ile doğar, inşaat şirketlerine rekabet avantajı sağlar ve sektördeki hızla değişen dinamiklere uyum sağlanmasını mümkün kılar. Doğru stratejinin seçimine karar verirken şirketler, daha önceki projelerini referans alarak, teknolojiyi nasıl kullandıklarını ve bununla ne gibi faydalar elde ettiklerini inceleyebilir, proje portföylerini inceleyebilir, teknolojinin uygulanmasındaki deneyim ve başarılarını görebilirler. Burada bu teknolojinin en son çıkan ya da üst seviye donanıma sahip bir araç olmasına gerek yoktur. Basit bir modelleme yazılımı ya da şirketin izlediği bir optimizasyon yöntemi bu konu için değerlendirilebilir. Firmalar, çalışanlarına sundukları çeşitli eğitimlerle yenilikçi bir kültür aşılayabilir, çalışanlar arasındaki fikir alışverişini teşvik ederek doğru bir strateji doğurabilir. Şirketin farklı birimleri arasındaki iş birliğini ve iletişimi gözlemlemeleri, örneğin Proje Yönetim Ofisi ve IT departmanlarının iletişimlerinin güçlendirilmesi, doğru bir stratejik yatırımın doğmasına ön ayak olacaktır. Ayrıca, sadece inşaat sektörü bazlı düşünmeyen ve diğer sektörlerdeki teknolojik adaptasyonu ve gelişmeleri takip eden bir inşaat firması, kendine yeni vizyonlar katıp sektördeki rekabet avantajını da artırabilir. Bir başka öneri de müşteri geri bildirimleri ile doğru stratejik adımların izlenmesidir. Müşterilerin şirketin inovasyon stratejisi hakkındaki geri bildirimlerini değerlendirilmesi, müşteri memnuniyeti, şirketin teknolojik çözümleri nasıl başarılı bir şekilde uyguladığını gösterecektir. Maskuriy vd'nin 2019'da yaptığı literatür çalışması metodu izlenerek, çalışmalarda en yaygın kullanılan anahtar kelimeler analiz edilmiştir [20]. Şekil 2.1, Scopus'da[4] "Endüstri 4.0" VEYA "Endüstriyel devrim 4.0" VE "İnşaat" VEYA "Bina" ile ilgili en çok birlikte ortaya çıkan anahtar kelime aramasını göstermektedir; anahtar kelimelerin minimum oluşum sayısı en az altı kezdir. 654 yayın, 1904 anahtar kelimeden 53'ü eşiğe ulaşmıştır. 53 anahtar kelimenin de her biri için, diğer anahtar kelimelerle birlikte ortaya çıkan bağlantıların toplam gücü oluşturulmuştur. Yalnızca en güçlü 30 anahtar kelime seçildi. Çalışmada izlenen veri çıkarma ve çalışma kalitesi değerlendirilmesi Maskuriy vd.'nin belirttiği kriterler dikkate alınarak tekrarlanmıştır [20].

[4]Scopus, hakem incelemesinden geçmiş literatür ve web kaynaklarını içeren bir özet ve alıntı veri tabanıdır. Araştırmaları takip etmek, analiz etmek ve görselleştirmek için kullanılan araçlar sunmaktadır. Scopus, dünya genelinden çeşitli alanlarda hakem değerlendirmesine tabi tutulan içeriklere geniş bir erişim sağlamaktadır.

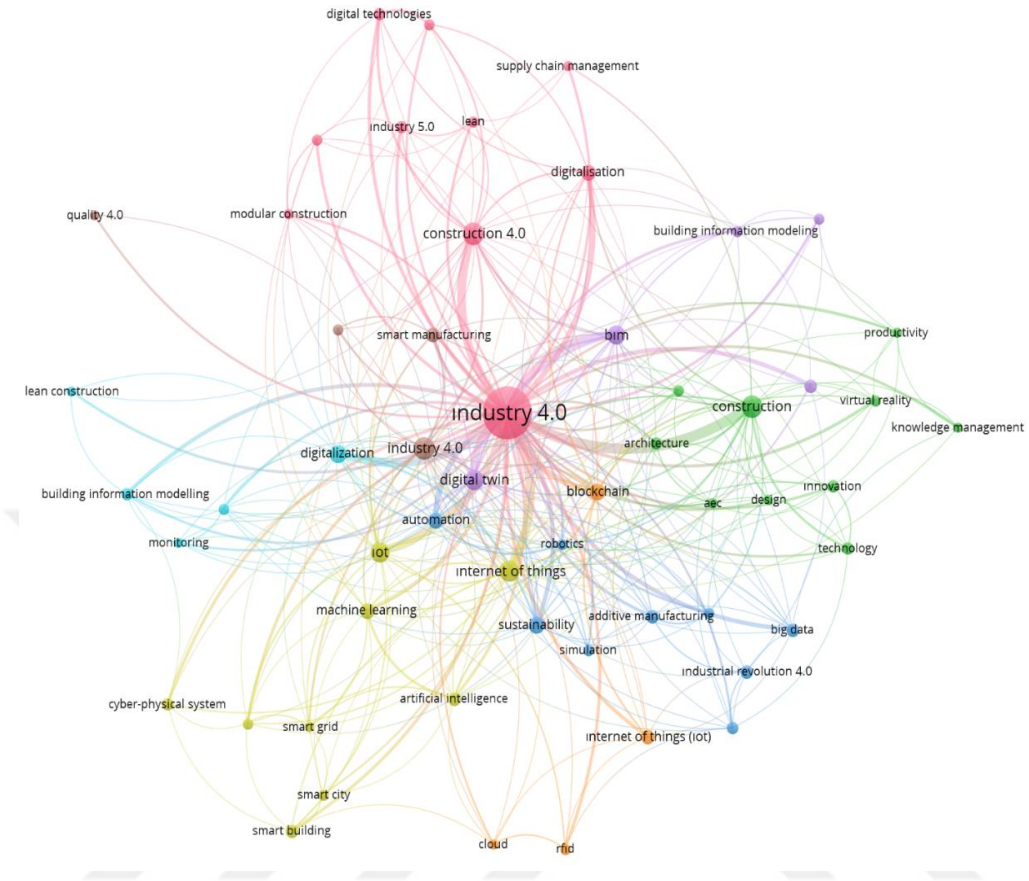
Sonuç bibliyometrik ağlar oluşturmak ve görselleştirmek için kullanılan bir yazılım aracı olan VOSViewer yazılımı ile görsele dökülmüştür. Endüstri / İnşaat 4.0 kapsamında dijital ikizler, simülasyon, nesnelerin interneti, bulut bilişim, BIM, akıllı üretim gibi teknolojik araçlar çalışmalarda sıklıkla gündeme gelmeye başlamıştır.

Literatürde 2015-2019 zaman aralığına bakıldığında, akıllı şehir, lean, akıllı bina, dijital ikizler, blok zincir yanında ayrıca makine öğrenmesi gibi yapay zekâ odaklı teknolojik araçlar ve terimlerin daha fazla bahsedildiği görülmüştür. BIM ise her zaman gündemde kalmıştır [20].

Olcay ve arkadaşları çalışmalarında çeşitli sebepten kaynaklanan eski / ileri teknoloji veya niteliksiz malzeme kullanımı sonucunda yaşanabilecek süre ve maliyet aşımlarının bir risk olduğunu belirtmiştir [12]. Ayrıca, dijital dönüşümde geri kalmanın dezavantajlarının olduğu bilindiği gibi gereksiz veya uygunsuz bir şekilde ileri seviye teknoloji kullanımı da yüksek başlangıç maliyetleri ve bakım giderleri ile sonuçlanabilir, bu da projenin toplam maliyetini artırabilir. Gelişmiş teknoloji kullanımı, süreçlerin karmaşıklığını da artırabilir. Bu durum, proje yönetimini zorlaştırabilir. Aynı zamanda, gelişmiş teknoloji kullanımı, enerji tüketimi ve doğal kaynak kullanımı gibi günümüzde oldukça popüler olan sürdürülebilirlik endişelerini de tetikleyebilir. Sonuç olarak, dijital dönüşüm inşaat sektörü için oldukça kritik bir konu olsa da her inşaat projesi, spesifik ihtiyaçlarına ve koşullarına göre değerlendirilmeli ve en uygun teknolojik çözümler seçilmelidir.

Bazı durumlarda, dijital dönüşüm istenilenin tam aksine, projedeki riskleri ve başarı kriterlerini daha çok arttırabilir, anlaşmazlıklara neden olabilir. İleri teknolojinin inşaat projelerine sağlayabileceği önemli avantajlar ancak doğru bir şekilde uygulandığında ortaya çıkabilir.

Her yapım projesi kendine özgüdür ve coğrafi konumu, büyüklüğü, karmaşıklığı, paydaş sayısı ve bu paydaşlar arası ilişkiler gibi faktörler göz önüne alındığında, teknoloji uygulamalarının planlanması ve değerlendirilmesi büyük bir özen gerektirir. Bu nedenle, ilk başta teknoloji kullanımına kesin karar verildikten sonra, inşaat projesi için özel olarak tasarlanmış bir teknoloji stratejisinin belirlenmesi, projenin özel ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılamak ve hedeflerine ulaşmak için kritik bir adımdır.



Şekil 2.1 654 Yayın için Scopus'ta "Endüstri 4.0" YA DA "Endüstriyel Evrim 4.0" VE BAŞLIK "inşaat" YA DA "bina" araştırma dizisi ile en sık ortaya çıkan anahtar kelime araması

İleri teknolojinin inşaat projelerine sağlayabileceği önemli avantajlar, doğru bir şekilde uygulandığında ortaya çıkmaktadır. Ancak, her proje kendine özgüdür ve coğrafi konumu, büyüklüğü, karmaşıklığı ve paydaşlar arası ilişkileri gibi faktörler göz önüne alındığında, teknoloji uygulamalarının planlanması ve değerlendirilmesi büyük bir özen gerektirir. Bu nedenle, her inşaat projesi için özel olarak tasarlanmış bir teknoloji stratejisinin belirlenmesi, projenin özel ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılamak ve hedeflerine ulaşmak için kritik bir adımdır.

2.2 Risk Yönetimi

Her tür ve büyüklükteki kuruluş, hedeflerine ulaşmayı etkileyebilecek bir dizi riskle karşı karşıyadır. Bu hedefler, organizasyonun stratejik girişimlerinden operasyonlarına, süreçlerine ve projelerine kadar bir dizi faaliyetiyle ilgili olabilir

ve toplumsal, çevresel, teknolojik, emniyet ve güvenlik sonuçları, ticari, finansal ve ekonomik önlemlerin yanı sıra sosyal, kültürel, politik ve itibar etkileri açısından da etkilenebilir.

Risk yönetimi süreci, belirsizliği ve gelecekteki olay veya koşulların (kasıtlı veya kasıtsız) olasılığını ve bunların üzerinde anlaşılan hedefler üzerindeki etkilerini dikkate alarak karar vermeye yardımcı olur. Bu süreç; iletişim kurma ve danışma, riskin herhangi bir faaliyet, süreç, fonksiyon veya ürünle ilişkilendirilmesi (risklerin tanımlanması), analiz edilmesi, değerlendirilmesi için bağlamın oluşturulması, devamında izlenmesi ve gözden geçirilmesi, sonuçları uygun bir şekilde raporlama ve kaydetmeyi içerir.

Risk değerlendirmesi, hedeflerin nasıl etkilenebileceğini belirleyen ve riskin sonuçlarını ve olasılıklarını analiz eden yapılandırılmış bir süreç sunar ve daha fazla tedbir gerekip gerekmediğine karar vermeden önce riski inceler. Etkili risk azaltma, risk faktörlerinin tespit edildiği ve tehlikelerin/sonuçların (maruziyet ve savunmasızlık) azaltılması için uygun tedbirlerin alındığı bir süreci gerektirir [21].

Risk değerlendirmesi, aşağıdaki temel soruları yanıtlamaya çalışır:

- Ne olabilir ve neden olabilir? (Riski tanımlama yoluyla)
- Sonuçlar nelerdir?
- Gelecekte meydana gelme olasılıkları nedir?
- Riskin sonucunu hafifleten veya risk olasılığını azaltan faktörler var mı? Varsa bunlar nelerdir?
- Risk seviyesi tolere edilebilir veya kabul edilebilir mi ya da daha fazla tedavi gerektiriyor mu?

Bu değerlendirme genel bir nitelik taşır, böylece birçok endüstri ve sistem türüne rehberlik edebilir. Bu endüstriler içinde, belirli uygulamalar için tercih edilen metodolojileri ve değerlendirme seviyelerini belirleyen daha özgün standartlar bulunabilir.

Farkı sektörlerin riskleri incelendiğinde örneğin finans sektörü kredi riski, piyasa riski, likidite riski gibi risklerle karşı karşıya iken sağlık sektöründe hastane yönetimi, epidemiyoloji ve hasta güvenliği riskleri öne çıkar. Teknoloji sektöründe bilgi güvenliği ve patent hakları gibi özel riskler, üretim sektöründe ise tedarik zinciri, operasyonel verimlilik ve kalite kontrol risklerinin yanında çevresel

sürdürülebilirlik ve enerji maliyetleri riskleri göz önünde bulundurulmalıdır. Her ne kadar sektörler, özelinde farklı iş kalemleriyle uğraşıyor gibi gözükseler de temelinde uğraştıkları risk kategorileri çok da farklı değildir. Cheung ve Chan çalışmalarında Çin'deki kamu-özel iş birliği projelerinin risk faktörlerini karşılaştırmışlardır [22]. Karşılaştırma su, enerji ve ulaştırma sektörleri arasında yapılmıştır. Karşılaşılan risklerde üç sektörün de uzmanlarına yapılan bir anket sonucunda devlet müdahalesi, operasyon maliyet aşımı, yetersiz proje finansmanı denetiminden kaynaklanan risklerin benzer ciddiyette derecelendirildiği ortaya çıkmıştır. Yine Da Silva vd, çalışmalarında, çoğu sektörün tedarik zinciri riskleriyle karşılaştığını belirtmişlerdir [23]. Araz vd., doğal dış etkenler ve insan yapımı risklerin çoğu sektörü yine etkilediğini vurgulamışlardır [24].

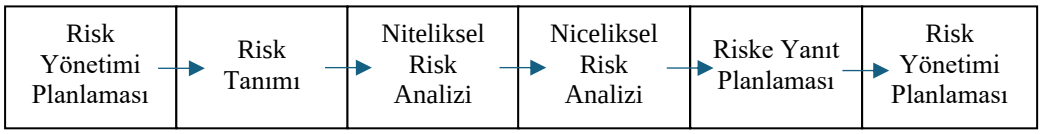
İnşaat sektörüne gelindiğinde inşaat projeleri, karmaşıklık düzeyi öteki endüstrilerle kıyaslandığında daha yüksek olan ve birçok paydaşın içinde bulunduğu projeler olarak tanımlanabilir. Çeşitli inşaat projeleri, konut ve ticari binalardan endüstriyel ve altyapı projelerine, enerji ve ulaşım projelerine kadar geniş bir yelpazede yer alır. Bu projeler sosyal tesisler, zemin iyileştirme projeleri, yeşil bina inşaatları, askeri tesisler, restorasyon projeleri ve telekomünikasyon altyapısı projeleri gibi özel alanlara kadar uzanabilir. Her bir proje türü, benzersiz uzmanlık ve gereksinimlere sahiptir, bu da inşaat sektörünün çeşitliliğini ve karmaşıklığını yansıtmaktadır. Bu nedenle projelerin başarıyla tamamlanabilmesi için risk yönetimi büyük bir öneme sahiptir. Risk yönetimi, inşaat sektöründe de yapılan uygulamanın başarısını sağlamak amacıyla projede meydana gelebilecek olası tehlikeleri tanımlama, değerlendirme, kontrol etme ve minimize etme sürecini içerir. Bu süreç, proje sürecinin her aşamasında dikkate alınmalı ve projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için temel bir unsura dönüşmelidir. Burada temel amaç, beklenmedik olayların projenin bütçesi, süresi ve kalitesi üzerinde olumsuz etkilere yol açmasını önlemektir. Yapım projeleri genellikle finansal kaynakların sınırlı olduğu karmaşık organizasyonlardır ve bu nedenle risklerin yönetimi, projenin maliyetlerinin kontrol edilmesinde kritik bir rol oynar. Ayrıca risk yönetimi, proje ekibinin beklenmeyen sorunlarla hızlı ve etkili bir şekilde başa çıkmasını sağlar, bu da projenin başarısını artırır. Uluslararası proje yönetimi kuruluşları, risk yönetimini projelerin başarısının temel bir bileşeni olarak kabul etmektedir. Örneğin, Proje Yönetim Enstitüsü (Project Management Institute (PMI)), risk

yönetiminin proje yönetimi sürecinden ayrılmaz bir parça olduğunu ve projelerin başarısını artırmada önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır [25]. Bu nedenle, inşaat projelerinde risk yönetimine odaklanmak, projenin etkili bir şekilde planlanması, yürütülmesi ve tamamlanmasını sağlamak için kritik bir gerekliliktir.

İnşaat mühendisliğinde risk yönetimi için çeşitli standartlar ve yönergeler kullanılmaktadır. Bu standartlardan bazıları çeşitli internet kaynaklarından, çevrimiçi kütüphanelerden ve makalelerden derlenmiştir:

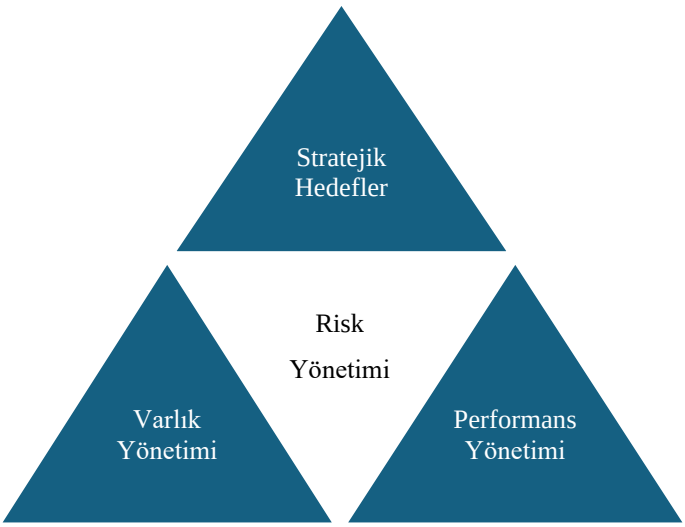
- ISO 31000 Risk Yönetimi: ISO 31000'e göre riskin yönetilmesine yönelik ilkeler, bir çerçeve ve bir süreç sağlar. Riskin büyüklüğü, faaliyet alanı ve sektörü ne olursa olsun ISO 31000 her kuruluş tarafından kullanılabilir. ISO 31000'i kullanmak, kuruluşların hedeflere ulaşma olasılığını artırmasına, fırsatların ve tehditlerin tanımlanmasını iyileştirmesine ve risk tedavisi için kaynakları etkili bir şekilde tahsis etmesine ve kullanmasına yardımcı olabilir [26]. ISO 31000:2009 Risk Yönetimi İlkeleri ve Yönergeleri, riski belirsizliklerin hedeflere ulaşma üzerindeki etkisi açısından tanımlar. Ayrıca riskin yalnızca olumsuz etkileri değil, olumlu etkileri veya hedeflere ulaşma fırsatlarını da ele almaya başlamıştır [27].
- PMI Proje Yönetimi Bilgi Birimi Kılavuzu (PMBOK) Rehberi: Bu rehbere göre herhangi bir risk yönetimi sürecini uygulamanın ilk adımı riskin ne olduğunu anlamaktır. PMBOK, 2000 Sürümü, riski, gerçekleşmesi durumunda proje hedefi üzerinde olumlu veya olumsuz bir etkiye sahip olan belirsiz bir olay veya koşul olarak tanımlar. Dolayısıyla risk, halihazırda bir projenin başına gelmiş bir olay veya olay değildir, gerçekleşebilecek bir olaydır. İkincisi, bir riskin olumlu ya da olumsuz etkisi olabilir. Birçoğu yalnızca olumsuz etkisi olacak risklere odaklanma eğilimindedir. Bilge bir program yöneticisi olumlu ve olumsuz şeyleri tanımlamaya çalışır.

  PMBOK Kılavuzu, risk yönetimi sürecini "proje risklerinin tanımlanması, analiz edilmesi ve bunlara yanıt verilmesinin sistematik süreci" olarak tanımlamaktadır. Risk yönetimi sürecine ilişkin model Şekil 2.2'de gösterilmektedir [28].



Şekil 2.2 The PMBOK® Rehberi Risk Yönetimi Süreci [28]

- ASTM Standartları: ASTM International, gönüllü fikir birliği standartlarının geliştirilmesi ve sunulmasında dünya çapında tanınan bir liderdir. Bugün ürün kalitesini iyileştirmek, sağlık ve güvenliği geliştirmek, pazar erişimini ve ticareti güçlendirmek ve tüketici güvenini oluşturmak için dünya çapında 12.000'den fazla ASTM standardı kullanılmaktadır [29]. ASTM'nin çevresel değerlendirme ve risk yönetimi standartları, belirli ürünlerin ve projelerin doğal çevre üzerinde olası biyofiziksel, sosyal ve diğer ilgili etkilerini tanımlamak ve öngörmek için uygun prosedürleri sağlar. Aynı zamanda bu standartlar, belirli ürünlerin ve projelerin doğal çevre üzerindeki etkilerinin yanı sıra, bu ürünleri kullanan kişilerin sağlık ve güvenliği üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla da kullanılır. Bu çevresel değerlendirme ve risk yönetimi standartları, çevre bilimcileri ve mühendisler, etki değerlendirme kurumları ve gayrimenkul firmaları için uygun çevresel etki tasarımlarını uygulayarak ilgili kontaminasyon risklerinin genel olarak önlenmesini sağlamak adına değerlidir [30]. ASTM Kılavuzları, endüstrilere terminolojik terimleri açıklamadan kimyasal maddelerin nasıl kullanılması gerektiğini ya da çevresel kirliliği önlemek içim neler yapılması gerektiğini anlatmaya kadar geniş bir kapsam içerirler. İnşaat projeleri içinse, maliyet analizinden müşteri ile iletişimi kolaylaştırmaya; erken konsept ve ön tasarım aşamalarında daha ayrıntılı temel tahminlerin hazırlanmasını sağlamaya, tasarımcılar ve diğer inşaat profesyonelleri arasındaki iletişimi geliştirmeye ve daha bir çok kapsamda aktif olarak proje yönetimini iyileştirmeye yönetik aksiyonlar alınmasına yardımcı olur [31].
- AASHTO (Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği) Risk Yönetimi Yönergeleri**:** AASHTO, 50 eyalette, Columbia Bölgesi'nde ve Porto Riko'daki karayolu ve ulaştırma departmanlarını temsil eden bir birliktir. Hava, otoyol, toplu taşıma, aktif ulaşım, demiryolu ve su dahil tüm ulaşım modlarını temsil eder [32]. Şekil 2.3.'te AASHTO'ya göre kurumsal risk yönetimi performans ve varlık yönetimini tamamlayıcıları gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kurumsal risk yönetimi performans ve varlık yönetimini tamamlayıcıları [33]

AASHTO, eyalet taşıma ajanslarının günlük olarak risk yönetimini gayri resmi olarak yaptığını, ancak bu riskleri belgeleme veya ölçmek, yönetmek ve azaltmak için verdikleri kararları kaydetme konusunda bir kurumsal risk yönetimi kullanmadığını belirtmektedir. Kurumsal risk yönetimini benimseyerek, ajans liderleri, yurtdışındaki yüksek performans gösteren taşıma ajansları arasında yaygın olan en iyi uygulamayı benimseyebilirler. Bir risk yönetimi programı oluşturmak, karayolu güvenliği hedeflerini veya uzun vadeli varlık durumlarını sürdürme gibi karmaşık ajans hedeflerinin gerçekleştirilmesine yarayacak ajansın karşılaştığı riskleri belgeleyerek ve bunları azaltmak için atılan adımları göstererek uygun özeni göstermek gibi nedenlerden ötürü işletme performansını artırır [33].

- TS EN IEC 31010 Risk Yönetimi- Risk Değerlendirme Teknikleri: Bu Uluslararası Standart, organizasyonların çeşitli risklere karşı daha sağlam bir zemin oluşturabilmeleri için kapsamlı bir çerçeve sunar. Risk yönetimi süreçlerini anlamak, riskin değerlendirilmesine karşı tekniklerin seçimi ve bu teknikleri etkili bir şekilde uygulamak isteyen organizasyonlar için değerli bir kaynaktır. Teknikler, belirsizliğin olduğu durumlarda karar almaya yardımcı olmak, belirli riskler hakkında bilgi sağlamak ve risk yönetimi sürecinin bir parçası olmak üzere kullanılır. Bu standart, diğer belgelere referanslarla birlikte bir dizi tekniğin özetini sunmaktadır [34].

Uluslararası standartlar, farklı ülkelerdeki projeler arasında uyum sağlar ve karşılaştırılabilirlik sunar. Bu, uluslararası yatırımcılar, müteahhitler ve diğer paydaşlar için önemlidir. Aynı zamanda bir projenin performansını değerlendirmek ve benzer projeler arasında karşılaştırma yapmak bu standartlar vasıtasıyla daha kolaydır. Küresel uyum ve karşılaştırılabilirlik, şirketlerin uluslararası pazarda yayılmalarına ve market zincirlerini geliştirmelerine yardımcı olur. Ayrıca uluslararası standartların kullanılması projelerdeki risklere ilişkin bilgilerin paylaşılmasını kolaylaştırır. Aynı standartları kullanmak, projede yer alan farklı paydaşlar arasında daha etkili iletişim ve güven oluşturabilir. Küresel anlamda büyüyen şirketler, başka projelerden ve ülkelerden teklif aldığında veyahut teklif vereceği zamanlarda, paydaşlar risk yönetiminde hangi standartların kullanıldığını soracaklardır ya da kendileri bu uluslararası standartlarda iş yapılmasını istediklerini belirteceklerdir. Bu yüzden bu prosedürlere aşina olmak ve daha önceden bu prosedürlele çalışmış olup deneyim sahibi olmak şirketlere rekabet konusunda öne geçmede artı sağlayacaktır.

Projelerin farklı risk rehberleri kullanmalarının sebepleri ise proje türü, boyutu, karmaşıklığı, yerel faktörler ve inşaat projelerinde farklı endüstrilerin ne derecede yer alacağına bağlı olarak değişmektedir. Proje türü açısından, inşaat projeleri farklı türlerde olabilir; örneğin, altyapı, konut, endüstriyel projeler gibi. Her proje türü, özel ihtiyaçlara ve risklere sahip olabilir. Büyük ve karmaşık projeler, daha kapsamlı ve detaylı risk rehberleri gerektirebilir. Küçük projeler ise daha basit ve özgün risk analizlerine odaklanabilir. Ancak, projenin konumu değiştiğinde yüklenicinin istediği standardı kullanamayacağı durumlar da oluşabilir. Her bölgenin veya ülkenin kendine özgü riskleri vardır. Yerel yasa ve düzenlemeler, iklim koşulları, ekonomik faktörler gibi yerel unsurlar, projelerin risk profilini etkiler. Bu nedenle, yerel risk rehberleri kullanmak, projenin spesifik ihtiyaçlarına daha iyi uyum sağlayabilir. Ayrıca, farklı endüstrilerle yapılan ortaklıklar, multidisipliner projeler de farklı standartları birbirine entegre etmeyi gerektirebilir.

2.2.1 Proje ve Risk Yönetiminde Kullanılan Teknolojik Araçlar

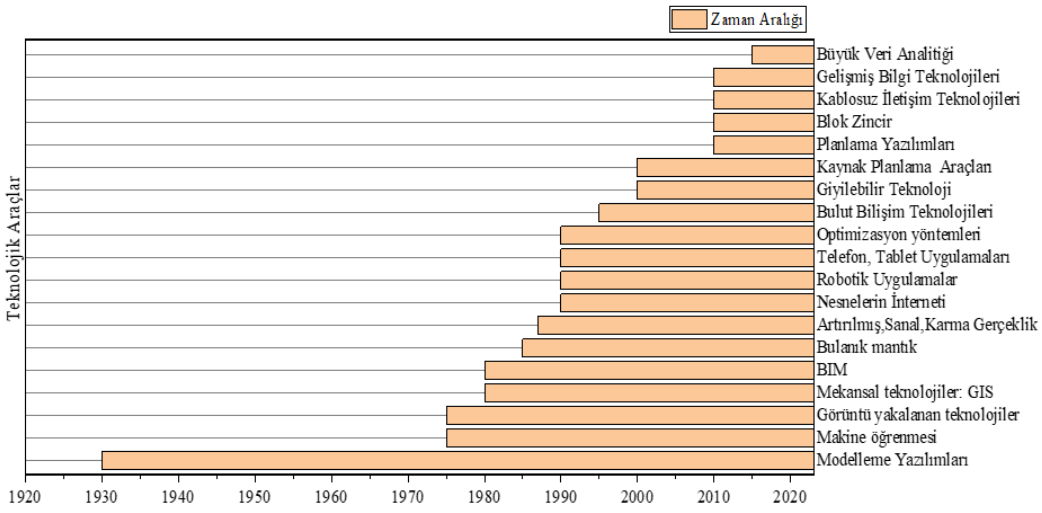
Literatür çalışmasında ağırlıklı olarak Scopus olmakla birlikte Google Scholar, bilimsel internet siteleri ve Yıldız Teknik Üniversitesi'nin elektronik kütüphanesi kullanılmıştır. İnşaat sektöründe proje ve risk yönetiminde kullanılan teknolojik araçları belirlemek için öncelikle Scopus'ta -Bölüm 2.1'de de bahsedilen- literatür

taraması metodu izlenerek araştırma yapılmıştır [20]. İngilizce olarak "**İNŞAAT SEKTÖRÜ**" YA DA "**İNŞAAT**" VE "**PROJE YÖNETİMİ**" VE "**RİSK YÖNETİMİ**" VE "**TEKNOLOJİK ARAÇLAR**" YA DA "**TEKNOLOJİ**" YA DA "**DİJİTALİZM**" YA DA "**DİİJİTAL DÖNÜŞÜM**" ("CONSTRUCTION SECTOR" OR "CONSTRUCTION" AND "PROJECT MANAGEMENT" AND "RISK MANAGEMENT" AND "TECHNOLOGICAL TOOLS" OR "TECHNOLOGY" OR "DIGITALISM" OR "DIGITAL TRANSFORMATION") kelime dizisiyle, anahtar kelimeler sekmesi altında arama yapılıp, çıkan yayınlar listesi derlenmiştir.

Derlenen yayınların çoğu makale olmakla birlikte yayınlar konferans tutanakları, bildiriler, vaka çalışmaları vb. türlerden de oluşmaktadır. Araştırmanın İngilizce yapılması kaynak havuzunu daha geniş tutup, daha fazla kaynağa erişmek için ve teknolojik araçları uluslararası alanda da irdelemek içindir. Arama sonucu çıkan 100 adet yayın listelenmiştir. Çıkan 100 yayın içinden -erişilebilenler komple, açık erişime kapalı olanların da özetleri bulunup okunarak, İngilizce dışındaki dillerde olanların ise Google Translate'te çevirisi yapılarak- adı geçen teknolojik araçlar Excel'e aktarılmıştır. Bulunan çalışmaların referansları da ayrıca çalışma alanıyla ilgili yayınların gözden kaçırılmaması adına Kartopu Örneklemesi[5] kullanılarak incelenerek gerekli çalışmalara da incelemede yer verilmiştir. Kartopu Örneklemesi ile toplamda 141 yayın içinden teknolojik araç taranmıştır.

Yapılan literatür taramasında, inşaat sektöründe proje yönetimi genelinde ve risk yönetimi özelinde kullanılan 19 adet teknolojik araç belirlenmiştir. Şekil 2.4' de literatür taramasından çıkarılan bu 19 teknolojik aletin inşaat sektöründe kullanılmaya başlandığının görülmesinden günümüze kadar olan zaman aralıkları gösterilmektedir. Devamında, bu teknolojik araçların ne oldukları, kullanım alanları, sektörlere ve literatüre girme süreçleri, varsa inşaat sektöründe hangi faaliyetlerde kullanıldıkları ve proje performans kriterlerine ve proje yaşam döngüsü aşamalarına etkileri açıklanıp yorumlanacaktır.

[5]Kartopu, ek makaleleri tanımlamak için bir makalenin referans listesinin veya makaleye yapılan alıntıların kullanılması anlamına gelir. Bununla birlikte, kartopu etkisi sadece referans listelerine ve alıntılara bakmaktan değil, aynı zamanda makalelerin gerçekte nerede referans verildiğine ve makalelerden nerede alıntı yapıldığına sistematik bir bakışla bunu tamamlamaktan da faydalanabilir [35].



Şekil 2.4 Teknolojik araçlar ve kronoloji

2.2.1.1 Büyük Veri Analitiği

Büyük veri analitiği, çok büyük miktarda veriyi inceleyip ilişkili ve anlamlı bilgiler çıkarmayı amaçlayan bir yöntemdir. Geleneksel veri incelemeden farklı olarak, büyük veri analitiği genellikle çok büyük veri setlerini, çeşitli veri türlerini ve hızlı veri akışlarını kapsar. İşletmelerin stratejik kararlar almasına, müşteri davranışlarını anlamasına, operasyonel süreçleri optimize etmesine ve gelecekteki eğilimleri tahmin etmesine yardımcı olur. Bu da büyük veri analitiğinin projede risk yönetimine kritik kararlar vermede etkili rol oynayabileceğini gösterir.

Verilerin çeşitli kaynaklardan toplanması, saklanması, işlenmesi ve analitik araçlar ile veri analitiği uygulanması -açıklayıcı analitik, tanısal analitik vb.- , bilgisayar algoritmaları ve anlamlı içgörüler elde etmek için kullanılan teknikler olarak tanımlanan büyük veri analitiği, toplanan büyük veri kümelerinden modeller oluşturup iş stratejileri geliştirmeye, yöneticilerin geliştirilmiş iş performansı ve rekabet avantajı ve sürdürülebilir değer sunmasına yardımcı olarak tedarik zincirinde geniş kabul görmektedir.

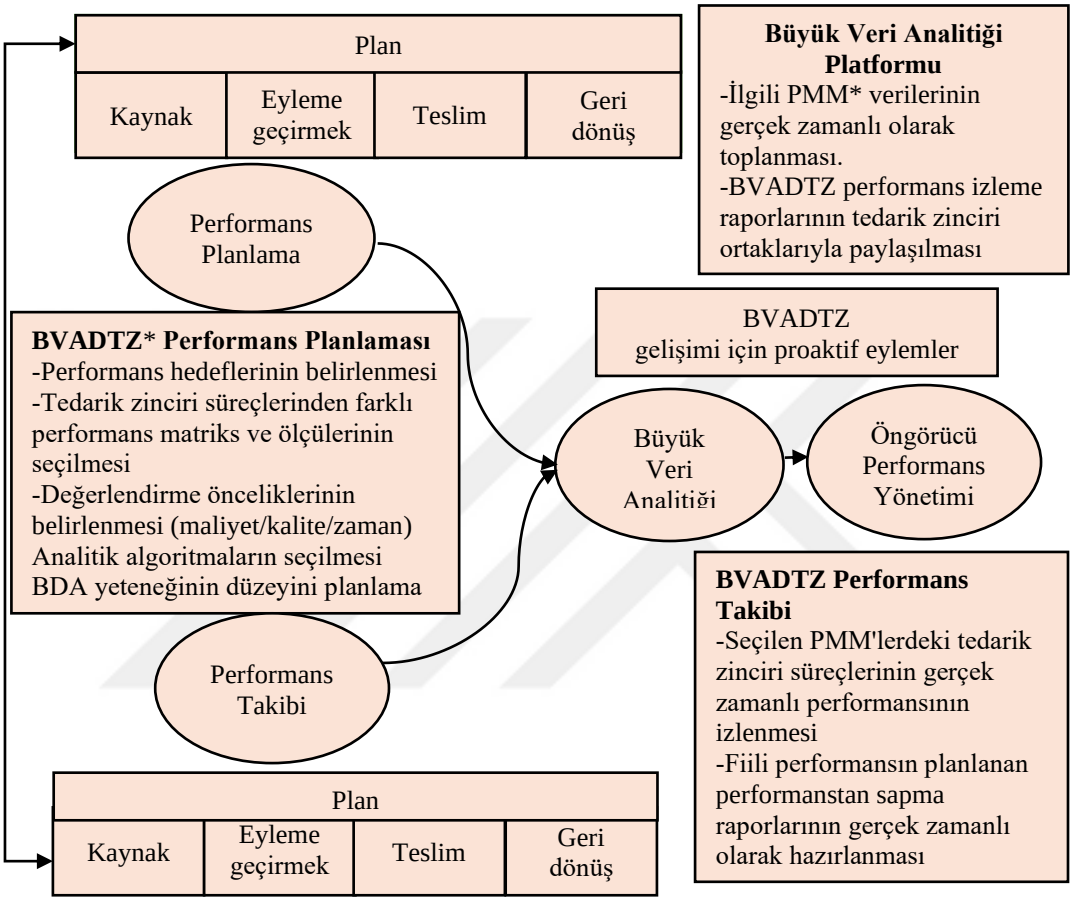
Büyük veri analitiği hem veri yaklaşımları hem de büyük ölçekli bilgi işleme uygulamalarını kapsar [36]. Büyük veri setleri, haberleşme cihazları (telefon, bilgisayar) ve sosyal medyanın bilimsel olarak verimli kullanımıyla akademisyenlerin, araştırmacıların ve yöneticilerin analiz yapmalarına ve karar vermelerine yardımcı olur. Duyarlı toplulukların yaklaşmakta olan tehditlere, zorluklara, risklere ve felaketlere hazırlıklı olmalarını sağlayacak bilgi ve iletişim

için ümit verici bir fırsat sağlar, bu yüzden doğal kaynakların kıtlığı ya da doğal afetlerden kaynaklı riskler için dayanıklılığı arttırmada kullanılabilecek etkili bir yöntem bile olabilir [37]. Büyük veri kavramı, ilk olarak 1997 yılında Michael Cox ve David Ellsworth tarafından kaleme alınan bir makalede ortaya çıkmıştır [38]. Ancak, bu terim ve kavram, 2000'li yılların başlarına kadar geniş bir kabul görmedi ve o dönemde henüz büyük bir ivme kazanamadı. Ancak, büyük veri kavramının gerçek bir çıkış yapması ve önem kazanması, 2012 yılına denk gelmektedir. 2012 yılında, Dünya Ekonomik Forumu'nun Davos Zirvesi'nde önemli bir dönemeç yaşandı. Bu zirvede, verinin sadece bir bilgi kaynağı olmaktan öte, ekonomik bir değere dönüştüğü vurgulandı. Artık, doğru şekilde işlenilip analiz edildiğinde verinin büyük bir ekonomik potansiyele sahip olduğu kabul ediliyordu. Bu noktadan itibaren, büyük veri kavramı hızla popülerlik kazanmaya başladı. Son yıllarda büyük veri Google, Amazon, SAP, Oracle, IBM, Facebook, Microsoft, Apple, Twitter gibi büyük teknoloji şirketleri tarafında ciddi bir biçimde kullanılır hale gelmiştir [39]. Literatür taramasına göre inşaat sektöründe kullanımı ise özellikle proje yönetimi bazında son 10 yılda artmıştır. SAP gibi kurumsal veri yönetimi sistemlerinde şirket içi iletişim ve dosya paylaşmada kullanılmasıyla sektöre giren büyük veri, özellikle son yıllarda risk yönetimi ve sürdürülebilirlik konuları üzerinde çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır.

Kamble ve Gunasekaran yaptıkları çalışmada, büyük veri odaklı tedarik zincirlerini değerlendirmek için kullanılan çeşitli performans matriks ve ölçüleri belirlemek amacıyla altmıştan fazla makaleyi gözden geçirmiş, bulgulara göre, büyük veri odaklı tedarik zincirleri için uygulanabilir performans matriks ve ölçülerini iki ana kategoriye ayırmışlardır [36]. İlk kategori, büyük veri analitiği yeteneklerinin performansını değerlendirmek için kullanılan ulaşılabilirlik, kontrol, adaptasyon, entegrasyon gibi performans ölçülerini içerirken, ikinci kategori, büyük veri odaklı tedarik zinciri süreçlerinin performansını değerlendirmek için kullanılan kar marjı, talep şekillendirme ve çalışmanın kalitesi gibi ölçüleri içermektedir.

Çalışmanın sonuçlarına dayanarak, büyük veri odaklı tedarik zinciri performans ölçüm sistemine yönelik bir çerçeve önermiş ve bu çerçevenin yöneticilere organizasyonlarında sağlam bir performans ölçüm sistemine sahip olmalarında rehberlik edebileceği ifade etmişlerdir. Şekil 2.5'te görülen vaka çalışmasında, büyük veri analitiğinin projelerin başlangıç, planlama aşamalarında, izleme

kontrole kadar, tedarik zincirini etkili bir şekilde yönetmede katkı sağladığı görülmüştür. Paydaş iletişiminin de efektif olarak kullanılmasını sağlayan büyük veri analitiği iletişim yönetiminin yanında zaman, kalite, maliyet gibi proje performans kriterlerine de direkt & dolaylı olarak etki etmektedir.



*__BVADTZ__: Büyük veri analitiğine dayalı tedarik zinciri

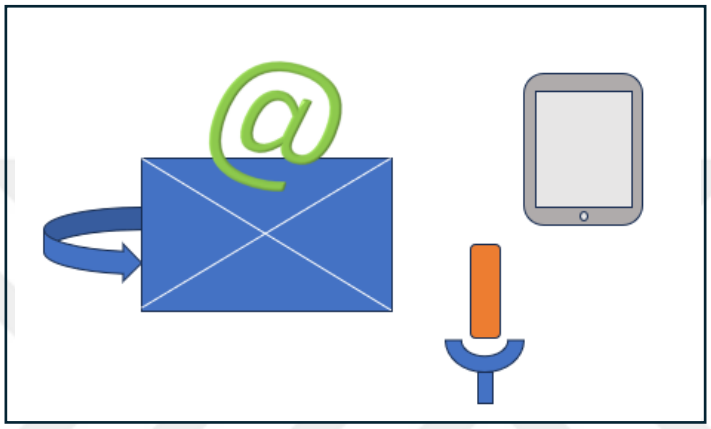
*__PMM:__ Performans matriks ve ölçüleri

Şekil 2.5 Büyük veri analitiğine dayalı tedarik zinciri performansını ölçme sistemi çalışması [36]

2.2.1.2 Gelişmiş Bilgi Teknolojileri

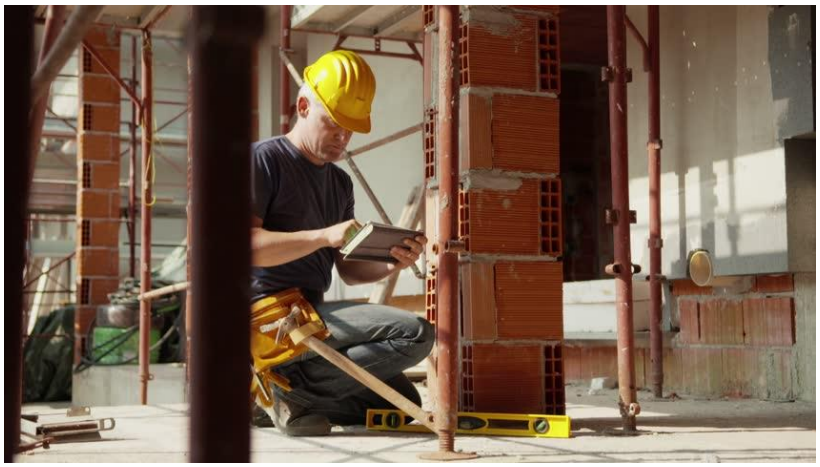
E-posta (1970'ler-günümüz [40]), ses teknolojileri (1950'ler-günümüz [41]), tabletler (1990'lar yıllar-günümüz [42]) gibi gelişmiş bilgi teknolojileri 2000li yıllarda oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu gelişmiş bilgi teknolojileri, endüstriler arasında çeşitli şekillerde kullanılarak, iş süreçlerini iyileştirme, iletişimi hızlandırma, bilgiye erişimi kolaylaştırma ve mobiliteyi artırma gibi çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Bu araçlar, günümüzde iş dünyasında ve günlük yaşamda

önemli bir rol oynamaktadır. Şirket içi haberleşmenin vazgeçilmezi olan e-postalar, proje performans kriterlerinde iletişim yönetiminin en önemli aracıdır. Ses teknolojileri kullanıcılara sesli komutlarla cihazları kontrol etme, metinleri konuşma şeklinde dönüştürme ve sesli asistanlar aracılığıyla bilgiye erişim sağlama gibi birçok alanda kullanım imkanı sağlarken projeye göre imalatı yapılmış tabletler, mühendislik bilgisayarları, tüketici tabletleri ve el cihazları da kullanıcılara benzer şekilde içerik üretimi, proje dosyalarına ve çizimlerine ofis dışı erişim gibi imkanlar sağlar.



Şekil 2.6 Gelişmiş bilgi teknolojileri

İnşaat süreçleri dinamik ve hızlı olmasının yanında karışıktır, genellikle birden fazla şantiye, birçok mobil ekip ve yüzlerce uzaktan çalışan içerebilmektedir. Projenin başarısını garantilemek için etkili iletişim ve iş birliği şarttır. Sahadan her zaman, her an haber alabilmek hem projenin takip edilmesi hem de herhangi bir kaza ve beklenmedik olaya tepki vermeyi hızlandırır. Gelişmiş bilgi teknolojilerinin ortaya çıkışı, inşaat profesyonellerinin çalışma biçiminde devrim yaratmıştır. Bu araçlar verimliliği ve güvenliği artırmak, iletişim ve iş birliğini geliştirmek için vazgeçilmez olmuştur. Sahadan tabletlerle, bilgisayarlara erişimi olmayan çalışanlar e-posta gönderebilir, proje çizimlerini kolayca kontrol edilebilir. Sahanın bir ucuna gitmek durumunda kalan şantiye şefi, diğer ucunu kolayca kontrol edebilir ve yönetebilir. Aynı zamanda, inşaat sahaları elektrik kesintileri, kötü hava koşulları veya ağ kesintileri gibi öngörülemeyen olaylara da maruz kalabilir. Bu teknolojiler güvenlik yönergelerine, denetim kontrol listelerine ve tehlike uyarılarına erişim sağlayarak güvenliğin ve risk yönetiminin iyileştirilmesine yardımcı olabilir.



Şekil 2.7 İnşaatta tablet kullanan işçi

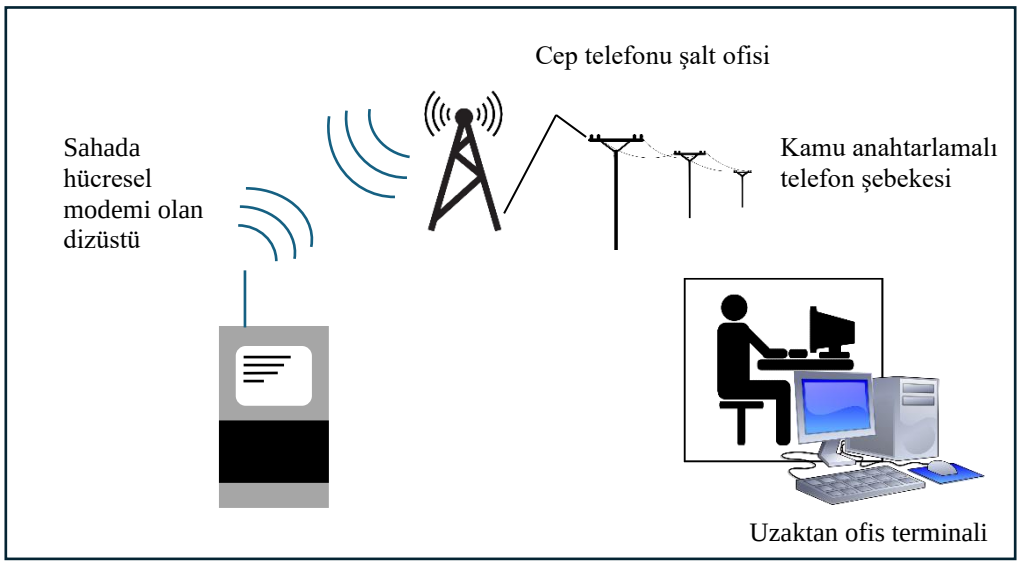
Tabletler ve ses kayıtlarıyla inşaat şirketlerinin kazanılmış tecrübe, öğrenilmiş derslerini kaydetmeleri ve ileriki işleri için bunları kullanırken oldukça efektif bir risk yönetimi sistemi kurmaları kolaylaşır. İnşaatta, kayıt ve arşivler bu yüzden çok önemlidir ve bu teknolojilere bu yüzden her zaman ihtiyaç vardır. Bu teknolojilerle aynı zamanda gelişmiş iş sağlığı ve güvenliği önlemleri alınabilir, takipleri daha hızlı yapılabilir, ramak kalalar azaltılabilir. Bu, kazaların önlenmesine ve güvenlik düzenlemelerine uygunluğun sağlanmasına önemli ölçüde yardımcı olur. Tabletler ile aynı zamanda üretkenlik ve yaratıcılık artar [43]. Saha içi iletişim ve takipten ziyade örneğin şirketler 3D BIM modellerinde gezinmek, bir süreci görselleştirmek ve başkalarıyla iş birliği yapmak için de bu araçları kullanabilir. Ses teknolojileri ise, sahaya özel geliştirilmiş AI ile çalışabilen, hareket algılayıcı özel sistemler olabilmekle birlikte, aynı zamanda mobil cihazlar arası gönderilen basit ses kayıtları da olabilirler. İnşaat şirketlerinde son 10 yılda yaygınlaşmaya başlayan ses teknolojileri, inşaat profesyonellerine konumları ne olursa olsun bağlantıda kalmalarına olanak tanıyan mobilite sunar; internete bağlı herhangi bir cihazdan arama yapılabilir. Bu hareketlilik kesintisiz iş birliğini teşvik eder, gerçek zamanlı karar almayı kolaylaştırır ve genel proje verimliliğini artırır, proje yönetimi yazılımı ve araçlarıyla entegre olarak inşaat profesyonellerine projeyle ilgili bilgi ve güncellemelere kesintisiz erişim, hareket ve esneklik sağlar, tüm paydaşları bir araya getiren merkezi bir iletişim platformu sağlanır. İnşaat ekipleri, acil durumlar, kazalar veya diğer güvenlik olayları sırasında kritik bilgileri hızlı bir şekilde iletmek için özel acil durum hatları veya yayın mesajlaşma sistemleri kurabilir. Bulut tabanlı ses hizmetleri, yedekli altyapıdan ve otomatik yük devretme

mekanizmalarından yararlanarak inşaat profesyonellerinin beklenmedik olaylar sırasında bile iletişimi sürdürmelerine olanak tanır. Bu güvenilirlik arıza süresini en aza indirir, projelerin yolunda gitmesini sağlar ve müşteri memnuniyetini artırır [44] [45]. Proje bilgilerinin elektronik değişimi, proje ekibine verimlilik ve üretkenlik açısından önemli faydalar sağlayabilir. İster e-postayla ister bilgisayardan bilgisayara Dosya Aktarım Protokolü yoluyla, sunumların, proje çizimlerinin, ödeme başvurularının, RFI (Request for Inspection)' ların, saha talimatlarının, bildirimlerin, toplantı tutanaklarının ve rutin proje yazışmalarının elektronik iletimi, önemli ölçüde zaman ve maliyet tasarrufuna, bunların oluşturabileceği herhangi bir riski önleyebilir [46]. Bahsedilenlerden gelişmiş bilgi teknolojilerinin, çok yüksek olasılıkta kesintisiz iletişim ortamı yaratması, proje performans kriterlerinden iletişim ve zaman yönetimine katkı sağladığı çıkarımı yapılabilir. Sahaya eş zamanlı erişim sağlayan bu teknolojiler, iş güvenliği konusunda şirketlere artı sağlar, önlenen kazalar aynı zamanda projenin kalitesini arttırır. Bu da daha şirketin popülaritesini arttırır. Kullanımı oldukça basit olan bu teknolojiler, projenin başlangıç evresinden planlama, yürütme, izleme ve kontrol etmeden kapanışa kadar etkili ve aktif bir şekilde kullanılabilir. Sahada sıkıntı gören mühendis ses teknolojisiyle iş arkadaşlarına hızlıca ulaşabilir, imalatı teslim almaya giden kalite mühendisi tabletinden imalat şartlarını kolayca kontrol edebilir, ve tüm aşamalarda şirketlerin, hatta hayatımızın olmazsa olmazı e-mailler ile her daim proje takipte kalınabilir.

2.2.1.3 Kablosuz İletişim Teknolojileri

Kablosuz iletişim teknolojileri Bluetooth, Wireless, WSN (Wireless Sensor Networks) ve WLAN (Wireless Local Area Network) gibi elektronik dalgalar yoluyla kablosuz iletişim sağlayan, veri aktarımı yapan, çevresel verileri toplayıp sensörlere ileten, yerel ağ oluşturan veya cihazlar arası etkileşim sağlayan aktiviteleri yürüten araçlardır. 20. yüzyılın başlarına doğru radyo iletişimi gelişmeye başladı ve telsiz iletişimin temeli atıldı. İnşaat sektörü, telsiz iletişimini, işçiler arasında ve saha ekipleri ile ofis arasında hızlı ve etkili iletişim sağlamak için kullanmaya başladı. Kablosuz iletişim teknolojilerini belirgin bir şekilde telsizler ile kullanmaya başlayan inşaat sektörü, bu teknolojiyi benimsedi. Birkaç tuşa basarak, manuel, ya da otomatik olarak sahada oldukça kolay kullanımı sayesinde özellikle son birkaç yılda kablosuz veri iletişim teknolojisindeki kayda

değer ilerleme, şantiyede yeni kablosuz bilgi hizmetlerinin sağlanmasını mümkün kıldı. Bu araçlar saha içinde bilginin transferini hızlandırır, operatörlerin yer değişimi yapmayarak enerji ve vakit kaybetmeden saha içi iletişimin aksamadan akışı sağlanır. Bu, sahadaki bir ekibin bir sorunu olduğunda formenin konteynere gitmesine gerek kalmadan çözüm için konteynere danışabileceği anlamına gelir. Sorunlara ne kadar hızlı yanıt alınırsa saha ekibinin bilgi almak için boşta beklemesi ihtimali o kadar azalır. Aynı zamanda riskli bir durum oluştuğunda riske cevap modelinin düşünülmesi ve tasarlanması süreçleri de hızlanır. Bu olası maliyet risklerini azaltır. Ayrıca formenin ekibinin başından daha az ayrılması, ekibin başında daha sık bir süpervizörün bulunacağı anlamına gelir. İşçilerin başlarında kontrol eden ve denetim yapan bir mavi yakanın olmamasının yanlış imalatlara yol açtığı yine oldukça sık karşılaşılan bir durumdur. Bu teknolojiler sayesinde, burdaki iletişim sorunları halledilmiş olur. Projelerde, bazı kalemlerin birbirine bağlı olduğu, bilinen bir gerçektir. Örneğin, 20 yıldır ağırlıklı sahada çalışmış bir inşaat proje müdürüyle yapılan bir görüşmede, proje müdürü sahalarda bazen ne kadar organize olunursa olunsun iletişim yönetiminde proaktif yaklaşım benimsememe sonucu şantiyede iş gecikmelerinin ortaya çıktığını belirtti. Kablosuz iletişim teknolojisi, şantiyedeki denetleyici personelin sahada kalmasını sağlayarak aynı zamanda verimliliği de etkileyen bir araçtır [47]. Telsiz gibi proje maliyeti kapsamında çok da pahalı olmayan araçların yanında, telsizlere göre daha pahalı olan WSN ve WLAN gibi araçlar da bulunmaktadır. WSN, genellikle küçük sensör cihazlarının bir ağ içinde kablosuz olarak iletişim kurmasını sağlayan bir teknolojiyi ifade eder. Bu sensörler genellikle çeşitli ölçümleri gerçekleştirerek (nem, basınç, ışık gibi) bilgileri bir merkezi noktaya veya birbirlerine iletebilirler. WLAN ise kablosuz ağ teknolojisinin bir türüdür ve genellikle bilgisayar, telefon vb. cihazların bir ağa kablosuz olarak bağlanmasını sağlarlar. Örnek olarak Wi-Fi teknolojisi, en yaygın kullanılan türlerinden biridir. WSN, akıllı yapılarda kullanımı yaygınlaşan bir araçtır. Yapının durumunu belirlemek ve inşaat hatalarının tespitinde sensörlerin kullanılmasını içerir. Bugüne kadar çeşitli yapılarda çok sayıda konvansiyonel ve fiber optik sensör kullanıldı. Gömülü fiber optik sensörler binanın iç yapısal bütünlüğünü ortaya çıkarabilir. Bu sensörler uzak yerlerde kullanılarak binaların yapısal sağlığının uzaktan kontrol edilebilmesi sağlanabilmektedir.



Şekil 2.8 Analog hücresel devre anahtarlamalı veri iletişimi [47].

Yapı Sağlığı İzleme Sistemi de kablosuz sensör ağı uygulamalarının bir diğer önemli örneğidir. Sistemin kapsamı hasar tespiti ve boyutunun tahmin edilmesi, hasar lokalizasyonu ve bina ömrünün tahmin edilmesidir. Bu sistem, düşük dağıtım ve bakım maliyeti, geniş fiziksel kapsama alanı ve yüksek uzaysal çözünürlük gibi avantajlar sağlar [48].

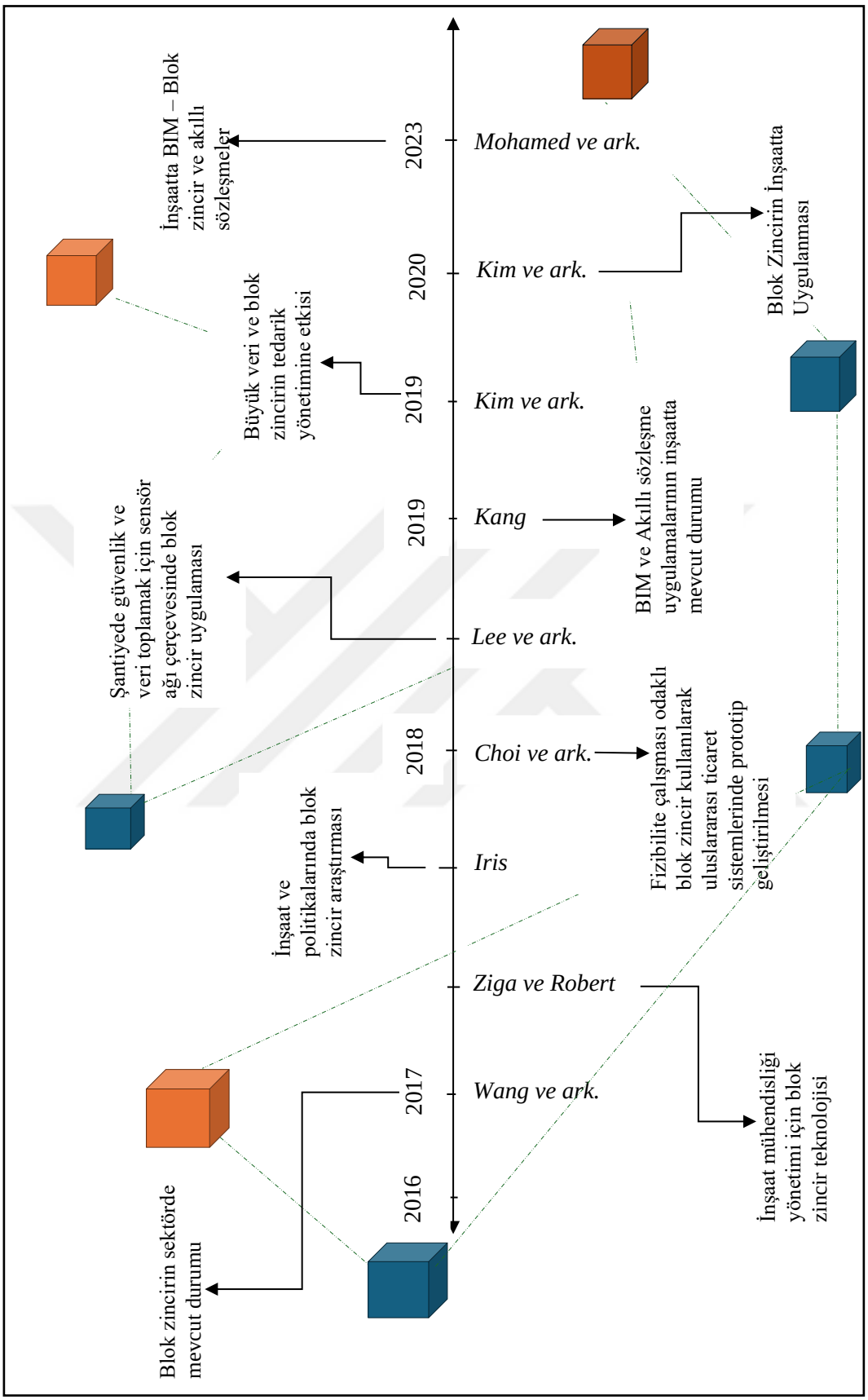
2.2.1.4 Blok Zincir

Blok zincir teknolojisi, bilgi bloklarını dijital ortamda bir zincir gibi birbirine bağlayan ve verilerin bütünlüğünü ve güvenilirliğini önemli ölçüde artırabilen bir teknoloji olarak tanımlanır. Kripto para birimi Bitcoin'in temelini oluşturmak ile 1990'lı yıllarda gündeme gelen Blok Zincir (Block Chain), şifrelenmiş ve dağıtık dijital bir dosyalama sistemidir, literatürde ortaya çıkışı yaklaşık 10 yıl içinde başlamıştır ve değiştirilemez ve gerçek zamanlı işlemleri desteklemek üzere tasarlanmıştır. Bitcoin kullanıcıları, bu sanal para birimini ürün ve hizmet karşılığında Bitcoin gönderip alarak Blok Zincir için işlemler üretirler. Blok Zincir tahmin edileceği üzere kripto para ile tanınsa da uygulandığı tek sektör kripto para değildir. Kaynak yönetimi ve veri işleme gerektiren herhangi bir endüstri, Blok Zincir'i kullanabilir. Bu teknoloji, finanstan tıp endüstrisine, son zamanlarda yeni olarak inşaat sektörü de dahil olmak üzere birçok sektörde kullanılmaya başlanmıştır [49]. Bitcoin ile başlayan Blok Zincir kullanımı, başlangıçta aracılara ihtiyaç duymadan para transferi yapmak için tasarlandı. Bununla birlikte, son zamanlarda çok sayıda araştırmacı ve geliştirici daha karmaşık senaryolar öngördü

ve belirli bir durumun ortaya çıkması durumunda otonom olarak hareket edebilen, blok zincirinde depolanan, kendi kendini çalıştıran bu kod parçaları bilim insanları ve girişimcilerin dikkatini çekti. Örneğin, 2016 yılında, New York'ta sahip olduğu evinin çatısına solar güneş enerjisi sistemi kuran ve çok güneşli günlerde oluşan fazla enerjisi elektrik şebekesine aktaran Martha'ya çevresindeki beş komşu bina da katıldı. Çevre binalarda kendi solar enerjisi olmayan komşular ile olanlar arasında Blok Zincir ile küçük ölçekli enerji ticareti başladı ve daha sonra bu girişim büyük şirketlerin ilgisini de çekti. Günümüzde ise bu şirketler Blok Zincir teknolojisi ile herhangi bir felaket anında ışıkları geçici olarak açık tutacak bir pil depolama üniteleri kurmak planlanıyor [50].

Blok Zincir inşaat sektöründe son 10 yıl içinde gündeme gelmeye başladı. Henüz sektörde çok yaygınlaşmayan ve uygulaması görülmeyen bu teknolojinin dikkat çeken güvenlik, gizlilik ve değiştirilemezlik gibi temel özellikleri sayesinde ilk olarak akıllı sözleşmeler ile gündeme geldiği görülmüştür. Gronbaek, Blok Zincir 2.0 (Blok Zincir 2.0 kavramı, Akıllı Sözleşmeler olarak bilinen daha spesifik bir uygulama için 1. versiyonun genişletilmiş halidir [51]) tarafından tanımlanan yeni bir dizi protokol üzerinde çalışan uygulamaları, bir sözleşmenin (insan tarafından okunabilir) şartlarını (kaynak kodu) ve koşullarını içeren, ağ üzerinde çalışan bilgisayar protokoller olarak tanımlar [52]. Binalardan gelen sensör verilerini güvenilir ve dağıtık bir şekilde saklamak, BIM uygulamalarının barındırabileceği spekülasyonları oluşturmak, ortak konut projelerinde kullanımı, "akıllı model" sözleşmelerini kullanarak tasarım ve inşaat aşamalarında BIM modeline yapılan değişiklikleri yönetmek ve kaydetmek için "faydalı bir araç sağlama" olarak önerilmiştir. Genel olarak inşaat endüstrisinde Blok Zincir'in kullanımı ile ilgili birkaç örnekten de bahsedilmiştir [53]: dijital mal varlıklarının kaydını tutma, zaman damgası eylemleri veya işlemler, çok imzalı işlemler, kendini izleyen bilgisayar programları olan akıllı sözleşmeler ve akıllı Oraklar olarak adlandırılan, akıllı sözleşmelerle birlikte kullanılmak üzere gerçek dünya bilgi depoları. Blok Zincir'in otomatik anlaşmazlık çözümü ve akıllı şehirler ile gayrimenkul yatırımında kullanılması da öngörülmüştür. Şekil 2.9'da son 7 yılda literatürde araştırmacıların inşaat sektörü ve blok zincir ile ilgili yaptığı çalışmalar gösterilmiştir.

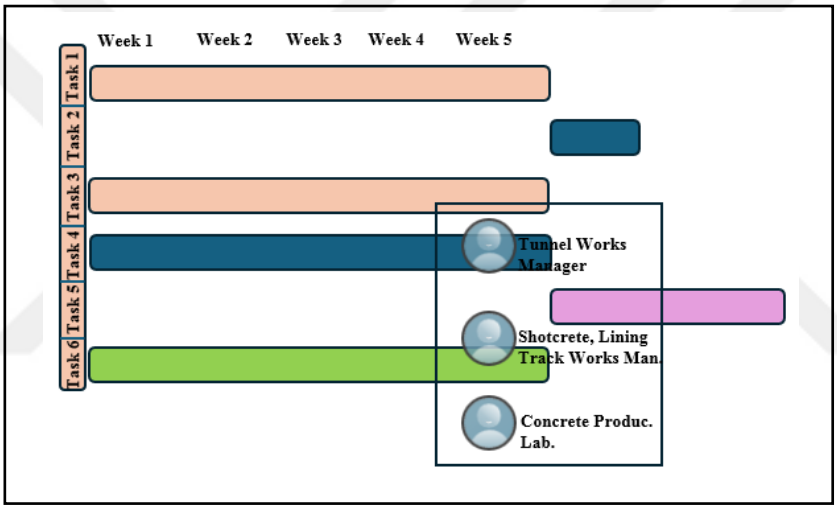
Blok zincir görüldüğü üzere, inşaat yönetimi bazında aktif olarak araştırılmıştır. Fizibilite çalışmalarından uluslararası ticaret sistemi için prototip geliştirmeye, oradan da saha içi güvenlik açısından sahadan veri toplanmasına kadar sektöre entegre edilmesiyle ilgili çalışmalar görülmüştür. Burada blok zincirin üstün güvenlikli veriler sağlaması, geniş bir ağ sistemi üzerine kurulu olması, verilerin aslında bir merkezi sisteme bağlı olmaması ve kendi içlerinde değişen verilere göre de yeniden kodlanabilmeleri vb. özelliklerinden ötürü, bu teknolojinin dijital dönüşümde güvenirliklik ve sürdürülebilirlik gibi birçok avantajı olacaktır. Sensörler ya da prototip gibi araçlarla bütünleşmiş çalışabilmesi ve dinamik bir araç olması blok zincirin inşaatın başlangıç sürecinden kapanış sürecine kadar aktif olarak kullanılabileceği tezini de güçlendirmektedir. Sahadan verilerin güvenli şekilde aktarılıp toplanması, izleme ve yürütme, kontrol aşamalarının sorunsuz ilerlemesini sağlamakla birlikte aynı zamanda iletişim yönetimi, zaman ve güvenlik kriterlerinde blok zincir uygulamasının projeye pozitif etkiyeceğini göstermektedir. Dağıtık ağda şifrelenmiş olarak işleyen bu teknoloji, başarılı güvenlik performans kriteri sağlamak konusunda yüksek garanti verse de maliyetli olabilmektedir [54]. Bu yüzden getirisi yüksek büyük çaplı, uluslararası projelerde kullanılması, küçük ve yerel projelerde kullanılmasından daha mantıklı olacaktır. Literatürde ayrıca, blok zincirin BIM program yazılımı ile de kullanılabileceği üzerinde çalışılmıştır. Sonuç olarak, finans sektörü ile ayrılmaz bir bütün olan inşaat sektörü, Bitcoin gibi sanal bir paranın alıp satılmasından, akıllı sözleşmeler gibi kodlanmış ve insan faktörünü devreden çıkaran uygulamalara kadar genişleyen Blok Zincir teknolojisini efektif olarak kullanıp, Endüstri 4.0 devrinde büyük ilerleme kaydedebilir. Birçok başka dijital araç ile eşzamanlı çalışabilen bu teknoloji, sahadan veri alma, iletme özelliği sayesinde kalite, maliyet ve zaman performans kriterlerinde oluşabilecek çoğu riski önleyip yönetebilecek bir teknolojidir.



Şekil 2.9 Literatürde son yıllarda inşaat mühendisliğinde Blok Zincir ile ilgili yapılan bazı çalışmalar ve içerikleri [55]

2.2.1.5 Planlama Yazılımları

Planlama yazılımları, projeleri ve programları planlamak, yönetmek ve yürütmek için bir çözümdür. Primavera P6, MS Project gibi program yazılımları bunlara örnek olarak gösterilebilir. Bu yazılımlar, kendi içlerinde de farklı görevler yapan ayrı modüllere sahiptirler (Primavera P6, Primavera Risk Analizi). Bu yazılımlar genel olarak inşaat sektöründe proje yönetim ve planlama departmanları tarafından kullanılırlar. Küçük çaplı şirketlerden büyük ölçekli sermaye projelerine kadar her boyutta program veya proje için kullanılabilirler. Aslında sadece inşaat sektörüne özel değildir ve sağlık, bankacılık, bilgi teknolojileri, hükümet ve savunmada kullanılabilmektedirler. Kısaca bir proje veya program yürüten herhangi bir şirket için uygundurlar.



Şekil 2.10 Gantt Şeması'nın basit bir gösterimi

Primavera P6 Professional, bireysel kullanıcıların bilgisayarlarına kurulan bağımsız bir proje planlama aracıdır. Bağımsız bir araç olarak kullanılabilir veya yerel olarak kurulmuş bir veri tabanına erişme ile çalıştırılabilir [56]. MS Project gibi, Primavera yazılımı portföy yönetimi, ürün yönetimi, iş birliği yönetimi ve proje yönetimi ile ilgili çeşitli diğer kontrolleri içerir. Primavera yazılımı, ORACLE, ERP vb. gibi diğer kurumsal yazılımlarla da entegre edilebilir. Bu yazılım, proje planlama, raporlama, ilerleme güncelleme ve takip için en uygun olanıdır. Primavera ve MS Project, genellikle proje planlama ve yürütme için kullanılan proje yönetimi yazılımları olarak bilinir, iş süreçlerindeki karmaşayı azaltmaya ve üretkenliği ve verimliliği artırmaya yöneliktirler. Bu yazılımlar, iş süreçlerinden gereksiz fazlalıkları ortadan kaldırmak amacıyla proje yönetiminde teknolojinin en büyük

icatlarıdır. Primavera ve MS Project yazılımları arasındaki temel fark, Primavera yazılımının veri tabanına dayalı olmasıdır, oysa MS Project bir dosya tabanlı yazılımdır. Primavera yazılımı, proje risklerini azaltma konusunda MS Project yazılımına göre daha güçlü bir yazılımdır. Tutarsızlıklar, kusurlar ve hatalar zaten proje yönetim yazılımının yardımıyla planlanmış ve analiz edilmiş olduğundan, fazla maliyetler azaltılabilir. Primavera proje yönetimi yazılımı, başlangıçtan itibaren kurumsal yazılım olarak oluşturulmuşken, oysa MS Project yazılımı başlangıçta bir masaüstü uygulaması olarak oluşturulmuştur. Daha sonra proje sunucusuna taşındı ve Microsoft proje yazılımına kurumsal proje yönetimi amacıyla kurumsal yetenekler eklendi. Primavera P6 şu anda Windows tabanlı işletim sisteminden çıkmaya ve işlevselliği keşfetmeye ve üzerinde çalıştığı platformların sayısını artırmaya başlamaktadır. Hem Primavera hem de MS-Project yazılımları proje yönetimi yazılımlarıdır; ancak, aralarında küçük farklar bulunduğundan ve bu nedenle projenin doğasına bağlı olarak farklı türde projeler için kullanılabilirler. Kurumsal proje yönetimi yazılımı seçimi, organizasyonun gereksinimlerine ve projelerinin doğasına bağlıdır [57]. Bu yazılımların piyasaya sürülmeleri daha erken olmasına rağmen, akamedik çalışmalarda adından bahsettirmeye 2000'li yılların başında başlamıştır.

[58] 2019 yılında yaptıkları araştırmada, literatür taraması ve örnek bir vaka analizi üzerinde çalışmışlar, Kahire, Mısır'daki Yönetim Binası inşaatı üzerinde Primavera Kontrat Yönetimi aracını kullanarak proje aşamalarını yürütürlerken programın kontrolü ele almaya kolaylaştırdığını ve tüm paydaşlar tarafından aktif kullanılmasının ileride yönetimin karşısına çıkacak talep ya da itirazları yönetmekte, proje boyunca sistematik bir doküman yönetimine sahip olunduğu için de yönetimde pürüzlerin en aza indirgeyeceğini öne sürmüşlerdir.

Bu yazılımlar ilk piyasaya çıktığı zamanlarında basit olarak planlama işlevi sürerken, günümüzde başka teknolojik araçlar ve yazılımlarla birlikte bütünleşmiş çalışarak, zaman, maliyet ve kalite performans yönetimlerinde riskleri azaltmaya kadar geniş bir kullanıma yayılmıştır. Kaynak ve maliyet yönetimi, raporlama, kullanıcıların sorunları ve potansiyel tehlikeleri fark etmelerine yardımcı olma gibi faaliyetlerle projeleri ve programları planlamak, yönetmek ve yürütmek için ideal yazılımlardır.

İnşaatta kritik yol, bir inşaat projesindeki tüm faaliyetlerin belirli bir süre içinde tamamlanması için gereken en uzun süreyi temsil eden bir dizi faaliyetlerin kombinasyonudur. Kritik yol, projenin toplam süresini belirlemede ve proje yönetiminde önemli bir planlama aracıdır. Bu yazılımlar ile projeler kritik yolu belirleyebilir ve ona göre planlama yapabilirler. Kritik yol ile zaman yönetimi, planlama güçlendirme, kaynak yönetimi, risk değerlendirmesi, iletişim iyileştirmesi, performans takibi ve maliyet kontrolü gibi proje performans kriterleri ve aşamaları yönetilebilir.

2.2.1.6 Kaynak Planlama, Veri Yönetim Araçları (Enterprise Resource Planning, ERP)

Kaynak Planlama ve Veri Yönetimi Araçları, bir organizasyonun iş süreçlerini entegre etmek, veri yönetimini optimize etmek ve genel olarak iş faaliyetlerini daha etkili hale getirmek için kullanılan yazılım sistemleridir. Bu araçlar, birçok farklı fonksiyonu bir araya getirerek bir kuruluşun operasyonel etkinliğini artırmayı amaçlar. ERP ve SAP bu araçlardan birkaçına örnektir. Kaynak planlama araçları, çok sayıda iş sürecini birbirine bağlar ve aralarında veri akışını sağlar. ERP sistemleri, bir kuruluşun paylaşılan işlem verilerini birden fazla kaynaktan toplayarak veri tekrarını ortadan kaldırır ve tek bir doğruluk kaynağıyla veri bütünlüğünü sağlar. Bu sistemleri şirketin bütünlüğüne entegre etmek pahalı ve bazen karışık olabilse de kullanmak kolaydır, çalışanlara bir dizi eğitim verilerek de öğretilebilir. Kısaca, çalışanın sisteme kullanıcı adı ve şifresini girdikten sonra, ana ekran ve menü navigasyonu ile farklı modüllerden kendi çalıştığı departmanın bölümüne girme, veri girişi yapma ya da güncelleme, rapor ve analiz araçlarını kullanma, iş akışlarını takip etme ve sistem içindeki iletişim araçlarını kullanarak ekip üyeleriyle iletişime geçmesi şeklinde kullanılabilir.

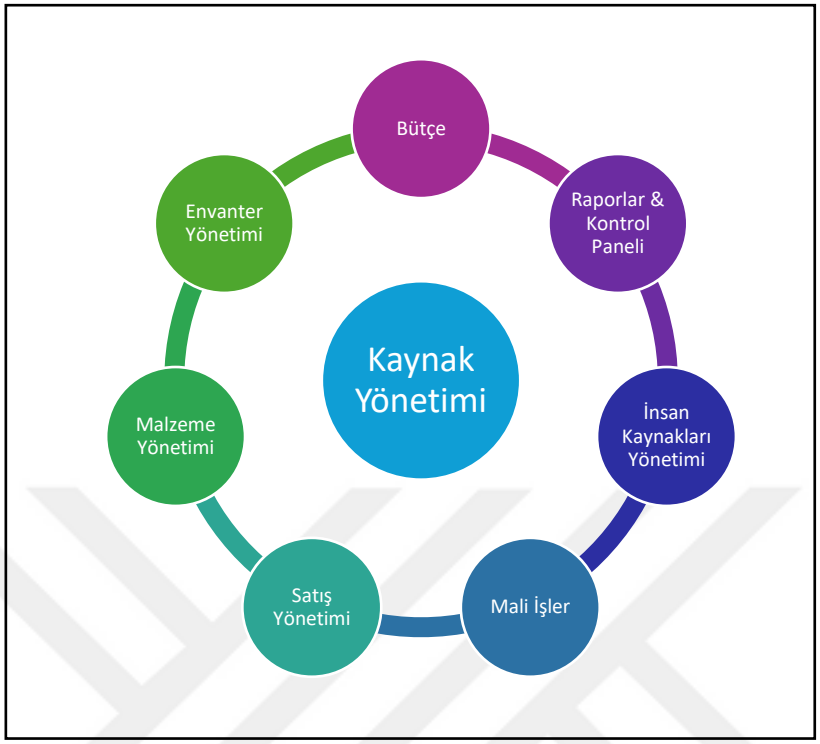
Bu araçlar, aslında 60 yıldır hayatımızda bulunmaktadırlar. Lakin 90'lı yıllar ve sonrasında teknolojinin de gelişmesiyle ün kazanmışlardır. 1960'lı yıllarda üretim sektöründe ham maddelerin ve üretimin takip edilmesi için temel "Malzeme İhtiyaç Planlaması" (MRP: Material Requirements Planning) sistemi ile iş dünyasına giren bu araçlar, 10 yıl sonra daha fazla üreticinin dikkatini çekmesiyle bir sistem olarak kuruldu. 1980'li yıllarda "kaynak yönetimi" kavramını da sisteme katan yapımcılar, 1990 yılında tüm iş fonksiyonlarını entegre eden Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) sistemlerini kullanıma sundu. 21. Yüzyılın başında internetin bu sisteme

girmesiyle iş sektöründe yani bir çağ açan kaynak yönetimi araçları, 2010'lu yıllarda verilerin gerçek zamanlı olarak işlenmesi, makine öğrenimi ve nesnelerin internetinden de yararlanmaya başlamıştır [59].

İnşaat sektörüne ise, literatürde 2000'li yılların başında görülmeye başlanmıştır. İnşaat sektöründe kurumsal kaynak planlaması, kusursuz bir iş çözümü sağlamak için analitik araçların ve verilerin kullanılması olarak tanımlanabilir.

İlk olarak, ERP, inşaat endüstrisindeki operasyonları otomatikleştirme konusunda önemli bir rol oynayarak, proje yönetimi, müşteri ilişkileri, personel yönetimi, maliyet tahmini ve tedarik gibi çeşitli görevleri yönetme konusundaki zorlukları hafifletir. Sistemin modülleri bu görevleri kesinlikle otomatikleştirir ve insan hatalarının olasılığını azaltır. Ayrıca, ERP, birden fazla projeyi aynı anda etkili bir şekilde yöneterek, doğru kaynak tahsisi, maliyet kontrolü ve kâr marjının artırılmasını sağlar. Yazılım aynı zamanda bütünleşmiş sohbet forumları ile iç iletişimi artırarak proje ekibi üyeleri arasında sorunsuz iş birliğini teşvik eder. Buna ek olarak, ERP'nin mobil dostu doğası, herhangi bir yerden proje ile ilgili bilgilere erişimi hızlandırarak genel iş operasyonlarını hızlandırır. Sistem, kaynakların olmaması durumunda gecikmeleri önler ve çalışanlara iş esnekliği sunar, 7/24 iş varlığı sağlar. Verilerin merkezi olarak yönetilmesi, bilgi transferini basitleştirir ve organizasyonun departmanları arasında verinin güvenli ve hızlı bir şekilde transferini sağlar. Bu veri yönetimindeki etkinlik, karar alma süreçlerini iyileştirir ve sorunlara proaktif bir şekilde çözüm bulunmasına olanak tanır. Ayrıca, ERP, derin veri analizi yaparak pazarlama stratejilerini optimize etmeye katkı sağlar, inşaat şirketlerinin stratejik hedefler geliştirmesine ve uygulamasına yardımcı olur. İnşaat ihale maliyeti ve gelir tahminleri açısından ERP, kullanılacak kaynaklara ve ilgili parametrelere dayanarak doğru maliyet tahminleri yapmaya yardımcı olur ve gerçek ve tahmini maliyet arasındaki sapmaları en aza indirir. Son olarak, ERP dijital belgeleme konusunda katkıda bulunarak kâğıt kullanımını azaltır, dijital olarak depolanan verilere her yerden ve günün her saatinde erişim sağlar ve güvenilirliği ve gizliliği artırır. Genel olarak, ERP, inşaat endüstrisinde verimliliği, iletişimi ve karar alma süreçlerini artırmak için kapsamlı bir çözüm olarak ortaya çıkar [60]. Sektöre yeni girdiği bu yıllarda 2005 yılında Chang ve Lee yaptığı bir vaka çalışmasına göre, şirketlere entegre edilmesinin zor olduğundan, çalışmaların

inşaat sektöründe ERP uygulamalarının başarısızlık oranının başarı oranından fazla olması sonucuna ulaştılar [61].



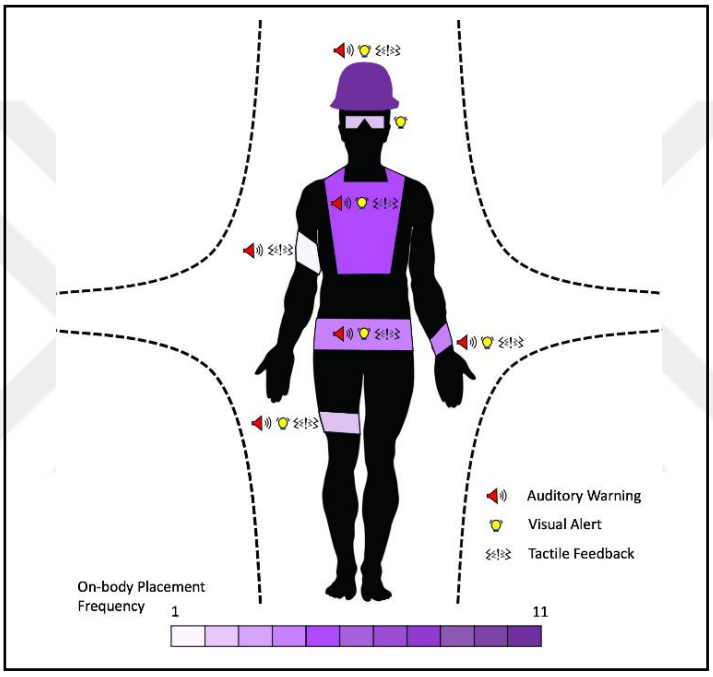
Şekil 2.11 İnşaat sektöründe kurumsal kaynak planlaması uygulamasının özellikleri [60]

10 yıl sonrası incelendiğinde 2016 yılında Lee ve Kim'in yaptığı çalışmada sektörün hala bu yazılımları kullanmayı riskli bulduğundan dolayı kullanmakta çekindiği söyledi [62]. Bu yüzden bu yıllardan günümüze kadar çalışmalar daha çok bu araçların sektöre nasıl başarılı ve efektif şekilde entegre edilebileceği üzerine başarı kriterleri belirlemek üzerine gelişti. Özorhon ve Çınar'ın 2015'te 90 adet Türk firmasına yaptıkları anket sonucunda, çalışanların yarısının bu araçları kullanmadığını, kullananların ise bu 1 yıldan az süredir kullandığını buldular [63].

İnşaat projelerinin yaşam döngüsünün farklı aşamalarında performansı artırmayı amaçlayan birçok IT aracı bulunmaktadır; ancak çeşitli süreçlerin entegrasyonu daha büyük bir zorluk oluşturur. ERP sistemleri, bu entegrasyon sorununa bir çözüm olarak kabul edilmektedir. ERP'nin sunduğu avantajlardan tam olarak faydalanabilmek için uygulamanın başarı faktörleri araştırılmalıdır.

2.2.1.7 Giyilebilir Teknoloji

Giyilebilir teknolojiler, kullanıcıların vücutlarına takıp kendileri ile birlikte her zaman taşıyabildikleri, genellikle sensör, veri işleme bileşenleri ve kablosuz iletişim özellikleri içeren akıllı cihazları ifade eder. Bunlar EEG, ECG/EKG sensörleri, UV ışınlarını ölçen sensör, stresi kontrol eden bileklik, akıllı baret gibi cihazlardır. Bu teknolojiler, kişisel yaşamı kolaylaştırmak, bireylerin sağlık ve aktivite düzeylerini izleyebilmeleri, iletişimi artırmak ve daha birçok alanda kullanıcılara hizmet vermek için tasarlanmıştır. Bu teknolojilerin gelişimi, mobil cihazlar ve sensör teknolojilerindeki ilerlemelerle birlikte hız kazanmıştır.



Şekil 2.12 Giyilebilir teknoloji sensör uygulaması [64]

İnşaat şantiyeleri, sesli ve bazı durumlarda çalışanların görme kapasitesini sınırlayan çalışma ortamlarıdır. Bu yüzden inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği çok büyük ölçüde önem arz etmektedir. 1919 yılında 1. Dünya savaşında genç Teğmen Edward W. Bullard'ın literatüre "hard hat: sert şapka" (koruyucu başlık, miğfer, kask, baret) olarak geçirdiği ve kocaman bir asır boyunca milyonlarca hayat kurtaracak bu icat, inşaat sektöründe yıllar sonra 1931 yılında ilk kez Hoover Barajı'nda kullanılacaktı [65]: İşçilerin baret takmasının zorunlu olduğu ilk inşaat sahası, Proje Şefi Mühendis Joseph Strauss'un emriyle 1931 yılında Hoover Barajı'nın inşasıydı. Strauss güvenliğe büyük önem verdi ve kanyondan aşağı inen işçileri düşen kaya ve enkaz parçalarına maruz kalmaktan korumak için baretleri

zorunlu hale getirdi. 5 yıllık proje boyunca 100'den fazla işçi öldü; onun çabaları olmasaydı bu sayı çok daha fazla olabilirdi [66]. Amerika Birleşik Devletleri'nde İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (OSH Act) 1970 yılında yürürlüğe girdi ve buna bağlı olarak 1971'de İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi (OSHA) kuruldu. OSHA ile inşaat endüstrisine özgü olanlar da dahil olmak üzere uygulanabilir güvenlik ve sağlık standartları belirlendi. İşyeri güvenliğinin sağlanmasında düzenleyici kurum olan OSHA, inşaat şantiyelerinde güvenliği ve farkındalığı artırmak için güvenlik eğitiminin yanı sıra Kişisel Koruyucu Donanımlarını (KKD) kullanılmasını zorunlu kıldı [67].

Literatürde Yadav vd.'in yaptığı kapsamlı çalışmaya göre, teknolojinin giyilebilir cihazlara entegre edilmesi 2005 yıllarından sonra başladı: baretten sıklıkla bahsedildi [64], 2005li yıllar ile 2010'lu yıllar arasında barete emniyet kemeri, kol bandı, güvenlik yeleği eklendiği, 2015 ve sonrasında ise güvenlik yeleği, koruyucu gözlük ve yapılan işe bağlı kalça pedine kadar KKD'ler kullanılmaya başlandı. 2005 yılında bir çalışma, statik ve dinamik yasaklı bölgeler yaratarak baret üzerinde bulunan kulaklık ve mikrofonları çalıştırarak çift yönlü sesli iletişim kurmak için el tipi GPS tabanlı işçi-ekipman konumu kullandı [68]. 2007 yılında başka bir çalışma, bazı kullanıcıların kemer çantasına taktığı, diğerlerinin ise güvenlik yeleğinin cebine koyduğu manyetik bir uyarı etiketi aracılığıyla işçileri inşaat makinelerine yakınlık mesefaleri konusunda uyardı. Bu kişisel alarm cihazı (PAD), jeneratöre olan mesafeye bağlı olarak nabzı değiştiren bir alarm üretti ve en yakın bölgede sürekli titreşimli bir uyarı üreten bir dokunsal alarm etkinleştirildi [69]. 2010 yılında, otonom proaktif, gerçek zamanlı inşaat işçisi ve ekipman operatörü ile güvenlik uyarı sistemi test edildi [70]. Bu arada, inşaat ekipmanlarına mesafe uyarısı için ayrıca Akıllı Baretler'in geliştirilmesi gibi pasif ultra yüksek frekanslı giyilebilir cihazlardan yararlanma girişimlerine kadar gidildi [71]. 2015 yılında bir çalışmada, bu sefer akıllı yelekler söz konusu oldu [72]. Ve günümüzde nesnelerin interneti ya da makine öğrenmesi ile birleştirilerek birçok giyilebilir teknoloji aracı piyasaya sunulmaya devam etmektedir.

Bu akıllı cihazların, insan müdahalesi dahil olmadan kablosuz etkileşim halinde olması, yapılan çalışmalarda zaman kaybı olmadan birçok kazanın engellenebileceğini ve kaza olsa dahi işçinin bu kazadan hafif yaralarla kurtulabileceğini göstermiştir. Ayrıca çalışmalara bakıldığında, bu araçların kaza

haricinde iletişim yönetiminde etkili şekilde kullanılabileceği sunulmuştur. Kablosuz iletişim cihazları kategorisine de giren bu araçların, projenin başlangıç aşamasında ve özellikle yürütme ve izleme aşamasında, sahayı eş zamanlı kontrol etme ve sahadan bilgi almak gibi özellikleri ile projeyi hızlandıracağını, buradan da projenin planlanan bitirilme süresinde tamamlanmasına katkıda bulunabileceği sonucuna ulaşılabilir. Zaman, maliyet ve kalite risk yönetimine direkt ya da dolaylı etki edebilen bu araçları, projelerin doğru bir maliyet planlama ile bütçelerine eklemesi, çalışmalardan da anlaşılacağı üzere, özellikle İSG kısmında iş kazalarını azaltacak, proje performans kriterlerinden zaman, maliyet, iletişim yönetimi, ve kalite yönetime kadar proje aşamalarından başlangıç, izleme ve kontrol aşamasında da avantaj sağlayacağı sonucuna ulaşılabilir.

2.2.1.8 Bulut Bilişim Teknolojileri

Bulut Bilişim (Cloud Computing), bilgisayar sistemlerine, veri tabanlarına, ağlara, yazılımlara ve diğer bilgisayar kaynaklarına internet üzerinden erişim sağlayan bir teknoloji modelidir. Bu modeller, kullanıcılara fiziksel olarak erişilemeyen uzak sunucularda barındırılan kaynaklara talep üzerine erişim sağlar. Bulut bilişim, kullanıcılara çeşitli hizmetler sunan ve bu hizmetlerden esnek bir şekilde yararlanmaya olanak tanıyan bir servis modelini ifade eder. İnşaat sektöründe, özellikle saha çalışmalarında, eş zamanlı raporlama yapabilme ve karar alabilme amacıyla işletme verilerine anlık erişim sağlanmaya yardımcı olabilir. Bulut bilişim sistemi, ilgili ekibe projeyle ilgili verilere hızlı ve kolay bir şekilde ulaşma imkânı tanır. İnşaat süreçlerinde daha etkili iletişim ve operasyonel verimliliği sağlamak için önemli bir araçtır [6]. Bu teknoloji, dijital dönüşüm süreçlerinde Endüstri 4.0 için en önemli araçlar kategorisinde yer almaktadır. Bulut bilişim, yerinde donanım ve bakım ihtiyacını azaltarak, inşaat firmaları için düşük bütçelerde ihtiyaçlarını elde etmelerini sağlar.

Bulut bilişimin, 1960'lara kadar uzanan zengin bir geçmişi vardır lakin literatüre tam adıyla 1993 yılında girmiştir [73]. İnşaat sektöründe kullanılması nispeten yenidir.



Şekil 2.13 Bulut bilişim teknolojisi [74]

Bulut bilişim 1990'ların sonunda ve 2000'lerin başında ortaya çıktı, ancak güvenlik ve veri güvenliği ile ilgili endişeler nedeniyle inşaat sektöründe benimsenmesi daha yavaş oldu. Ancak teknoloji geliştikçe ve siber güvenlik kavramı ortaya çıkınca bu endişeler giderildi ve inşaat firmaları, iş birliği ve veri yönetimi açısından bulut bilişimin faydalarını fark etmeye başladı [75].

Jardim-Goncalves ve Grilo, 2010 yılında, BIM'in, bulut bilişim paradigmaları altında uygulanmasının, yapı endüstrisi için ülkelerin elektronik pazara ulaşma sürecini hızlandırma vaadini taşıdığını öne sürdü [76]. Senescu ve Haymaker ise 2013 yılında yaptığı çalışmada, bulut bilişimin, tasarım sürecinde iletişim metodolojisini bir araç olarak kullanılabilir kılarak projede bilgi yönetimini aktif hale getirilebileceğini öne sürdü [77]. Bu kullanımın sonuçları, tasarım sürecinde iletişim metodolojisini kullanan tasarımcıların süreçleri az bir çaba harcayarak doğru bir şekilde yakaladığını göstermektedir. Devam eden yıllarda Bulut Bilişim, 2014 yılında tedarik zinciri sürecini tahmin etmede [78], 2019'da yapı sağlığı izleme monitörünün nesnelerin interneti ile kullanılmasında [79] ve 2022 yılında Hindistan'da altyapı projelerinin KPI (Key Performance Indicators)[6]'ların bulut bilişim ve nesnelerin interneti ile belirlenmesi [80] çalışmalarında kullanılmıştır.

[6]İnşaat KPI'ları veya temel performans göstergeleri, bir inşaat şirketinin çeşitli alanlardaki performansını ölçmek ve değerlendirmek için kullanılan ölçümlerdir. KPI'lar hedefleri belirlemek ve bunlara ulaşmak, ilerlemeyi izlemek ve veriye dayalı kararlar almak için gereklidir [81].

Bulut bilişimin yapılan bu çalışmalarda, inşaat firmalarının kaynaklarını ihtiyaca göre genişletip daraltmalarına olanak tanıdığı, bunun da dalgalı iş yüklerini daha kolay yönetmelerini sağladığı, farklı ekipler arasında iş birliğini kolaylaştırarak, gerçek zamanlı iletişimi mümkün kıldığı ve gecikmeleri azaltarak projeye zaman kazandırdığı görülmüştür. Bulut bilişim sağlayıcıları, veriyi kayıplara veya hırsızlığa karşı koruyan güçlü güvenlik önlemlerine sahiptir. Verilerin güvende olması, projenin işleyişinde durma ve gecikme kayıplarını önler ve proje kalitesini arttırır. En önemlisi bu araç, verilere uzaktan erişimi mümkün kılar, bu da farklı konumlardan çalışan ekipler için işi daha kolay hale getirir. Burada da yine zaman ve iletişim yönetimi konusunda avantajlar sağlanır.

Bulut tabanlı iş birliği, birden fazla kaynağı bulut tabanlı bir sistemde entegre ederek müşterilerin uygulamalara ve hizmetlere gerçek zamanlı olarak erişmesine olanak tanırken güncelliğini yitirmiş veya yanlış bilgi ihtimalini de azaltır, bu da kalite ve maliyet risklerinin önüne geçmekte fayda sağlar [82].

2.2.1.9 Optimizasyon Yöntemleri

Optimizasyon yöntemleri, bir sistemin veya sürecin en iyi performansı elde etmek için tasarlandığı matematiksel ve bilgisayar bilimi alanlarından gelen tekniklerdir. Bu yöntemler, genellikle belirli bir hedefi en iyi şekilde gerçekleştirmek, bir kriteri optimize etmek veya belirli kısıtlamalar altında en iyi çözümü bulmak amacıyla kullanılır.Cohn ve Dinovitzer, 1994'te yayınladığı çalışmada bu alandaki önemli ilerlemelerine rağmen, olasılığa dayalı yapısal optimizasyonu, gelecek için heyecan verici olsa da anlaşılması zor bir hedef olarak göstermişti [83]. Onlara göre, nesnel olarak, mühendislik projelerinde geniş uygulama olasılığı, kendine özgü kavramsal oluşu, analitik ve pratik zorlukları nedeniyle zayıftı. Geçmişi çok daha eskilere dayansa da inşaat sektörü literatürüne 1990 yıllarda giren optimizasyon metotları, özellikle tasarım ve planlama konularında dikkat çekti. Uğur, 2017 yılında sunduğu bir çalışmada, spesifik bir optimizasyon yöntemi ile, inşaat projelerinde proje müdürü seçimi yapılabileceğini öne sürmüştür [84]. Ona göre, bir proje müdürü inşaat projelerinde dikkat edilmesi gereken en önemli kriterlerden biridir ve seçiminde bir sürü nitelik değerlendirilmelidir. Projeye has gerekli nitelikleri maksimize eden birinin seçilmesi, daha projenin başında verilecek hayati bir karar mahiyetindedir. Bu yüzden nitel ve nicel faktörleri birlikte değerlendirme gerekliliği, değerlendirilecek çok sayıda özelliğin olması gibi çok kriterli karar

vermeyi gerektiren durumlarda optimizasyon yaklaşımı kullanmak sayısal bir şekilde problemi çözmeyi başarılı kılacaktır. Dillen ve arkadaşlarının ise 2020 yılında yaptığı vaka analizinde amaç pratik bağlamda yapısal optimizasyonun fizibilitesini ve potansiyelini gerçekçi bir test senaryosu aracılığıyla araştırmaktı [85]: Gent kentindeki pazar binasının çatı yapısı, bir çelik firması tarafından tasarlandı ve 2012'de tamamlandı. Gent Pazar Salonu çatısındaki elemanların kesitleri, ilgili tüm Eurocode kısıtlamaları ve teknik gereklilikler dikkate alınarak optimize edildi ve böylece gerçekçi bir tasarım durumu simüle edilmiş oldu. Pazar salonunun analizine yönelik kaynak kodu, kıyaslama problemi olarak hizmet edecek ek materyal olarak MATLAB'a sunuldu. Orijinal tasarıma göre %15 daha az çelik kullanan ve aynı zamanda ilgili tüm kısıtlamaları karşılayan optimize edilmiş bir tasarım elde edildi ve malzeme tasarrufları, malzeme maliyetleri ve yerleşik karbon emisyonları açısından eşdeğer azalmaların mümkün olduğu söylendi. Aynı zamanda, zaman alıcı yapısal elemanların boyutlandırılması sürecinin otomatikleştirilerek uzun zaman alan mühendislik hesaplamalarının daha kısa sürede yapılıp iş verimi elde etmek de bu araçla mümkündür.

Optimizasyon yöntemlerinin proje performans kriterlerinden zaman, maliyet, kalite ve iletişim yönetimine pozitif etkisi olacağı verilen çalışmalardan aşikardır. Elde edilen verileri ve tasarımları, analizleri, kaynakları referans alarak karşılaştıran ve ideal yolu bulan bu araç, proje aşamalarında planlama, izleme kontrol etmeden kapanışa kadar seçilen herhangi bir yolu optimize etmeye yaracak, proje paydaşlarına süreçler boyunca herhangi bir problemde yol gösterecektir. Simülasyonlarla maliyeti azaltacak yolları bulması hem bütçe ortaya çıkacak ekstra problemlerden oluşacak zaman kayıpları ile ilgili riskleri yönetmede yardımcı olacaktır. Literatür taramasına göre, bu araçlar ne kadar gelecek vadetse de daha kullanımını anlamak için daha fazla vaka çalışmalarına ihtiyaç vardır.

2.2.1.10 Telefon, Tablet Uygulamaları

Telefon ve tablet uygulamaları, geniş bir yelpazede kullanım alanlarına sahiptir ve birçok sektörde farklı ihtiyaçları karşılamak için tasarlanmıştır. Örneğin inşaat sektörü için saha ziyaretlerini kolaylaştıran ve hareket halinde işlerin tamamlanmasını sağlayan uygulamalardır: AUTOCAD çizimlerini görüntülemeyi, oluşturmayı ve düzenlemeyi sağlayan DWG görüntüleme uygulaması, e-fatura, beton hesaplayıcı uygulamalar vb. Mobil uygulamalar, iş süreçlerini optimize

etmek, müşteri deneyimini geliştirmek ve genel kullanıcı memnuniyetini artırmak için bir araç olarak yaygın bir şekilde benimsenmektedir.

1973 yılında Motorola tarafından ilk el telefonunun icadının ardından, akıllı telefon olarak kabul ettiğimiz teknolojinin ilk versiyonu 1992 yılında IBM (International Business Machines)[7] tarafından icat edildi. Simon Personal Communicator (ya da sadece IBM Simon) olarak adlandırılan bu cihaz, 1994 yılında satışa sunuldu ve on binlerce kişi tarafından satın alındı. Cep telefonları 90'lı yıllarda ve 2000'li yılların başında oldukça popüler hale geldi. Özellikle 3G ve 4G/4G LTE arasındaki kablosuz ağlar geliştikçe teknoloji klasik cep telefonlarından akıllı telefonlara kaydı. Bugün 5G her zamankinden daha fazla hız ve güvenilirlik sunmaktadır [86].

Telefon ve tablet uygulamalarının inşaat sektöründe kullanımı da telefonlara ulaşılabilirliğin arttığı zamanlarda yani yine 1990-2000 yılları arasında başlamıştır. Telsiz büyüklüğünde olan telefonlar başta sadece haberleşmek için kullanılıyordu. Daha sonra 2010 yıllarında saha içi arama ile haberleşmek basit bir iletişim aracından, telefonlara kamera eklenmesiyle, uygunsuzluk ve iş kazalarının bildirilmesine kadar genişledi. Örneğin Dzeng ve arkadaşları, 2014 yılında yaptıkları çalışmada vücuda yerleştirilen sensörlerden telefona veri aktarılabileceği ve bunun da iş sağlığı ve güvenlik konularında şantiyede düşme, ani hareketler vb. olayların anında bildirilebileceği ile ilgili bir çalışma yaptı [87].

Sektörde en çok kullanılan AutoCAD programının çizimleri, DWG dosyaları, cep telefonlarında ilgili aplikasyonlar indirildiğinde kolayca açılmaktadır. Hareket halinde erişim ile, imalatı teslim alacak kalite mühendisinin ya da imalat sırasında kontrol yapan saha mühendisinin cep telefonundan imalatın çizimlerini ve detaylarını görmesi mümkündür. İnşaat hesaplamalarını kolaylaştıran uygulamalar, hataları azaltabilir ve inşaat mühendislerinin sahada daha verimli çalışmasına yardımcı olabilir. Mobil finans uygulamaları, saha personelinin giderleri takip etmesini, faturalandırma süreçlerini hızlandırmasını ve maliyetleri etkili bir şekilde yönetmesini sağlar. Aynı zamanda, kurumsal kaynak yönetimi araçları, SAP gibi uygulamalara da cep telefonundan ulaşılabilmektedir [88]. Tüm bu örnekler ile bu araçların, proje yönetimi uygulamaları ve sahadaki ekipler arasında iletişimi kolaylaştırabildiği, proje ilerlemesini izlemek için gerçek zamanlı verilere erişim

[7]IBM (International Business Machines; Uluslararası İş Makineleri), merkezi Armonk, New York, ABD'de olan, dünyanın en büyük bilişim teknolojisi şirketlerinden biridir [89].

sağlayabildiğini, proje aşamalarında proje yönetimini ve takibini mümkün kıldığı görülmektedir. Sahadaki ekipler arasında hızlı ve etkili iletişim, karar alma süreçlerini hızlandırabilir, proje risklerini azaltabilir ve genel performansı arttırabilir. Mobil uygulamalar, sahadan toplanan verileri analiz edip raporlamayı kolaylaştırarak, proje performansının değerlendirilmesine ve gelecekteki projeler için stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olabilir. 5G teknolojisi, daha hızlı veri transferi sağlayarak sahadaki ekiplerin istedikleri verilere ya da diğer çalışanlara anında ulaşım imkânı sunar. Bu da iş süreçlerinin daha hızlı ve verimli bir şekilde yürütülmesine olanak tanır. İletişim yönetiminin kritik rol oynadığı inşaat sektöründe, bu araçlar sadece saha içinde değil, saha dışında, hatta uluslararası çalışan ve yurtdışında işler yapan şirketlere mobil uygulama kullanımı bütün projelere olan hakimiyetinin arttırılmasında yardımcı olur. İletişimsizlik ve zaman kayıpları riskleri bu uygulamalar ile böylece azaltılır. Bu uygulamalar projenin bütün aşamalarında kullanılabildikleri için proje boyunca teknik ve sosyal risklerin yönetilmesinde ayrıca aktif rol oynarlar.

2.2.1.11 Robotik Uygulamalar

AutoCAD çizimleri ve giderek artan oranda insansız hava araçları ile modern şantiye, daha 20 yıl öncesinde öngörülmeyen bir şekilde bilgi toplayan, sahaları izleyen ve ilerlemeyi raporlayan dijital aksesuarlarla dolmuştur [90]. Robotik araçlar, işçiler tarafından manuel olarak kullanılabildiği gibi otomatik, uzaktan kullanım ve yönetim ile de çalışabilmektedirler. Şantiye dışı inşaatın ilk örnekleri, MÖ 3. yüzyılda Çin'de Terracotta Ordusu'nu inşa etmek için kullanılan prefabrikasyon tekniklerinden 1920'lerde Berlin'de konut için şantiyede monte edilen prefabrik panellere kadar 2000 yıldan fazla bir aralıkta yer alıyor. Ancak robot teknolojisine sahip modern inşaat otomasyonu, ilk endüstriyel robotların 1950'lerde icat edilmesi ve otomotiv endüstrisinin 1960'lı yıllarda bunları faaliyete geçirmesine kadar henüz yaygınlaşmamıştı. Fabrika otomasyonu endüstriyel dünyaya yayıldıktan sonra inşaat robotları 1960'larda ve 1970'lerde ortaya çıkmaya başladı. Yaşlanan nüfus ve ilgisiz genç işçiler nedeniyle inşaat işçisi sıkıntısıyla karşı karşıya kalan Japonya, 1970'lerde ve 1980'lerde inşaat otomasyonu ve robot biliminde yenilikler yaptı: malzeme taşıma, beton dökme, toprak işleri yapma, aşırı sıcak koşullarda çalışabilme, inşaat demiri yerleştirme gibi işler için robotlar ve uzaktan kumandalı makineler üretti [91].

Büyük Japon inşaat firmaları, yüksek katlı yapılar için yerinde fabrikalar kurdu. Bu inşaat sistemleri, bileşenlerin zamanında teslimini, otomatik parça takibi ve malzeme taşımayı, robotik bağlantı ve montajı; kapalı veya yarı kapalı bir ortamda merkezi kontrolü içeriyordu. Sistemlerin daha iyi çalışma koşulları sağladığı (hava koşullarından bağımsız) ve proje tamamlanma süresini kısalttığı bildirildi. Diğer faydaları arasında artan üretkenlik ve kalite yer alır, ancak genel olarak inşaat maliyetlerini düşürdükleri söylenemez [92] [93] [94]. Şantiyelere robotik bilim dalının entegre edilmesi, hava şartlarından etkilenip çalışmanın ertelenmesi ve buna bağlı oluşacak zaman kaybı risklerini önler. Milimetrik hesapların bile kolay yapılabilmesi ve seri üretim ile hesap hataları ya da üretim kaynaklı imalat hataları riskleri de azaltılmış olur. Aynı zamanda tehlikeli işlerin robotlar tarafından gerçekleştirilmesi, iş güvenliği risklerini azaltır.

2.2.1.12 Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin İnterneti (IoT), fiziksel cihazların ya da nesnelerin, internet üzerinden birbirleriyle ve kullanıcılarla etkileşimde bulunma kabiliyetini ifade eden bir konsepttir. Bu cihazlar, sensörler, yazılım ve bağlantı özellikleriyle donatılarak, veri toplama, iletişim kurma ve belirli görevleri yerine getirme yeteneklerine sahip hale gelirler. Nesnelerin İnterneti, birçok sektörde çeşitli avantajlar sunmakta olup, farklı endüstrilerde farklı kullanım alanlarına sahiptir. IoT tek başına somut bir teknolojik araç olmaktan ziyade, aslında birçok aracın bizzat içindedir. Örneğin, giyilebilir teknolojilerin saha ve ilgili kişilere eşzamanlı veri aktarımı sağlaması da bir nesnelerin interneti kullanımına örnektir.

Nesnelerin İnterneti tarihi, internetin doğduğu 1989 yılına kadar uzanmaktadır. Trojan Room kahve cezvesi[8], bu türün ilk uygulamalarından biri olarak kabul edilir. 1990 yılında John Romkey, ilk internete bağlı cihazı olan bir tost makinesi yarattı. WearCam, 1994 yılında Steve Mann tarafından icat edildi ve 64 işlemcili bir sistem kullanarak neredeyse gerçek zamanlı performans sağladı. Paul Saffo, 1997 yılında sensörler ve gelecekleri hakkında ilk kısa açıklamayı yaptı. Nesnelerin İnterneti terimi, 1999 yılında MIT AutoIDCentre'ın yürütücü direktörü Kevin Ashton tarafından ortaya atıldı. Aynı yıl, küresel RFID tabanlı bir ürün tanımlama sistemi

[8]Trojan Room kahve cezvesi, İngiltere'deki Cambridge Üniversitesi Bilgisayar Laboratuvarı'nda bulunan bir kahve makinesiydi. 1991 yılında Quentin Stafford-Fraser ve Paul Jardetzky tarafından oluşturulan bu cihaz, 1993 yılında laboratuvar ağlarından web'e taşınarak dünyanın ilk web kamerası oldu.

de icat edildi. IoT'yi ticarileştirmekte önemli bir adım olarak, 2000 yılında elektronik devi LG, içindeki gıda maddelerinin yeniden doldurulup doldurulmadığını kendi belirleyebilen bir akıllı buzdolabı planı açıkladı. 2003 yılında RFID, ABD ordusunun Savi programında büyük ölçekte kullanıldı. Aynı yıl, perakende devi ünlü Amerikan market zinciri Walmart, tüm mağazalarında RFID'yi daha geniş bir şekilde kullanmaya başladı. 2005 yılında The Guardian, Scientific Amerikan ve Boston Globe gibi yayınlar, IoT ve gelecekteki gelişmeleri hakkında birçok makale yayınladı.

2008'de bir grup şirket, "akıllı nesneler" ağlarında İnternet Protokolü'nün (IP) kullanımını teşvik etmek ve Nesnelerin İnternet'ini mümkün kılmak amacıyla IPSO (Internet Protocol for Smart Objects) Alliance'ı kurdu. Daha sonra Cisco, IBM, Ericsson gibi büyük BT (Bilişim Teknolojileri) şirketleri, IoT ile ilgili eğitim ve ticari girişimlerde bulundu [95].

1990'ların ortalarından itibaren, inşaat sektöründe bilgisayarlar ve yazılımların kullanımı artmaya başladı. İlk aşamada, proje yönetimi, tasarım ve belgeleme gibi işlemlerde bilgisayar tabanlı çözümler kullanılmaya başlandı. Ancak, bu dönemde internetin yaygın kullanımı henüz söz konusu değildi. 2010'a doğru literatürde sözünden bahsettirmeye başlayan Nesnelerin İnterneti aracının, örnek olarak 2007 yılında sürdürülebilir inşaat için RFID teknolojisinin, bina bileşenlerinin ve montajlarının etiketlenmesini, bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanılmasını ve binalar ile sanal modeller arasında bilgi alışverişini kolaylaştırmak için kullanılmasıyla ilgili bir çalışma yapıldı [96]. Burada amaç, binalarda ve altyapıda tüm yaşam değişikliğini kolaylaştırmaya uygun tasarım stratejilerinin geliştirilmesine ve uygulanmasına odaklanmaktı. 2015 yılında Dave ve arkadaşları, derin tedarik zincirleri ve bilgi entegrasyonu eksikliğinden kaynaklanan sorunlar nedeniyle, yaşam döngüsü boyunca bilgi akışının önemli bir zorluk teşkil ettiğini belirtip, üretim sürecinin kontrol mantığının tasarım aşamasından itibaren tek tek bileşenlere yerleştirildiği ürün merkezli bir sistem önerdi [97]. Çözümü, Yapı Bilgi Modellemesi, Nesnelerin İnterneti, Mesajlaşma Sistemleri gibi bir dizi teknoloji ve araç tarafından ve Yalın İnşaat'ın kavramsal süreç çerçevesinde sundular. [98], yeşil binalar için bir bina yönetimi bulut platformu sundu. Amaç bulut bilişim ve nesnelerin interneti teknolojilerini kullanarak bina operasyon yönetimi gerçekleştirmekti. İzleme, kontrol, veri işleme, yönetim ve hizmetlerinin

kişiselleştirilmesi gibi birçok fonksiyon bina yönetimi bulut platformuna entegre edilmişdi.

Bu örnekler, proje sürecinde Nesnelerin İnterneti'nin izleme ve kontrol aşamalarında sık sık kullanılabileceğini göstermektedir. Personel arasında bilgi akışı, personeli izleme, yapım aşamasından önce ve sonrasında binayı izleme, malzeme siparişlerini planlama ve yönetme, sensörlerle ekipmanın ya da makinelerin çalışıp çalışmadıklarını kontrol etme; çevre, iş sağlığı ve güvenliğini izlemek gibi avantajları vardır. IoT'un eş zamanlı veri aktarımı, projede iletişimsizlikten kaynaklanan iletişim sorunları ve malzeme, teslimat ya da imalat hataları gibi kalite güvence ve kalite kontrol sorunları gibi birçok riski yönetmede yardımcı olacaktır.

2.2.1.13 Artırılmış, Sanal, Karma Gerçeklik

Artırılmış Gerçeklik (AR), gerçek dünya ortamına bilgisayar tarafından üretilen sanal bilgilerin eklenmesini sağlayan bir teknoloji türüdür. AR, genellikle mobil cihazlar veya özel gözlükler aracılığıyla deneyimlenir. Örnek olarak, AR uygulamaları kullanıcıya gerçek dünya görüntüsü üzerinde bilgi ekleyerek, çevresel bilgileri veya görsel öğeleri açıklayabilir.

Sanal Gerçeklik (VR), kullanıcıyı tamamen farklı bir sanal ortama taşıyan bir teknoloji türüdür. VR, genellikle özel VR gözlükleri kullanılarak deneyimlenir. Kullanıcı, sanal dünyaya tamamen dalar ve bu ortamı etkileşimli bir şekilde deneyimler. VR, eğlence, eğitim, sağlık, askeri eğitim gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Karma Gerçeklik (Mixed Reality veya MR), sanal ve gerçek dünya öğelerini birleştiren bir teknolojiyi ifade eder. MR, AR ve VR'nin bir kombinasyonunu sunarak kullanıcılara hem gerçek dünya hem de sanal öğelerle etkileşimli bir deneyim sağlar. MR, kullanıcının gerçek dünya ile bütünleşmiş bir şekilde sanal nesnelerle etkileşimde bulunmasını sağlar. Microsoft HoloLens gibi cihazlar, karma gerçeklik deneyimini sağlayan örneklerdir.



Şekil 2.14 Sahada Artırılmış Gerçeklik [99]

1990'lı yıllarda adını duyurmaya başlayan artırılmış, sanal ve karma gerçeklik teknolojileri, özellikle son 20 yılda yarı iletken ve fotonik endüstrilerindeki yeni yenilikler sayesinde tüketici kullanımında kitlesel olarak benimsendi [100].

İnşaat literatürüne bakıldığında ise, 2005 yılında Michigan Üniversitesi'nde doğal ve insan kaynaklı (deprem, patlama) felaketlerin ardından binalardaki hasarı hızlı bir şekilde değerlendirmek amacıyla yeni bir keşif teknolojisi tasarlanması ve uygulanması üzerine bir çalışma yapıldı. Tasarlanan teknoloji, saha hasar denetçilerinin önceden depolanmış bina bilgilerini almasına, bu bilgileri artırılmış gerçeklikte gerçek bir binanın üzerine yerleştirmesine ve hasarı, yapı bütünlüğünü ve güvenliği değerlendirmesine olanak tanıması amacı ile yapılmıştır. Ayrıca, gerçek bina görüntüsünden gelen geri bildirim kullanılarak yapısal analiz modellerini güncellemek ve kritik yapısal elemanların başarısız olması durumunda bir binanın nasıl çökebileceğini veya binanın istikrarının nasıl arttırılabileceğini keşfetmek için detaylı "ne olurdu" simülasyonları yapmak da mümkün kılınmıştır. Bu da hasar değerlendirme analizlerinin sahada, gerçek zamanlı ve çok düşük maliyetle gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. Bina hasar ölçülerinin hızlı bir şekilde hesaplama yöntemine dayanması, projelerde bu teknolojinin kullanılmasının hasara bağlı riskleri azaltacağını, sahadan eş zamanlı bilgi alarak iletişimsizlik risklerini azaltmakta önemli ölçüde yarar sağlayacağını kanıtlamıştır

[101]. Yine aynı yıl, mobil altyapı yönetim sistemlerinin ileride, saha çalışanlarına (örneğin, inşaat şefleri ve köprü denetçileri) mobil ve giyilebilir bilgisayarlar kullanma imkanı tanıyacağı; çalışanların altyapının coğrafi referanslı uzamsal modelleri ile etkileşimde bulunabilecek ve konumlarına, yönelimlerine ve belirli görev bağlamına dayanarak gerçek zamanlı olarak gerekli bilgileri otomatik olarak alabileceklerini öne sürülmüş, bunun da Artırılmış Gerçeklik sistemlerini kullanarak mümkün olacağını ifade edilmiştir [102]. Bu konu üzerine yapılan çalışmada, bu sistemlerde, saha çalışanları, görevleriyle ilgili bilgilere minimum çaba harcayarak erişebileceğini ve bunları güncelleyebileceğini, bunun da verimliliklerini ve potansiyel olarak güvenliklerini artıracağı belirtilmiştir. Behzadan ve Kamat ise 2009'da yaptığı çalışmada, şehir inşaat projelerinde iş güvenliğini artırmak için inşaat ekipmanı operatörlerinin görsel algısını geliştirmek amacıyla gelişmiş görselleştirme ve takip teknolojilerinin uygulanabilirliği tartışmışlardır [103]. 2014'te'nin yayınlanan Zollmann vd.'nin makale çalışmasında, inşaat sahasındaki ilerleme bilgilerine hızlı ve anlaşılır erişim sağlama ihtiyacına odaklanarak, AR'nin bu görevleri nasıl destekleyebileceği açıklanmıştır [104]. AR'nin, kullanıcıların bilgiye ihtiyaç duydukları yerde doğrudan erişim sağlayarak, bilgi arama ve haritalama süreçlerini kolaylaştırabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, makalede öne çıkan bir yaklaşım, havadan 3D rekonstrüksiyon kullanarak ilerleme bilgilerini otomatik olarak yakalamak ve mobil AR istemcisini kullanarak saha içi görselleştirme sağlamaktı. Bu yaklaşım, inşaat sahasındaki gerçek zamanlı bilgileri kullanıcıya aktarmayı amaçladı. Bu sayede, AR teknolojisinin inşaat endüstrisindeki kullanımının artırılması ve geliştirilmesine katkıda bulunulması hedeflendi. (AR) kullanımı, BIM ile de incelenmiştir. 2019, Chai vd., Malezya, Mısır, Suudi Arabistan ve Türkiye olmak üzere dört ülkede anket çalışması yaptılar [105]. Bu dört ülke arasında AR-BIM benimseme davranışının karşılaştırılması yapıldı. Bulgular, AR'nin inşaat endüstrisinde benimsenmesinin önündeki engeller çözüldüğünde büyük potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

İnşaat alanındaki birçok araştırmacı, artırılmış gerçeklik (AR) kullanımını ve endüstri üzerindeki etkisini keşfetmiştir. Günümüzde El Kassis vd.'nin araştırmasına göre ise önceki çalışmalar, inşaat endüstrisinde AR için potansiyel kullanımları göstermiştir [106]. Ancak, AR'nin senkronize iletişimi nasıl

desteklediğini keşfeden kapsamlı eleştirel bir inceleme hala eksiktir. Bu makale, literatürde tanımlanan eğilimleri inceleyerek ve hem faydalı hem de zorlayıcı özellikleri analiz ederek bu boşluğu doldurmayı amaçladı. Bulgular, gelecekteki araştırmacılara ve uygulayıcılara değer sunan, AR'yi sürekli olarak değer sağlayacak şekillerde eş zamanlı iletişim için kullanmalarına rehberlik eden değerli bir kılavuz sağladı.

2.2.1.14 Bulanık Mantık, Monte Carlo

Bulanık mantık, kesin sınırların belirsiz olduğu durumlarla başa çıkmak amacıyla geliştirilmiş bir matematiksel modelleme ve kontrol sistemleri yaklaşımıdır. Bu yöntem, doğal dilde ifade edilen belirsizlikleri ve belirsiz bilgiyi ele almak için kullanılır. Bulanık mantık, "kesin doğru" veya "kesin yanlış" değerler yerine, belirli bir derecede gerçekleşme olasılığını ifade eden bulanık (fuzzy) kümelerle çalışır. Bu, karar verme süreçlerinde belirsizliği daha iyi yönetmek için kullanılır. Bulanık mantığın, otomasyon, yapay zekâ, kontrol sistemleri ve karar verme gibi birçok alanda uygulaması bulunmaktadır. Monte Carlo yöntemi, rastgele sayı üretimi ve istatistiksel analiz kullanarak belirli bir problemi çözmek veya sonuç elde etmek için kullanılan bir matematiksel tekniktir. Bu yöntem, kesin analitik çözümlerin zor veya imkansız olduğu durumlar için uygundur. Monte Carlo yöntemi, rastgele örneklemeleri kullanarak olasılık dağılımlarını, entegralleri ve optimize edilmiş çözümleri tahmin etmek için kullanılır. Finans, fizik, mühendislik, istatistik ve operasyonel araştırmalar gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, büyük miktarda veri ve karmaşık problemleri ele almak için oldukça etkili bir araçtır.

Bulanık mantık terimi ilk olarak Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında “Information and Control” dergisi için yayınlanan bir makalede önerildi. "Bulanık Kümeler" başlıklı makalesinde Zadeh, bilgi işlemde kullanılan veri türünü yansıtmaya çalıştı ve bu tür kümeler için temel mantıksal kuralları türetmeye çalıştı. O zamandan bu yana bulanık mantık, makine kontrol sistemlerinde, görüntü işlemede, yapay zekada ve belirsiz yorumlamaya sahip sinyallere dayanan diğer alanlarda başarıyla uygulandı.

Bulanık mantık ve makine öğrenmesi aynı kategoride tutulsalar da aynı araçlar değillerdir. Makine öğrenimi, insan bilişini taklit eden hesaplama sistemlerini

oluşturmak için algoritmaları tekrarlı bir şekilde uyarlayarak karmaşık sorunları çözmeyi amaçlar. Bulanık mantık ise kesin olmayan veri kümeleri üzerinde çalışabilen bir dizi kural ve işlev içerir; ancak her iki alanda da algoritmaların insanlar tarafından kodlanması gerekmektedir. Her iki alan da yapay zeka ve karmaşık problem çözme konularında geniş uygulamalara sahiptir [107].

İnşaat sektöründe bulanık mantık, belirsiz ve karmaşık bilgilerle başa çıkmak, karar verme süreçlerini optimize etmek ve sistematik hataları azaltmak amacıyla kullanılır. Bu alandaki uygulamalar genellikle risk değerlendirmesi, kaynak yönetimi, inşaat süreç yönetimini, kalite kontrol ve karar verme süreçleri konularını kapsar. Bu araç, inşaat sektöründe, ortaya atılışından 30 yıl sonra yani 1990'lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Vaka çalışmalarıyla denenerek ihale ve teklif süreçlerindeki belirsizliklerin değerlendirilip risklerin azaltılmasında (1992) [108], ya da risk olaylarından kaynaklanan parasal kaybın, belirsizlikler nedeniyle dikkate alınmaması veya küçümsenmesi durumunda bir inşaat işletmesinin proje risk analizi ve fiyatlandırılması için bir risk fiyatlandırma yöntemide kullanılması önerildi (1993) [109]. Bu yıllarda bulanık mantığın farklı belirsizlik durumlarında karar vermeyi kolaylaştırma özelliği maliyet performans kriterindeki riskleri azaltmak için kullanılmıştır ve farklı kriterleri bir arada değerlendirmesinin proje maliyetini azalttığı gözlemlenmiştir. Choi vd., yeraltı inşaat projelerinde kullanılmak üzere geliştirilen bir risk değerlendirme metodolojisini tanıtarak, resmileştirilmiş bir prosedür ve bulanık mantık temelli risk analizi yazılımını içeren araçları sundu [110]. Önerilen metodoloji, inşaat projelerinin doğasındaki belirsizlikleri dört adımda tanımlama, analiz etme, değerlendirme ve yönetme süreçlerini içermiştir. 2004 yılında Kore'de bir yeraltı projesinde değerlendirilen bu araştırma, bulanık mantık entegre edilerek yapılan bir risk analizi yazılımının şirketlerin süreçleri esnek ve kolayca yönetmesi ve belirsiz durumlarda karar almalarında yardımcı olabileceği görüldü. Günümüze kadar kullanımı ve popülaritesi artan bulanık mantık, yönetimsel süreçleri desteklemek için hiyerarşik ölçümlerde kullanılmasından bütçe aşımlarının çoklu kriter karar destekleriyle risklerinin analiz edilmesine kadar kullanılmaktadır.

Özetle bu araç, içinde oldukça belirsizlik barındıran inşaat sektöründe, proje performans kriterlerinden bütçe planlaması kapsamında ve maliyeti azaltma çalışmalarında veyahut çok fazla kesin olmayan fikrin analiz edilerek zaman

kayıplarını önlemede, proje aşamalarında yönetimsel çatışmaların çıkabileceği teklif ya da kapanış süreçlerinde birçok farklı araçla entegre edilerek, sorunların çözümüne katkı sağlamakta oldukça etkili olabilir.

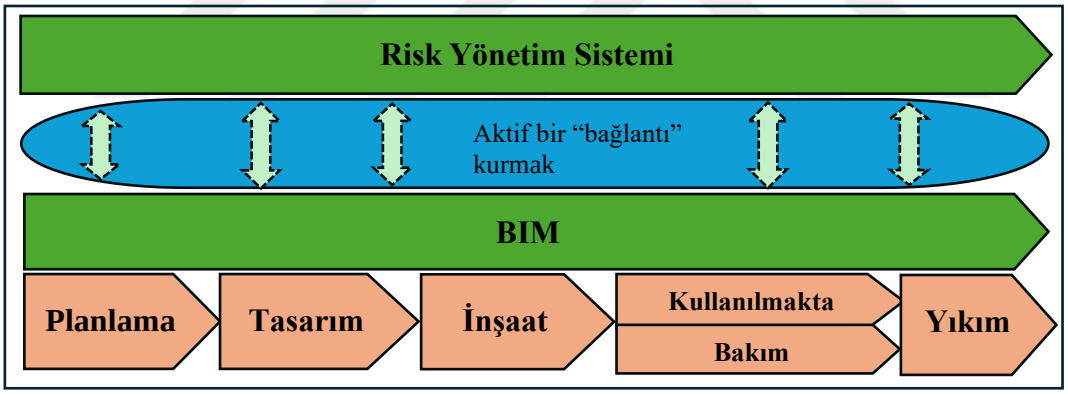
2.2.1.15 Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)

Sektörde son yıllarda özellikle kullanılan teknolojik araçlarda, çoğu inşaat mühendisinin duyduğu ya da kullandığı, BIM gelmektedir. BIM kavramı 1970'lerden beri var olmuştur. Binaları modellemek için geliştirilen ilk yazılım araçları 1970'lerin sonlarında ve 1980'lerin başlarında ortaya çıktı [111]. İlk uygulamalar ve bunları çalıştırmak için gereken donanımın pahalı olması ve bunun da bu aracın yaygın olarak benimsenmesini sınırlarken [112], günümüzde erişimi daha kolay hale gelmiştir.

Bilgi Yönetimi teknolojileri kullanımı 1990'ların sonunda yükseldi. Bu eksen boyunca BIM, iş akışlarının çeşitli aşamaları için destek sağladı: ilk tasarım, detaylandırma, tasarım doğrulama ve inşaat dokümantasyonu gibi [113]. Son yıllarda, AEC (Architecture, Engineering, Construction) endüstrisindeki sorunları araştırmak ve çözmek için temel bir süreç olarak BIM, özellikle tasarım ve planlama aşamalarında yaygınlaştı [114] [115] [116]. BIM, kullanıcıların büyük projeleri yönetmek ve iletişimi geliştirmek için kullandığı bir araç olarak proje yaşam döngüsü boyunca çok boyutlu parametrik modelleri kullanmalarına olanak tanır. BIM, projenin her aşamasında önemli bir rol oynayarak risk yönetiminde etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Örneğin, tasarım aşamasında, bilgisayar animasyonu ve 3D modelleme ile müşteriler tarafından projenin fiziksel anlamda daha iyi anlaşılmasını sağlayarak daha bilinçli kararlar alınmasına imkan tanır. Bu sayede, erken aşamalarda çatışmalar ve hatalar belirlenerek insan hataları ve gözden kaçırmalar önemli ölçüde azaltılır. İnşaat aşamasında, bulut bağlantı yetenekleri sayesinde proje bilgileri herkesin erişimine açık hale gelir, bu da sürekli güncellenen bilgilerle tüm proje üyelerinin zamanında ve etkili bir şekilde bilgilendirilmesini sağlar. İşletme aşamasında ise BIM, maliyetleri azaltmak ve verimliliği artırmak için gerçek performans ile tahmin edilen performans arasındaki farkları analiz etmeye olanak tanır. Böylece, BIM proje sürecinin başından sonuna kadar riskleri azaltarak, projenin başarıyla tamamlanmasına katkı sağlar [117]. BIM, sistematik bir risk yönetimi aracı ve bir veri oluşturucu olarak hizmet ederek, geniş kapsamda risk analizi için çeşitli BIM tabanlı araçlara olanak tanıyarak

verimliliği artırmaya yönelik bir çözüm olarak önerilmektedir. Gelişmekte olan bir alan olması sayesinde, BIM tabanlı risk yönetiminin gelecek için önemli bir potansiyele sahip olduğu ve AEC endüstrisindeki ilerlemeler için fırsatlar sunduğu bilinmektedir. Bu yüzden BIM'in sektöre ve diğer dijital araçlara entegre edilmesi üzerinde daha çok çalışma yapılması önerilmektedir [118].

Yapılan bir bilimsel çalışmada kuruluşların beş vaka çalışması incelendi ve BIM'in idari ve inşaat projelerini desteklediği ortaya çıktı. Elde edilen bulgulara ve sunulan tartışmalara dayanarak projenin amaçlarına ulaşmada BIM'in oldukça etkili olduğu söylenebilir. BIM ayrıca, proje risklerini yönetmek için önemli bir modelleme aracıdır [119]. Zou vd., 2015'te BIM'in Risk Yönetimi araçları ile aktif bir bağlantı içerisinde olmadığını ve bu konudaki açıklığa bir çözüm sunmak için bir doktora çalışması kapsamında köprü projelerinin risk yönetimini tasarım ve inşaat süreçlerinde desteklemeyi baz alarak BIM ve Bilgiye Dayalı Risk Yönetim Sistemi (Knowledge Based Risk Management System) aracı geliştirilerek bunun incelenmesi üzerine bir çalışma yaptı [120]. Amaçlanan bağlantıyı (Şekil 2.15) görselleştirdiler.



Şekil 2.15 BIM-based Risk Management: Challenges and Opportunities

Literatür araştırmalarına göre BIM'in AEC sektörüne bugünden daha güçlü ve etkili bir risk yönetimi sağlayacağı konusundaki şüpheler ortadan kalkmıştır. İnşaat sektöründe proje ve risk yönetimi açısından son derece faydalı olacak BIM'in potansiyeli giderek artmaktadır. Özellikle diğer araçlarla entegrasyonu ve projelerle uyumlu kullanımı, kullanıcı hatalarının ve sistemsel sorunların azaltılması üzerine yapılan çalışmaların artmasıyla birlikte, BIM'in sektördeki etkinliği ve kullanım alanı daha da genişleyecektir. BIM, proje yaşam döngüsünün tüm aşamalarında kullanılabileceği için, proje yöneticilerine ve planlama mühendislere tam yetkinlik sağlayacaktır.

2.2.1.16 Mekânsal Teknolojiler: GIS

Mekânsal teknolojiler, yerleşim ve uzaysal veri analizi, görselleştirme ve kullanımı için tasarlanmış teknolojik araçları ifade etmektedir. Bu teknolojik araçlar arasında, GPS (Global Positioning System), GNSS (Global Navigation Satellite System), Uydu Görüntüleme, Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ve uzaktan algılama gibi örnekler bulunmaktadır. Mekânsal teknolojiler, yerel ve küresel ölçekte çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır; bu da şehir planlaması, doğal kaynak yönetimi, acil durum müdahaleleri, taşımacılık planlaması, tarım ve çevre analizi gibi birçok uygulama alanını içermektedir.

GIS, mekânsal veri toplama, depolama, analiz ve görselleştirme amacıyla kullanılan bir teknoloji ve sistem bütünüdür. Coğrafi konuma dayalı verilerin entegre bir şekilde yönetilmesine ve analiz edilmesine imkan tanımaktadır. Bu teknoloji, harita oluşturma, coğrafi analiz, konum tabanlı hizmetler, doğal kaynak yönetimi, şehir planlaması, sağlık ve ulaşım planlaması gibi geniş bir uygulama yelpazesine yayılmaktadır. GIS sistemleri, karmaşık coğrafi sorunların çözülmesi, kararların alınması ve bilginin etkili bir şekilde iletilmesi için kullanılmaktadır. Bu bağlamda mekânsal veri analizi, harita üretimi ve konum tabanlı hizmetler gibi bir dizi işlevi içermektedir.

GIS'in tarihi, 1854 yılında Londra'da ortaya çıkan kolera salgınıyla başladı. İngiliz doktor John Snow, salgın yerlerini haritalandırarak coğrafya ile halk sağlığını birleştirdi ve Epidemioloji alanını başlattı. 1960'ta, Roger Tomlinson, Kanada'nın doğal kaynaklarını yönetmek için dünyanın ilk bilgisayarlı GIS'ini oluşturarak bu alandaki devrimin temellerini attı. 1965'te Howard Fisher'ın SYMAP yazılımıyla birlikte CBS kavramları şekillendi. 1981'de GIS ticarileşti ve Esri[9]'nin ARC/INFO ürünü, gerçek dünya problemlerini çözmek için geliştirilen sağlam bir GIS aracı olarak piyasaya sürüldü. Günümüze kadar GIS teknolojisi, dünya genelinde işletmeler ve hükümetler tarafından benimsenmeye devam etmektedir. Açık kaynaklı, kaynak kodu herkes tarafından erişilebilir bu yazılımların popüleritesi gün geçtikçe artmaktadır [121].

İnşaat literatüründe GIS kullanımı 1990'lı yıllarda görülmeye başlamıştır.

[9]Esri, 1969'dan bu yana coğrafi bilgi sistemi (GIS) yazılımı, konum zekâsı ve haritalama destekleri veren küresel bir şirkettir.

1994 yılında Cheng ve O'Connor'ın yaptığı çalışmada geçici inşaat tesisleri için otomatik bir site düzeni sistemi olan ArcSite'ın geliştirilmesine odaklanıldı [122]. Sistem, GIS ve veri tabanı yönetim sistemi (DBMS) entegrasyonu ile proje yöneticilerine uygun Geçici Tesis (GT) konumlarını belirleme konusunda yardımcı oldu. Bu örnekte, endüstri kuralları ve düzen modelleme alanındaki en son gelişmeler kullanılarak sezgisel bir algoritma ile GT için potansiyel siteler belirlendi. Sistem, inşaat programı ve tasarım bilgilerini entegre ederek kısa ve uzun vadeli GT düzenlemelerini mümkün kılarak mevcut yöntemlere kıyasla hesaplama çabasını önemli ölçüde azaltarak veri doğruluğunu ve tutarlılığını arttırdı. Sistemin proje performans kriterlerinden zaman kriterine azaltma yönünde etki edebileceği ve hesaplamada yanlışlık risklerini de azaltarak kalite ve maliyet konularında şirketlere avantaj sağlayacağı öne sürüldü. Öteki bir çalışmada (2001) ise amaç, hendek inşaatında, mühendislere görevlerinden biri olan inşaat maliyetini ve engelleri en aza indirmek için uygun bir rota seçmede yardımcı olmaktı. Çalışmada, yeraltı enerji tedarik sistemlerinin yönlendirme ve tasarım sürecini otomatikleştirmek amacıyla geliştirilen bir GIS tabanlı sistem ele alındı ve bu sistemde, yüzey ve yeraltı hizmetleri birkaç kapsamda temsil edilerek ve ağ analizi kullanılarak, hizmetlerin yönlendirilmesi için optimal yollar belirlendi. Çalışmada veritabanı sorguları ve mekânsal operasyonlar aracılığıyla, temel kapsamlar ile seçilen rota arasındaki inşaat çatışma noktaları sadece belirlenmekle kalmadı, aynı zamanda yeniden tahsis programı da belirlendi. Cheng ve Chang, bu da GIS'in kritik yol seçiminde de etkin olabileceğini, projelere zaman, iş sağlığı ve güvenliği, maliyet, zaman ve kalite konularında yardımcı olabileceğini, performansların izlenmesine olanak tanıyarak proje inşaatı boyunca yürütme ve kontrol etme aşamalarının etkin yürütülmesinde avantaj sağlayıp, teknik hataların ve İSG kazaları gibi risklerin önüne geçmede kullanılabileceğini öne sürmektedir [123]. Başka bir çalışma, GIS'in bina maliyet tahmini ve görselleştirmesi için potansiyelini araştırdı [124]. Ayrıca BIM ve coğrafi analizlerin, mekânsal ve zamansal veriyi entegre etmek ve sorgulamak için entegrasyonunun mümkün olduğu, bunun tasarım ve inşaat öncesi aşamalarda planlama sürecini yönetmek için önemli faydalar sunabileceği ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Ancak, bu entegrasyonun, coğrafi ve BIM alanları arasında yetersiz etkileşim kabiliyetinden muzdarip olduğu da belirtilmiştir [125].

2.2.1.17 Görüntü Yakalayan Teknolojiler

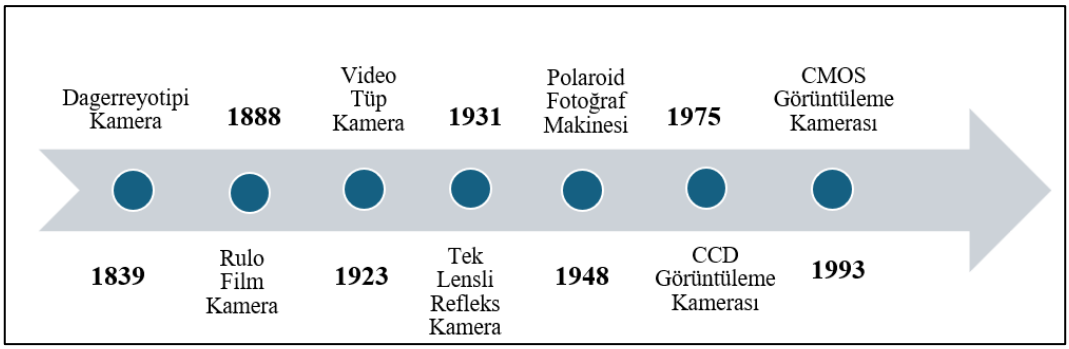
Görüntü yakalayan teknolojiler fotogrametri, video kamera, lazer tarama, lazer-radar (LIDAR/LADAR) gibi, çeşitli ortamlardan görsel verileri elde etmek ve kaydetmek için kullanılan teknolojik sistem ve cihazları ifade eder. Bu teknolojiler, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir ve çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır.

Görüntü yakalama teknolojilerinin evrimi, antik "Kamera Obscura"ya kadar uzanır; bu, bir duvar veya malzeme üzerindeki küçük bir delik aracılığıyla dış dünyanın bir görüntüsünü yansıtmak için kullanılan eski bir tekniktir. "Dagerreyotipi" kamera (1839), resmi olarak kameranın doğduğu yıl olarak kabul edilir ve fotografik görüntüleri kalıcı olarak bir levha üzerine yakalayan yeni bir işlemdi. "Roll Film Camera" (1888) ise George Eastman'ın yaratıcısı olduğu, tek bir kağıt rulonun 100 resmi tutmak için kullanıldığı ilk rulo film kamerasıydı.

"Video Kamera Tüpleri" (1923) ise Vladimir Zworykin'in icat ettiği, televizyon iletimi için görüntü yakalamak amacıyla kullanılan ilk pratik video tüp kamerasıydı. Ardından, "Single-Lens Reflex" (SLR) kameralar 1931'de ortaya çıktı ve özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra Japon modelleri ile popülerlik kazandı.

"Polaroid" kamera (1948), anında fotoğrafçılığı devrim yaratarak kullanıcılara anında film çekip geliştirmelerine olanak tanıdı.

"CCD Imaging Camera" (1975), dijital kameraların başlangıcını işaret etti; Steve Sasson tarafından geliştirilen bir prototip, Fairchild CCD (Yüklü Bağlantı Cihazı) sensörleri ve bir kamera lensi kullanarak siyah beyaz resimleri bir dijital kasete kaydetmek için 23 saniye süren bir süreci içeriyordu. Fairchild, bu CCD sensörünü geliştiren şirketti ve 1976'da ilk ticari olarak satışa sunulan CCD kamerasını üretti. "CMOS Imaging Camera" (1993) ise başlangıçta 1960'ların ikinci yarısında düşünülen bir çalışma prensibini kullanıyordu ancak cihaz, mikrofabrikasyon teknolojileri 1990'larda yeterince gelişene kadar ticarileştirilmedi. İlk CMOS sensörü, Eric Fossum'un liderliğindeki bir ekip tarafından NASA Jet Propulsion Laboratory'de 1993'te geliştirildi. CMOS sensörlerinin satışları 2007'de CCD sensörleri geçti. Günümüzde ise dijital kameralar ve cep telefonları çoğunlukla CMOS teknolojisini kullanmaktadır [126].



Şekil 2.16 Kamera teknolojilerinin kısa tarihi

İnşaat sektöründe 1970'li yıllarda ilk kez sahalarda görülmeye başlayan bu teknolojilerin 2000'li yıllarda kullanımı yaygınlaşmaya başladı. 2000 yılında Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nü (NIST), bir inşaat projesinde gerekli ölçümleri mevcut uygulamalara göre daha hızlı ve daha ucuz hale getirmek ve bunu mevcut operasyonları etkilemeden yapmak için inşaat sahasının lazer radar görüntülemesi üzerine çalıştı. Çalışma sonucunda inşaat sürecinin 3D yapım aşaması modelleri açısından gerçek zamanlı değerlendirme ve belgelemenin mümkün olabileceği ve insan müdahalesinin imkânsız olduğu tehlikeli ortamların değerlendirilmesi gibi uygulamaların mümkün olunabileceği vurgulandı. Bu uygulamadan belgelemelerin daha hızlı yapılabileceğini, iş kazalarının azaltılabileceği ve iletişim yönetimi konusunda risklerin azaltılabileceği çıkarılabilir. Cheok vd.'ye göre ise görüntü yakalayan teknolojiler ile proje aşamalarının başlangıcından bitişine kadar birçok süreci yürütmenin mümkündü [127]. 2008 yılında Cheng vd.'nin yaptığı araştırmanın amacı, aktif kızılötesi termografinin (infrared thermography, IRT) elastik dalga teknikleriyle nasıl birleştirilebileceğinin pilot çalışmasını yaparak, büyük bir yapının hızlı taranmasının ardından belirli bir küçük alanda elastik dalga taraması yapılarak gömülü kusurları olan beton plakaların termal görüntülerinin alınması ile çeşitli derinlik ve alanlardaki gizli kusurlarını bulmaktı [128]. Alınan elastik dalga sinyallerinin spektral analizlerine dayanarak kusurların derinliği kolayca çıkarıldığı, IRT'den toplanan bilgilerin ve elastik dalgaların birleşiminin, binanın dış cephesinin incelenmesi için etkili ve verimli bir süreç sağladığı öne sürülmüştür. 2010 yılında ise Son vd. yaptıkları ve saha üzerinde de test ettiği araştırmalarında, ağır ekipmanın çalıştırılması için 3D mesafe görüntüleme kamerasından alınan menzil verilerini kullanarak hızlı 3D nesne algılama ve modelleme çalıştılar [129].

Sonuçlar, önerilen yöntemle 3D modeller oluşturmanın yalnızca birkaç saniye sürdüğünü, otomatik nesne tespiti ile inşaat modellenmesi yapılmasının bu modeller ile mümkün olduğunu gösterdi. Böyle bir yöntemin benimsenmesi, yalnızca sahanın 3D grafiksel temsilini sağlamakla kalmayıp aynı zamanda bir inşaat sahasındaki mevcut koşulların mekansal analizini de mümkün kıldığından, ağır ekipmanın verimli çalışmasını kolaylaştırabileceği çıkarımını öne sürmüştür. Dinh vd., 2021 yılında beton muayenesi için en yaygın kullanılan teknolojilerden biri olan yere nüfuz eden radar (GPR) için çalıştı [130]. Bu teknolojinin sınırlaması, ham verilerinin karmaşık olması ve yalnızca GPR uzmanları tarafından anlaşılmasıydı. Dolayısıyla, bu çalışmanın nihai hedefi, çift kutuplu antenler tarafından toplanan GPR verilerini daha sezgisel üç boyutlu görüntüler biçimine dönüştürmek için etkili stratejileri araştırmaktı. Burada, betonarme döşeme numunesi üzerinde çalışıldı ve sonuçlar, tek bir tarama yönlü veri seti ile betonun doğru, yüksek çözünürlüklü 3D temsilini oluşturan çift kutuplu GPR sisteminin büyük faydasının olduğunu gösterdi. Daha da önemlisi, farklı polarizasyonla elde edilen 3D görüntülerin bir arada kullanılması, beton numunenin iç kısmının kapsamlı bir şekilde görselleştirilmesini de sağladı.

Görüntü yakalama teknolojileri, inşaat projelerinin izlenmesi ve yönetilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Günlük görüntüler sayesinde proje yöneticileri, işlerin plana uygun ilerleyip ilerlemediğini anlayabilirler. Ayrıca, proje dokümantasyonu süreci kolaylaştırılarak projenin farklı aşamalarındaki gelişmeler belgelenebilir. Aynı zamanda görüntü analitiği, kalite kontrolünü güçlendirebilir. Hata tespiti konusunda etkili olan bu teknoloji, olası kusurları hızlı bir şekilde tespit ederek düzeltici önlemlerin alınmasına olanak tanır, inşaat standartlarına uygunluğu değerlendirerek kalite konusunda güvenilir bir denetim mekanizması sağlar. Örneklerden de anlaşılacağı üzere görüntüleme teknolojileri, işçi güvenliği açısından tehlikeli durumları tespit edebilir ve güvenlik protokollerine uyulup uyulmadığını izleyebilir. Bu da iş kazalarının önlenmesine yardımcı olur.

Son olarak bu teknolojiler, iş süreçlerini analiz ederek verimliliği artırabilir ve zaman kayıplarını minimize edebilir. Aynı zamanda, ekipman ve malzeme kullanımını izleyerek maliyet etkinliğini artırır. Bu da projelerin belirlenen bütçe ve zaman çerçevelerine uygun bir şekilde tamamlanmasına katkı sağlar.

Görüntü analitiği, büyük veri setlerini analiz ederek projenin genel performansı hakkında derinlemesine bilgiler sunabilir. Bu veri odaklı yaklaşım, proje yöneticilerine daha iyi kararlar almaları için gerekli bilgileri sağlar. Ayrıca, görsel veriler aracılığıyla şeffaf raporlar oluşturarak paydaşlar arasındaki iletişimi güçlendirir.

Görüntü ve video paylaşımı, paydaşlar arasındaki iletişimi artırır ve projenin farklı aşamalarında daha etkili bir işbirliği sağlar. Bu, proje sürecinin daha koordineli ve başarılı bir şekilde yürütülmesine olanak tanır.

2.2.1.18 Makine Öğrenmesi, Yapay Zekâ

Makine öğrenmesi ve Yapay Zeka, bilgisayar sistemlerinin belirli görevleri gerçekleştirmek için algoritmaları kullanarak öğrenmesini ve zekâ benzeri işlevsellik sergilemesini sağlayan disiplinlerdir.

1950-1960 yılları arası makineler üzerine yoğunlaşan araştırmalar neticesinde Turing, Samuel, McCarthy, Minsky, Edmonds ve Newell gibi öncüler, Turing testi, ilk yapay sinir ağı ve yapay zeka ile makine öğrenme terimlerini tanıttılar. 1960'larda Stanford arabası, Eliza (ilk sohbet botu), Shakey (ilk mobil akıllı robot) ve derin öğrenme temelleri geliştirildi. 1970'ler ve 1980'ler, desenleri tanıyan programları, doğal seçime dayalı sorun çözme yeteneklerini ve önemli olmayan bilgileri atmak için kurallar oluşturan programları vurgularken, 1990'lar tavla ve satranç oynayan programlar geliştirdi.

2000'ler, IBM Watson'ın Jeopardy şampiyonlarını mağlup etmesi, kişisel asistanların yükselişi, üretilen karşıtlıklı ağlar, yüz tanıma ve deepfake'lerin ortaya çıkışı gibi önemli gelişmeleri getirdi. Zaman çizgisi, Microsoft'un Kinect'i, Kaggle'ın makine öğrenme yarışmaları için başlatılması ve derin öğrenme mimarilerinin tanıtılması gibi çığır açanlarla 2010'lara uzandı. Son yıllarda, OpenAI'nin GPT-3 ve GPT-4 çoklu model dil modellerinin tanıtılması, Microsoft'un Turing Doğal Dil Üretim modelinin çıkması, GoogleAI'nin radyologları akciğer kanseri konusunda geçme yeteneğini aşan derin öğrenme algoritması ve OpenAI'nin 2022'nin kasım ayında ChatGPT'yi tanıtması gibi gelişmeler dikkat çekti. Günümüzde çok daha hızlı ve akıl almaz gelişmelere imza atan bu teknolojilerin, etik-ahlak konularında da eleştirilere mağruz kaldığı görülmektedir [131].

Makine öğrenmesi, inşaat sektörü literatüründe son zamanlarda çokça gündeme gelen ve araştırmalara dahil edilen teknolojik araçlardandır. Proje planlamasından robotik inşaat, otomasyon, görüntü analitiği, stok ve tedarik optimizasyonu, akıllı sözleşmeler, akıllı binalar, enerji verimliliği gibi birçok inşaat sektörü alanında kullanılmaktadır.

1995 yılında, bir makale çalışması genel olarak inşaat kazaları hakkında bilgi edinmede makine öğreniminin uygulanabilirliğini ortaya koydu [132]. 2010'da, Choi ve Lee istinat duvarı sistemi seçimi için geliştirilmiş bir karar ağacı üzerinde çalıştı [133]. Çalışma, 139 vaka üzerinden istatistiksel bir yaklaşım kullanarak güvenilir bir karar ağacı geliştirmiştir bu araç da istinat duvarı sistemleri seçimi konusunda katkı sağlamıştır. Başka bir çalışma, iskele arıza durumlarını sınıflandırmaya ve iskele kolonlarından alınan gerinim veri setlerine dayalı olarak güvenlik koşullarını güvenilir bir şekilde tahmin etmeye yönelik bir yöntemi araştırdı. Ayrıca araştırma ekibi, gerinim veri setleri gibi özelliklerin sayısını artırmak için önerilen kendi kendine çarpma yöntemini kullanarak makine öğrenmesi sınıflandırmasının tahmin doğruluğunu başarıyla geliştirdi. Önerilen metodolojinin uygulanmasının, inşaat sahalarındaki büyük ve karmaşık sistemin izlenmesine olanak sağlaması bekleniyor [134]. Jebelli vd. çalışması, özellikle stresli inşaat sektöründe yaygın olan ve çalışanların refahını, güvenliğini ve üretkenliğini etkileyen önemli mesleki stres tehlikesini ele aldı [135]. Yazarlar, çalışan stresinin non-invaziv ve non-subjektif ölçümü için bir çerçeve geliştirmeyi ve doğrulamayı amaçladı. Burada, çalışanların giyilebilir bir biyo-sensörden toplanan fizyolojik sinyallerdeki değişiklikleri inceleyerek gerçekleştirilmesi amaçlandı. 10 adet inşaat işçisi üzerinde yapılan testler, düşük ve yüksek stres seviyelerinin ayırt edilmesinde %84,48 doğruluk ve düşük, orta ve yüksek stres seviyeleri arasında %73,28 doğruluk sağladı. Çerçeve, inşaat işçilerinin stresinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına katkıda bulunarak ve stres etkenlerinin erken tespiti yoluyla sağlık, güvenlik ve üretkenliği teşvik ederek saha stres değerlendirmesi konusunda umut vaat etti.

Günümüzde ise makine öğrenmesinin, yapay zeka, BIM, artırılmış gerçeklik, görüntü yakalayan teknolojiler, sensörler ve daha birçok teknolojik araç ile entegre edilerek çalıştırılması ile ilgili birçok çalışma süregelmektedir. Bu araçların birlikte

çalışması verilerin hızlı aktarımı, sanal olarak incelenmesi, görselleştirilmesi, analiz edilmesi ve benzeri konularda mühendislere birçok avantaj sağlayacaktır.

2.2.1.19 Modelleme, Tasarım, Analiz yazılımları

Modelleme, tasarım ve analiz yazılımları, birçok sektörde çeşitli uygulamalara yönelik olarak kullanılan yazılım araçlarıdır. Bu yazılımlar, karmaşık süreçleri anlamak, tasarlamak, simüle etmek ve analiz etmek için kullanılırlar.

Gerçek zamanlı sistemlerin olay ve süreçlerini desteklemek için zaman içinde çeşitli analiz ve tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. Analiz ve tasarım yazılımları, programcıların çalışmalarına kontrol yapılarını dahil etmeye başladığı 1970'lerin başında bilgisayar programlamasındaki gelişmelerden doğmuştur. Yapılandırılmış programlama olarak bilinen bu yöntem, programların yazılmasını, test edilmesini ve bakımının yapılmasını kolaylaştırmıştır. 1970'lerin ortalarında yapılandırılmış programlama, yapısal tasarımı ortaya çıkardı. Yapısal tasarım, bilgisayar programlarını bağımsız modüllere ayırmak için kullanılan bir tekniktir. Modüllerin tek bir işleve hizmet edecek şekilde tasarlanmasını önerir ve bu da yukarıdan aşağıya bir modül hiyerarşisi ile sonuçlanır.

Zaman içinde, sistemleri tam olarak tanımlamak için veri akış diyagramları veri modellemeleri ile desteklenmiştir. Stephen Mellor ve P. Ward'ın 1980'lerin ortalarındaki çalışmaları, veri akış ve durum diyagramları kullanarak gerçek zamanlı sistemlerin analiz ve tasarımını ilerletmiştir [136].

1970'lerden itibaren gelişen bu yazılımların kullanımının 1990'larda inşaat literatürüne de yansıdığı görülmektedir. 1990-2000 yılları arası bilgisayarla bütünleşik yapım için entegre tasarım ve inşaat planlama sistemlerinden [137], sahada enerji için katı sistem modellemelerine [138], konut inşaatlarında sanal gerçeklik ve bilgisayar destekli tasarımların entegre kullanımı ile ilgili teknik araştırmalardan [139] bilgisayar destekli karar verme araçlarının ürün modelleme tekniklerinde kullanımına [140] kadar geniş yelpazeli araştırmalar yapılmıştır. 2000-2010 yılları arasında da çalışmalar artan hızla devam etmiştir. İnşaat operasyonlarının görsel modellemesi ve simülasyonları, inşaat öncesi ön planlamalar için artırılmış gerçeklik ile modelleme, görsele dayalı realistik mimari modellemeler gibi AEC sektöründe proje aşamalarını görsel olarak planlamak konusunda araştırmalar artmıştır. 2010-2020 yılları arasında bu modelleme

yazılımlarına BIM entegre edilmiş, karmaşık senaryolar kolayca modellenebilmiştir. LEED binalar ve sürdürülebilirlik terimlerinin de gündeme gelmesiyle çalışmaların kapsamında genişleme olmuştur. 2020'den günümüze kadar geçen süreçte ve günümüzde bu araçlar otomasyonda dijital ikizler uygulamaları, müşteri bazlı iş birlikçi ön tasarım çerçeveleri [141], şantiye dışı inşaat için dijitalleşmede süreç iyileştirme ve karar alma gibi çok çeşitli uygulamalar üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

3
GEOTEKNİK RİSKLER VE TEKNOLOJİK ARAÇLAR

3.1 Geoteknik Mühendisliği

Tarih boyunca geoteknik mühendisliği, insanlarla dünya arasındaki gelişen bağlantıyı sergileyen çeşitli biçimler ve uygulamalar üstlenmiştir. İnşaat mühendisliğinin bu dalı, zemin ve kaya mekaniği çalışmalarını derinlemesine inceler ve bu bilgiyi yapıların, çevrenin gelişimini kolaylaştırmak ve sonuçta insanlığa fayda sağlamak için mühendislik uygulamalarına entegre eder. Geoteknik mühendisliği, yeraltı suyu seviyeleri ve zemin süreksizlikleri gibi mevcut yeraltı koşullarının araştırılmasının yanı sıra malzemelerin değerlendirilmesini de kapsar. Planlanan projelerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesini ve saha koşullarına bağlı potansiyel risklerin değerlendirilmesini içerir. Kısaca geoteknik mühendisliği, toprak ve yapılar arasındaki karmaşık ilişkiye ilişkin tüm faaliyetleri kapsayan, bina temellerinin kazısı ve tasarımında önemli bir rol oynar [142].

İnsanlar, tarih boyunca toprağı çeşitli amaçlar için işledi. Toprak, başta taşkın kontrolü olmak üzere sulama, mezarlık alanları, bina temelleri ve inşaat malzemesi olarak kullanıldı. Bu kullanımların tarihi, en az MÖ 2000 yıllarına kadar uzanmaktadır. İlk faaliyetler, tarihsel izlerde görülen setler, barajlar ve kanalların varlığıyla sulama ve taşkın kontrolüne yönelikti. Eski Mısır, Eski Mezopotamya ve Bereketli Hilal gibi bölgelerde, aynı zamanda Mohenjo Daro ve Arappa gibi İndus vadisinin ilk yerleşim yerlerinde de bu tür aktiviteler gözlemlenmiştir. Şehirlerin gelişmesiyle birlikte, temellerle desteklenen yapılar inşa edilmeye başlanmıştır. Özellikle antik Yunanlılar, tekil, şerit ve radye temeller gibi çeşitli temel tasarım yaklaşımları geliştirmiştir. Ancak, 18. yüzyıla kadar, geoteknik tasarım için herhangi bir teori oluşturulmamıştı. Bu dönemde, geoteknik mühendisliği daha çok bir bilim dalından ziyade deneme yanılma yöntemleriyle şekillenen bir pratikti.

Geoteknik mühendisliği, toprak ve kayacın mühendislik problemleri üzerindeki etkilerini anlamak ve yönetmek amacıyla gelişen bir disiplindir. Zemin mekaniği, temel mühendisliği ve jeoloji gibi alt dalları içerir.

Modern geoteknik mühendisliği ise karmaşık altyapı projeleri, bina inşaatları ve çeşitli mühendislik uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Geoteknik mühendisleri, toprağın ve kaya tabakalarının özelliklerini inceleyerek, uygun temel tasarımları, zemin iyileştirme yöntemleri ve stabilite analizleri gibi konularda çözümler üretir. Bu sayede, yapılar uzun ömürlü, güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde inşa edilebilir.

12. yüzyılda inşasına başlanan ve yapımı sırasında eğilmeye başlayan, ardından birçok süreçten geçen ve inşası 200 yıl ardından 14. yüzyılda tamamlanan Pisa Kulesi'nin (Şekil 3.1) en büyük örneklerinden biri olduğu temel problemlerini de kapsayan mühendislik problemleri, bilim insanlarını yeraltıyı incelemek için daha bilime dayalı bir yaklaşım benimsemeye teşvik etti. İlk ilerlemeler istinat duvarlarının inşası için toprak basıncı teorilerinin geliştirilmesi ile başladı. Fransız Kraliyet Mühendisi Henri Gautier, 1717'de farklı toprakların "doğal eğimi" olduğunu fark etti; bu fikir daha sonra toprağın şev açısı olarak anılacaktı. Ardından, günümüzde toprak tipinin çok da iyi bir göstergesi olarak kabul edilen, malzemenin birim ağırlığına dayalı olan temel bir toprak sınıflandırma sistemi de geliştirilecekti.



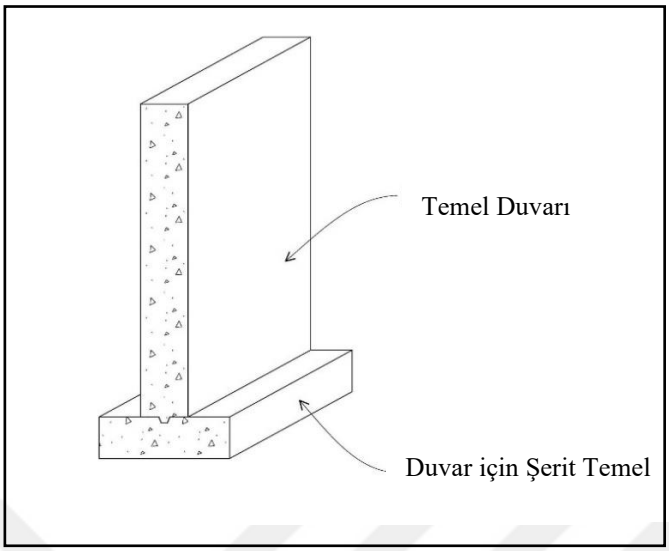
Şekil 3.1 Pisa Kulesi

Klasik geoteknik mekaniği, 1773 yılında Charles Coulomb'un zemin problemlerine mekaniği tanıtmasıyla başladı. Bir istinat duvarının arkasındaki gerçek kayma yüzeyini belirlemek için sürtünme ve kohezyon yasalarını kullanan Coulomb, farkında olmadan zemin için bir göçme kriteri tanımladı. Coulomb'un teorisini Christian Otto Mohr'un 2 boyutlu gerilim durumu teorisiyle birleştirerek, bugün hala kullanılan çok kullanışlı bir grafik yapı olan Mohr-Coulomb teorisi geliştirildi. Bu dönemdeki diğer ilgili gelişmeler arasında Henry Darcy'nin hidrolik iletkenliği tanımlaması; Joseph Boussinesq'in gerilim dağılımı teorisi, William Rankine'nin Coulomb'un yer basıncı teorisini basitleştirmesi ve Albert Atterberg'in kil kıvamına ilişkin incelemesi de yer almaktadır.

Modern geoteknik mühendisliği ise 1925 yılında genel olarak modern zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliğinin babası olarak kabul edilen Karl Terzaghi (1883-1963) tarafından Erdbaumechanik'in yayınlanmasıyla başladı. Terzaghi'nin kil oturması-konsolidasyon ve barajların altındaki borulardan kaynaklanan hasarlar üzerine araştırması çığır açıcı olarak değerlendirildi.

Geoteknik mühendisliği, temel inşaatı başta olmak üzere, altyapı tasarımı, zemin iyileştirme uygulamaları vb. birçok imalatla ilgilenir. Tipik bir geoteknik uygulaması, gerekli malzeme özelliklerini tanımlamak için proje ihtiyaçlarının gözden geçirilmesiyle başlar. Ardından, önerilen bir yöntemle, yapının zemin üzerinde veya içinde zeminle nasıl etkileşime gireceğini incelemek ile mühendislik özelliklerini belirlemek için proje bölgesindeki toprak, kaya, fay hattı ve ana kaya özelliklerinin saha incelemesi yapılır. İnşaatın gerçekleştirileceği alanın anlaşılması için zemin etütlerine ihtiyaç vardır. Örneğin Türkiye'de zemin etütleri Resmî Gazete'de yayınlanan "Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı [143]" esas alınarak yapılır. Araştırmalar deprem, toprak kayması, düden, zemin sıvılaşması, moloz akıntısı ve kaya düşmesi, kazı taban çökmesi gibi doğal tehlikelerden insanlara, mülklere ve çevreye yönelik risklerin değerlendirilmesini içerir. Daha sonra bir geoteknik mühendisi, inşa edilmesi amaçlanan yapılar için gerekli olan temelin tipini belirler ve tasarlar. Temel tipleri; tekil temeller, radye temeller, sürekli temeller, kazık temeller, keson temeller ve çok daha fazlasından oluşmaktadır. Temeller, yüksek binalar, köprüler, orta ila büyük ticari binalar ve zemin koşullarının mevzuata dayalı tasarıma izin vermediği daha küçük yapılar gibi çeşitli boyutlardaki yapılar için tasarlanmakta ve inşa edilmektedir. Yer üstü yapılar

için inşa edilen temeller sığ ve derin temelleri içerir. İstinat yapıları toprakla doldurulmuş barajları ve istinat duvarlarını içerir.



Şekil 3.2 Şerit temel örneği

Geoteknik mühendisliği aynı zamanda kıyı ve okyanus mühendisliğiyle de ilgilidir. Kıyı mühendisliği rıhtımların, marinaların ve iskelelerin tasarımını ve inşasını içerebilir. Okyanus mühendisliği, petrol platformları gibi açık deniz yapıları için temel ve ankraj sistemlerini içerebilir. Geoteknik mühendisliği ve mühendislik jeolojisi alanları birbiriyle yakından ilişkilidir ve geniş örtüşme alanlarına sahiptir. Bununla birlikte, geoteknik mühendisliği alanı bir inşaat mühendisliği uzmanlığıdır, mühendislik jeolojisi alanı ise jeolojinin bir uzmanlık alanıdır [144].

3.2 Projelerdeki Geoteknik Riskler ve Teknolojik Araçlar

İnşaat projelerinde, yönetsel, mali, iletişimsel vb. birçok riskin yanında teknik riskler de mevcuttur. Geoteknik riskler teknik risklerdendir. Bu riskler inşaat sahasının yeraltı koşullarıyla ilişkilidir. Toprak ve kaya özellikleri, yeraltı suyu koşulları ve inşa edilen yapıların stabilitesini ve performansını etkileyebilecek diğer geoteknik faktörlerle ilgili belirsizlikleri içerirler.

3.2.1 İnşaat Projelerinde Geoteknik Riskler ve Tarihçesi

Tasarım zorlukları ya da teknik karışıklıklar sonucu oluşan proje karışıklıkları; doğru bütçe tahmini yapamama ya da finansman sıkıntılarından kaynaklanan finansal riskler; proje zamanlaması, kontrat zorunluluklarından kaynaklanan zamansal riskler; çevresel ve yasal zorunluluklardan oluşan çevresel riskler; iş

kazalarından oluşan İSG riskleri vb. birçok sebepten kaynaklanan riskler yanında geoteknik risklerin de en büyük kaynağı belirsizliklerdir. Geoteknik mühendisleri için en önemli malzeme doğal zemindir. Bu nedenle, alt katmanın uzaysal değişkenliği, stratigrafinin belirsizliği, zayıf toprak katmanlarının olasılığı ve diğer geoteknik veya jeoloji ile ilgili belirsizliklerle sürekli olarak mücadele etmek zorundadırlar.

Geoteknik mühendisliğinde belirsizlik ölçümü disiplinler arası bir konudur. Örneğin, olasılık teorisi (veya diğer belirsizlik ölçme teorileri), zemin mekaniği, doğal tehlikeler, mühendislik jeolojisi ve sosyal-ekonomik konuları birleştirir. Artık her yapı için zemin ile ilgili bir risk analizi yapmak kabul gören ve hatta sonrasında büyük sorunlarla karşılaşmamak için neredeyse zorunlu bir uygulamadır. Geçmişte yaşanan bazı başarısızlıklar, geoteknik mühendislerinin belirsizliği varsayımsal ve yüzeysel yaklaşımlardan ziyade daha rasyonel bir şekilde yönetmesi gerektiğini açıkça göstermiştir. Zeminle ilgili belirsizlikler, mühendisleri ve bilim insanlarını bu etkileri olasılıksal yaklaşımlar kullanarak tanımlamaya ve bunları mevcut deterministik modellere dahil etmeye veya yeni yaklaşımlar oluşturmaya motive etmiştir [145].

3.2.1.1 1960-1970 Yılları Arası Geoteknik Riskler

Bu yıllarda geoteknik risklerle ilgili zeminin kararsızlığı konularında Lumb tarafından çalışılmaya başlandı [146]. Doğal zeminin özellikleri ile ilgili varyasyonların ortalama ya da lineer eğilimde rastgele varyasyonlar ile olasılıksal dağılımına bağlı olarak açıklanabileceği üzerinde yorumlar yapıldı. Likit limit, plastik limit, zemin sınıflandırması üzerinde çalışıldı. Geoteknik parametrik belirsizlikleri sayısal olarak ölçme olasılığına önderlik edecek çalışmalar yapıldı. Gerilim dağılımları ve farklı yükleme koşullarında temellerin güvenliği riskleri öne sürüldü. Taşıma kapasitesi ve oturma problemleri de bu yıllarda adından söz ettirmeye başlayan geoteknik riskler arasındaydı.

3.2.1.2 1970-1980 Yılları Arası Geoteknik Riskler

Lumb'dan sonra diğer araştırmacıların yaptığı çalışmalarda toprak altı parametrelerinin olasılıksal açıklaması popüler bir araştırma konusu oldu. Corotis, Azzouz ve Krizek zeminin kütle yoğunluğu ile ilgili çalışmalar yapmaya başladılar [147]. Olasılık özelliklerinin toprağın kütle yoğunluğuna ve dolayısıyla türüne bağlı

olduğunu ve değişimlerin çoğunun normal veya lognormal dağılımla tanımlanabileceğini buldular. Bu yıllarda zeminin istatistiksel özellikleri merak konusu olarak kaldı. Zeminin karakteristik özelliklerinin yanı sıra geoteknik yapılar üzerinde daha çok uygulamalar yapıldı. Temellerin güvenlik faktörlerinin ne derece güvenilir olduğu da merak edilip araştırılan konulardan oldu. Şev stabilitesi, taşıma kapasitesi ve istinat duvarları ile ilgili riskler yine bu yıllarda popüler konular arasındaydı. 1960'lı yıllarda olduğu gibi yine bu problemler için de olasılıksal yaklaşımlar kullanıldı. Belirsizlikler üzerinde mantıksal çıkarımlar ve analizler yapılmaya devam edildi. Şev stabilitesi tahminlerini yöneten durumların kohezyon parametrelerindeki belirsizliklerin ve boşuk basıncı vb. problemlerin zeminin dane ya da kütle özelliklerinden kaynaklı olabileceği ortaya atıldı. 1976 yılında Kay, daha sonra güvenilirlik teorisini kullanarak kazık tasarımını geliştirmek için kullanılabilecek yük testi verileri aracılığıyla kazık temellerinin taşıma kapasitesi ile ilişkili belirsizliği azaltmak için günümüzde dahi kullanılan Bayesian yöntemi önerdi [148]. Oturmaya bağlı problemler araştırılmaya devam edilirken aynı zamanda bu risklerin ekonomik etkileri de çalışmalarda sorgulanmaya başlandı. 1970'li yılların sonuna doğru sonlu eleman yöntemleri gibi sayısal analiz metotları da gündeme gelmeye başladı.

3.2.1.3 1980-1990 Yılları Arası Geoteknik Riskler

Bu yıllarda olasılık yöntemlerinin gittikçe popülarite kazanmasıyla birlikte, bu yöntemlere ek olarak, yardımcı ya da ileride daha fazla açıklık getirecek yeni hesaplama yöntemleri eklendi. Geleneksel ve teorik çalışmalara derin ve sığ temellerle ilgili vaka çalışmaları eklendi. Geoteknikte olasılıksal yöntemlerin geliştirilmesi, o dönemde sondaj platformlarının, açık deniz yapılarının ve bunların temellerinin tasarlanması ihtiyacıyla da artmıştı; çünkü bu tür yapıların analizi, tasarımı ve inşasında deneyimler nadirdi. Bu on yıllık sürecin geoteknik mühendislerinin olasılıksal yöntemlere karşı pozitif tutumunda bir dönüm noktası olduğu ileri sürülebilir. Bunun temel nedeni, bu yöntemlerin pratikte nasıl uygulanabileceğine dair olasılıksal yöntemlerle birçok ipucu almalarıydı. Gerçek geoteknik yapıları olasılıksal açıdan inceleyen önemli çalışmalar 1980'lerde yayımlandı. Yine araştırmalarda belirsizlikler ve belirsizliklerden kaynaklanan yapı oturmaları gündemde olan çalışmalar arasındaydı. Aynı zamanda bu yılların sonuna

doğru geoteknik mühendisliği özelinde risk yönetimi ile ilgili araştırmalar ve kılavuzlar yayınlanmaya başladı.

3.2.1.4 1990-2000 Yılları Arası Geoteknik Riskler

Bu yıllarda bilgisayarlarda artan bilgi işlem gücü ile birlikte çoğu bilimsel araştırmanın yanında geoteknik çalışmalar da sayısal analizler ile olasılıksal yaklaşımların daha detaylı irdelenmesi ve eldeki analizler ve yaklaşımların birlikte çalıştırılıp verilerin işlenmesine kadar ilerledi. Su tutma yapılarındaki sızıntılar, yeraltı suyu problemleri, temel oturmaları, uzaysal ve istatistiksel belirsizlikler, ölçüm hataları, geçiş zonları arası belirsizlikler ve bu problemlere bağlı olarak gelişen modelleme (modelleme parametrelerinin belirsizliği, kesin olmayan zemin kütle özellikleri vb.) sorunları araştırılan geoteknik risk konularındandı.

3.2.1.5 2000-2010 Yılları Arası Geoteknik Riskler

Taşıma kapasitesi problemleri, geoteknik risklerde yine gündeme gelen konular arasında popülerliğini sürdürmekteydi. Bu konuda örneğin farklı özelliklere sahip killerde (drenajlı/drenajsız vb.) taşıma kapasitesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Şev stabilitesi, temelin oturması, kullanılabilirlik-sınır durum göçmesine karşı sığ temeller ve RFEM[10] kullanılarak mekansal değişkenliğin 3D uzun şev yenilmeleri üzerindeki etkisi araştırıldı. RFEM geriye doğru erozyon borularını incelemek için kullanıldı. 2000'li yıllar güvenilirlik yaklaşımlarının, zemin sıvılaşma potansiyeli değerlendirme problemlerinin, drenajsız kayma mukavemetinin, efektif aşırı yük gerilmesinin daha ileri uygulamalarını getirdi, karmaşık Bayesian problemleri çözüldü. Bu gelişmelere rağmen, geoteknikteki belirsizliklerin her zaman araştırılması ve üzerinde çalışılması gereken bir konu olduğu vurgulandı. Aynı şekilde jeomalzemelerin (toprak, kayalar, kar), jeolojik süreçler ve antropojenik faaliyetlerle ilgili belirsizliklerinin büyük ve karmaşık olabileceği ve bu belirsizliklerin tehlike ve risk değerlendirilmesi ve yönetilmesinde önemli rol oynadığı vurgulandı.

[10]Microsoft Windows bilgisayar işletim sistemleri altında çalışan bir 3 boyutlu sonlu elemanlar analiz yazılımı

3.2.1.6 2010 Yılı- Günümüz Arası Geoteknik Riskler

Rankine Dersinde[11] (2015) Lacasse, geoteknik uygulama ile risk yönetimi arasındaki kavramsal ve operasyonel bağlantıyı araştırdı ve rutin analizlerde tehlike, risk ve güvenilirlik kavramlarının uygulanmasının önemini vurguladı [149]. Doğal felaketlerin geoteknik çalışmaları nasıl etkilediği, demiryolu güvenliği ile ilgili risk analizleri, maden şevleri ve zeminlerde sıvılaşma riski ile ilgili çeşitli çalışmalar yapıldı. Temel taşıma kapasitesi göçme olasılığı tahminleri için çeşitli analizler kullanıldı. Geoteknik risk yönetimi, kabul edilebilir risk kriterleri ve güvenilirliğe dayalı geoteknik tasarım gibi kavramlara en çok vurgulanan periyot bu yıllar oldu. Son teknolojilerin geoteknik mühendisliğine entegre edilmesi ile ilgili araştırmalar yine bu yıllarda gözle görülür şekilde arttı. Şev problemleri (şev kayması, stabilite, güvenlik vb.) ile ilgili niceliksel risk değerlendirmesi için mekaniğe dayalı yöntemler bu on yılda büyük ilgi görmüştür. Heyelanlar için risk değerlendirme yaklaşımı ve sismik sarsıntılarla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu on yıl aralığı, mekansal olarak değişken koşullar altında taşıma kapasitesi tahminine yönelik yöntemlerde daha fazla gelişmeyi beraberinde getirdi. Geoteknik problemler için mekansal değişkenliğin, ölçüm hatasının, istatistiksel ya da modelleme belirsizliğinin önemi tartışıldı [150]. Bilgiyi geliştiren hiyerarşik Bayes modellerini kullanarak değişkenliklerin nasıl modelleneceğine odaklandınıldı. Son yıllarda bilgi birikimindeki önemli artışa ve yeni geliştirilen birçok yönteme rağmen, bu yöntemlerin uygulamasına yavaş geçiş yapıldığı gözlenmektedir. Son teknolojiyi ve en son uygulamayı temsil eden taraflar arasında kabul ve iletişim eksikliği, teori ve pratik arasındaki boşluk ve gerçekçi olmayan modeller ile örneklerin iyi bir risk yönetimine engel teşkil ettiği vurgulandı. Dijital dönüşüm ile ilgili çalışmaların geoteknik risk yönetiminde başarı sağlayabileceği, örneğin makine öğrenmesi kullanılarak gerçek verilerin kullanılmasının araştırma ve uygulama arasındaki bağı güçlendirebileceği ile ilgili hipotezler öne sürülüp çalışmalar yapıldı.

Özetle, geoteknik riskler, 1960'lı yıllardan günümüze kadar evrilen bir süreçte farklı odak noktalarına yönelindi. 1960-1970 döneminde, zeminin özelliklerindeki belirsizlikler ve taşıma kapasitesi ile oturma problemleri ön plandaydı. 1970-1980

[11]Rankine dersi, adını zemin mekaniği teorisine erken katkıda bulunan William John Macquorn Rankine'den alan İngiliz Geoteknik Derneği tarafından düzenlenen yıllık bir konferanstır.

döneminde, toprak altı parametrelerinin olasılıksal açıklamaları popülerleşti ve uygulama alanları genişledi. 1980-1990 döneminde, olasılıksal yöntemlerin yaygınlaşmasıyla yeni hesaplama yöntemleri geliştirildi. 1990-2000 döneminde, bilgisayar teknolojisinin ilerlemesi sayısal analizler ve olasılıksal yaklaşımları arttırdı. 2000-2010 döneminde, taşıma kapasitesi problemleri önemini korurken güvenilirlik yaklaşımları daha da gelişti. 2010'dan günümüze kadar, dijital dönüşüm ve risk yönetimi konusunda önemli ilerlemeler kaydedildi. Ancak, teori-pratik arasındaki boşluklar ve gerçekçi olmayan modellerin kullanımı gibi zorluklar, geoteknik risklerle başa çıkmak için daha fazla çabanın gerektiğini gösterdi.

Kapsamlı literatür taraması sonucu, sektörde geoteknik mühendisliği kapsamında en çok rastranılan 17 adet geoteknik risk belirlendi. Bu riskler Tablo 3.1.'de frekans oranları ile birlikte verilmiştir.

Tablo 3.1 Literatür taraması geoteknik risklerin sıklığı

	Geoteknik Risk	**($\bar{\sigma}$)**
1	Çökme (Kazı Tabanı Çökmesi)	0.05
2	Sıvılaşma	0.04
3	Sızıntı	0.04
4	Belirsizlikler	0.12
5	Şev Kayması	0.10
6	Çökme (Kazı Tabanı Çökmesi)	0.05
7	Sıvılaşma	0.04
8	Sızıntı	0.04
9	Kayma Gerilmesi	0.03
10	Taşıma Gücü Kaybı	0.02
11	Şişme/Büzülme	0.02
12	Bilinmeyenler	0.02
13	Karmaşıklık (tasarım vb.)	0.01
14	Süreksizlik (katmanlar arası vb.)	0.01
15	Deformasyon	0.01
16	Permeabilite	0.01
17	Zemin Çivisi Stabilitesi	0.01

Sonraki bölümde geoteknik risklerin varlığı ve tarihçesinin yanı sıra literatürde belirlenen teknolojik araçların bu riskleri belirlemede ve önünde geçmede ne denli etkili olabileceği tartışılırken literatürden kanıtlar da sunulacaktır.

3.2.2 Geoteknik Riskler ve Teknolojik Araçlar

Son yıllarda dijital araçların ve teknolojilerin entegrasyonu, inşaat sektöründe birçok alanda olduğu gibi geoteknik uygulamalarda da, verimlilikte, doğrulukta ve gelişmiş karar alma süreçlerinde devrim yarattı.

Yeni yöntem ve teknolojileri benimseme konusundaki tereddütlerine rağmen, her gün büyük miktarda veri üretmekten inşaat sektörü, büyük veri teknolojisinin akışı nedeniyle inovasyonda son zamanlarda bir artış yaşadı. Sektör genişledikçe, devasa veri havuzları, planlar ve bina modellerinden iletişim ve maliyet tahminlerine kadar her şey hakkında bilgi havuzu dolmaya devam etmektedir. Ne yazık ki, şirketlerin kurumsal hafızaları genellikle yapılandırılmamıştır ve doğru araçlar olmadan erişilmesi ve kontrol edilmesi zordur. Bu da şirketleri büyük veriyi kullanmaya yönlendirmektedir. Kurumsal hafızada, yapım yöntemleri-know how'lar inci taşıdır. Şirket, geçmişte karşılaştığı riskleri, nasıl üstesinden geldiğini, bariyerleri, sorumluları vb. birçok etkenleri kazanılmış dersler altında tutar ve bunları gelecekteki projeler için saklar.

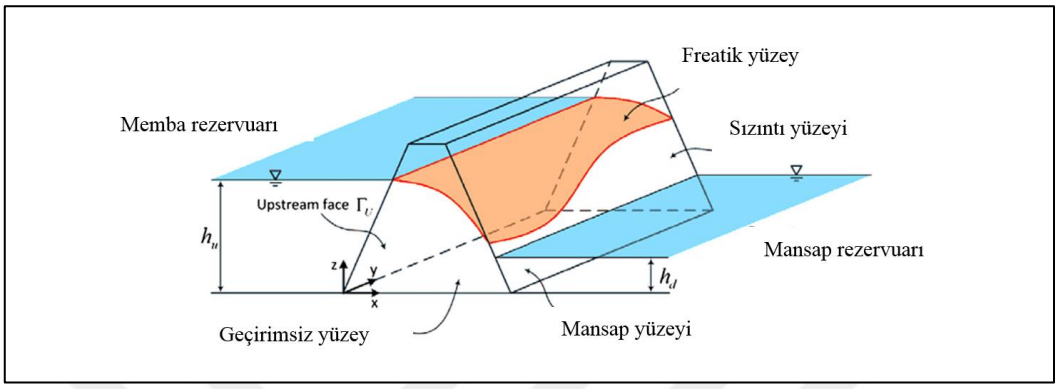
Projelerde, saha incelemesi ve geoteknik araştırmalar, teklif ve sözleşme süreçlerinden sonraki ilk aşamadır. Sahadan birçok veri alınır ve bunlar labaratuvarlara testler için götürülür. Şirketin daha önce hiç proje yapmadığı bir ülkede daha önce karşılaşmadığı zemin, yeraltı suyu gibi geoteknik problemler ile karşılaşması olasıdır. Yeraltı suyuna bağlı zemin problemleri, inşaat mühendisliğinde en çok karşılaşılan ve sıkıntı çıkaran problemlere neden olan faktördür. Yüksek su seviyeleri, zemin kararsızlığını arttırabilir ve temel sistemlerini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, inşaat malzemeleri üzerinde çürüme, paslanma ve erozyona neden olarak yapısal bileşenlerin dayanıklılığını düşürebilir. Literatür ve uzmanların engin bilgisine ek olarak, zeminden alınan verilerin işlenmesi ve yönetilmesi için gelişmiş analitik sistemler gerekebilir. Bu bilgiler kameralar, sensörler, mobil cihazlar ve günlük dosyalar gibi birden çok yapılandırılmış veya yapılandırılmamış kaynaktan gelebilir. Geoteknik belirsizlikleri en aza indirgemede, kazı-dolgu işlerinde karşılaşılabilecek yapıların inşası sırasında kazı aşamasında, zeminin içerisinde çökme potansiyeli olan iyi derecelenmemiş, gevşek, süreksiz bölgelerde bulunan kütleler, kazı çukuru deformasyonlarına bağlı gerçekleşen kütle çökmelerinden kaynaklanan kazı taban çökmesi, inşaat sektöründe ciddi sorunlara yol açan toprak kayması, erozyon gibi

faktörlerin şev stabilitesini olumsuz yönde etkilemesi ve yapılan kazıların güvenliğini tehlikeye sokması riskleri için büyük veri aracı devreye girebilir. Verimliliği ve üretkenliği artırmak için inşaat sürecinin her aşamasında kullanılabilecek büyük veri ve veri analizi araçları, büyük veri havuzlarından bilgi çekmek için müteahhitler, mimarlar, esnaflar ve müşteriler dahil olmak üzere inşaat sürecine dahil olan herkes için erişilebilir hale getirmek için tasarlanmıştır. Verileri sahadan eşzamanlı alıp işleyebilen, daha projenin başında ve yürütme, izleme ve kontrol edilmesinden kapanışa kadar olası tehlikelerin önüne geçme ve projeyi bütçe ve zaman kayıplarından kurtarma büyük veri ile mümkün olacaktır.

Aynı etkenler kablosuz iletişim teknolojileri ve görüntü yakalayan teknolojiler için de geçerlidir. Kablosuz iletişim altyapısı inşaat sektöründe gerçek zamanlı izleme ve takip sistemlerinin önünü açmıştır. İnşaat şirketleri artık sensörler ve IoT cihazlarını alarak ekipman, malzeme ve işçi güvenliği gibi çeşitli unsurları gerçek zamanlı olarak izleyebilir ve takip edebilir. Bluetooth, Wireless, WSN ve WLAN gibi elektronik dalgalar yoluyla kablosuz iletişim sağlayan, veri aktarımı yapan, çevresel verileri toplayıp sensörlere ileten, yerel ağ oluşturan veya cihazlar arası etkileşim sağlayan aktiviteleri yürüten bu araçların sahadan eş zamanlı veri toplaması proje yönetimi boyunca birçok geoteknik riskin yönetiminde etkili olabilecektir.

Bir IoT kullanımı örneği olarak Chaulya ve Prasad kitabında, çeşitli parametrelerin çok değişkenli istatistiksel analizine ve analitik hiyerarşi proses yöntemlerine dayalı kablosuz sensör ağı ve tahmin tekniğini kullanan gerçek zamanlı bir şev stabilitesi izleme sisteminin ayrıntılarını sunmuştur [151]. Geleneksel olarak insanlar tarafından gözlem yoluyla yapılan şev izlemesine (zemin hareketlerinin ya da çatlakların gözlemlenmesi, anormal su akışları vb.) dayalı önlemler alınması, yerini bu risklerin otomatik bütün istasyon ağları, yansıtıcı olmayan ışık tespit etme ve LIDAR (Light Detection and Ranging) tarayıcılar ile tespit edilip gerekli aksiyonların alınmasına bırakmıştır. Madencilik endüstrisinde güvenliği ve üretkenliği artırmak için algılama teknolojileri, maden taşımacılığı gözetimi, dijital madencilik ve bulut bilişim ile ilgili yenilikçi fikirler ve yeni kavramlar tartışılmıştır. Farklı sensörleri izlemek, analiz etmek, depolamak ve görsel-işitsel, SMS ve e-posta uyarıları sağlamak için kullanılabilen, yardımcı bir web sitesi aracılığıyla indirilebilen eğim stabilitesi tahmin eden yazılımlar, maden kazalarını

önlemek ve doğal riski azaltmak için kritik araçlar olabilir. Madenler ve tehlikeli alanlar için algılama, izleme ve tahmin teknolojileri, madencilikle ilgili geoteknik riskin temellerini algılama ve veri iletişimindeki en son gelişmelerin hem kazaları önlemek hem de erken uyarılar sağlamak için nasıl kullanılabileceği ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 3.3 3 Boyutu sınırlandırılmamış sızıntı probleminin şematik gösterimi [152]

İnşaat ve barajların inşaatı öncesi ve sonrası sızıntı riskleri ile ilgili de birçok teknoloji geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları optimizasyon teknikleri ile beraber çamur basıncı ve akışının makul kontrolünü sağlayan kontrollü enjeksiyon teknolojisi, su sızıntısından şüphelenilen alanları bulmak için temassız, hızlı ve iki boyutlu tarama sağlayan kızılötesi termografi ve su sızıntısının doğrudan kanıtını veren floresan boya ile göllenme testi gibi araçlardır [153]. UV fotoğrafçılığının yardımıyla, floresan boya suyunun olası su sızıntısı kaynağından (örneğin banyo) sızması durumunda, etkilenen alanda (örneğin tavan) floresan etkisi net bir şekilde incelenebilir ya da kızılötesi termos görüntüleyiciyi kullanarak, sızıntı alanları nispeten düşük sıcaklığa sahip olduğundan, sızıntı ve normal alanlar arasındaki sıcaklık farkı ayırt edilip gereken önleyici eylemler ya da tamir ve bakımlar yapılabilmektedir [154].

Özellikle deprem bölgelerinde deprem esnasında karşılaşılan önemli geoteknik risklerden zemin sıvılaşması ile ilgili de teknolojik gelişmeler sürmektedir. Tabakaların yeraltı su seviyesi altında geçici olarak mukavemetlerini kaybetmeleri sonucu ortaya çıkan bir sorun olan zemin sıvılaşması ya da sıvılaşma, zeminin katı yerine viskoz sıvı gibi davranmasına neden olan bir fenomendir. Bu olgu, özellikle deprem gibi dinamik yüklemeler altında gevşek daneli zeminlerde (kumlu-siltli zeminler) gözlemlenen bir durumdur. Hem deprem bölgesinde olup hem de gevşek

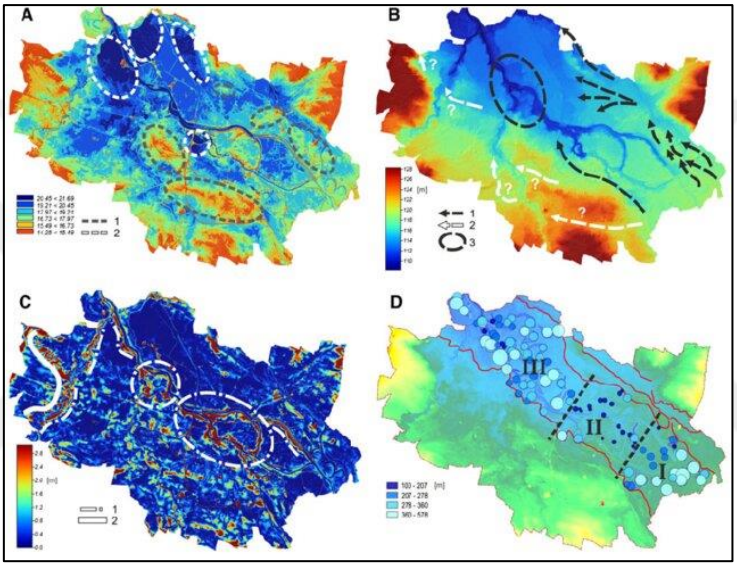
daneli zemin içeren bölgelerin özellikle geoteknik mühendisleri tarafından incelenip, test edilip, gerekli analizler yapıldıktan sonra uygun görülen zemin iyileştirmesi metotları ile iyileştirildikten sonra yapıların inşa edilmesi gerekmektedir. Zemin sıvılaşması ile ilgili teknolojik çalışmalara örnek olarak, GIS'in çeşitli yazılımlar ile entegre edilip, zemin direnci analizlerinin yapılması ile sıvılaşma ve zemin büyütmesi yoluyla hasar tahmin sistemlerinin öne çıkarılması uygulamaları verilebilir. Kore'de Eylül 2016'da sırasıyla 5,8 ve 5,4 büyüklüğünde güçlü bir deprem meydana gelmesi ile zemin direncinin kaybedilmesi ve zemin sıvılaşması olayının resmi olarak rapor edilmesine bağlı sıvılaşma ve zemin büyütmesi yoluyla hasar tahmin sisteminin bulunmasına öneri olarak yapılan çalışmada, akıllı şehir tanıtım alanı olan Sejong Şehri'nin 5-1 bölgesinden sondaj bilgileri çıkarılmış ve sıvılaşma risk değerlendirmesi için bir model oluşturmak üzere zemin direnci hesaplanmıştır. GIS analiz tekniği uygulanarak üç boyutlu zemin direnci modellemesi yapılmıştır. Buna dayanarak, toprak direncini simüle etmek için aynı gerçek dünya ortamını kopyalayan bir dijital ikiz modeli inşa edildi. Bu çalışma sonucunda simülasyon testinden hesaplanan toprak direnci sonucunun gerçek direnç sonucuna benzer olduğu doğrulanmıştır. Bunun, deprem meydana geldiğinde zemin destekleme kuvvetinin incelenmesinde ve zemin direncinin tahmin edilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir [155]. Literatürde yine sıklıkla geçen kayma gerilmesi kaynaklı taşıma gücü kaybı ve temel, zemin oturmaları problemleri için ise, çeşitli sayısal analizler ile entegre çalışabilecek sonlu farklar vb. metotların sayısal simülasyonlar ile çalıştırılması [156], 3D yazıcı ile yazdırılmış geogridlerin sensörlerle izlenip gerilim değişiminin olduğu bölgelerin tespit edilmesi [157] gibi çalışmalar yapılmıştır.

Bahsedilen birçok geoteknik riskler belirsizliklerden kaynaklanır. Oturma problemleri zemin ile ilgili yeteri kadar araştırma ya da analiz yapılmadan, çalışmalarda belirsizliklere yer açıp inşaatnın gerçekleşeceği zemine uygun olamayan temel seçimi, oluşabilecek doğal afet, yeraltı suyu yükselmesi gibi olayların çalışmaların içine katılmamasından kaynaklı oluşmaktadır. Tünel kazılarında, kayaç süreksizlikleri ve suyun hesaplamalara katılmaması, projede zaman ve maliyet kayıplarına öncülük etmektedir. Bu süreksizliklerin önceden belirlenmemesi, devamında inşaat aşamasında birçok başka problemi zincirleme etkisi yaparak beraberinde getirir. Bunlar arasında dayanıklılığı ve kararlılığı

azalmış zemin, artan su girişine bağlı kazılar esnasında kayma & düşme riskleri, temel tasarımında sonradan yapılan değişikliklere bağlı karmaşıklıklar, iş kazaları ve değiştirilen programda oluşacak yüksek inşaat maliyetleri bulunmaktadır. Detaylı arazi incelemeleri, geoteknik çalışmalar ve zemin destek önlemlerinin uygulanması, kayaç süreksizliklerinin inşaat projeleri üzerindeki etkisini yönetmek ve yapıların güvenliği ve sürdürülebilirliğini sağlamak için hayati öneme sahiptir. Belirsizlikleri azaltmada kullanılan en yaygın araçlardan biri bulanık mantıkdır. Hava koşulları, malzeme özellikleri ve insan faktörleri gibi değişkenlerin genellikle tahmin edilemediği inşaat projelerinde bulanık mantık, karar verme için sağlam bir çerçeve sağlar. Giriş ve çıkış parametreleri arasındaki karmaşık ilişkilerin modellenmesine olanak tanıyarak daha gerçekçi ve incelikli kontrol sistemlerine olanak tanır. Geoteknik mühendisliğinde bulanık mantık özellikle zemin davranışının ve temel tasarımının analizinde avantajlıdır. Zemin özelliklerindeki doğal belirsizlik zemin-yapı etkileşiminin daha doğru bir temsilini sağlayarak, bulanık mantık yoluyla etkili bir şekilde ele alınabilir. Örneğin, sınıflandırması yapılan derecelenme ve plastisitesi çok da istenildiği gibi olmayan bir zeminin üstüne hangi iyileştirme metotu imalatı yapılacağı geoteknik mühendisleri arasında fikir ayrılıklarına sebep olabilir. Hesaplarda ya da uygulama fikirlerinde kararsız kalan mühendislerin fikirleri, bulanık mantık ile değerlendirilip, bu araç ile daha kesin bir sonuca ulaşma yolu sağlanılabilir. Bu sadece geoteknik değerlendirmelerin güvenilirliğini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda temel tasarımlarının optimizasyonunu da kolaylaştırır, sonuçta daha güvenli ve daha uygun maliyetli inşaat uygulamaları yapılmış olur [158].

LIDAR, GIS, bulut bilişim yöntemleri kullanılarak eş zamanlı veri takipleri üzerinden kayaç süreksizlikleri belirlenip, inşanın yürütme ve izleme aşamasında gerekli aksiyonlar bu kriterlere göre yönlendirilebilir. Literatürde, çeşitli vaka çalışmaları incelendiğinde tünel ve kazı imalatlarının, artırılmış gerçeklik, 4D BIM gibi teknolojik araçların inşaatın başlangıç aşamasında çeşitli olasılıkları karşılaştırma durumları yapabilen, böylece yöntem ve aksiyon belirlemede zaman kazanılabileceğini vurgulayan araçlar olduğu belirtmiştir. 3D yazıcılar veya en son yazılım teknolojileri ile sayısal analizlerin kullanılması birçok inşaat projesinin önceden provasının yapılıp, olası etkileri tahmin etmede inşaat sektörünü artık Endüstri 4.0'dan Endüstri 5.0'a geçişini sağlamada hızlandıracaktır. Örneğin

altyapı çalışmalarının temel tasarım aşamasında bazı karayolları ve demiryolları Google Earth'ün düşük çözünürlüğü, uydu görüntüleri ve şekil dosyaları nedeniyle tanınamamakta veya bu veriler güncelliğini yitirmiş olabilmektedir. Öte yandan, bazı yan yolların ve demiryollarının dijitalleştirilmesi zordur çünkü bunlar yalnızca dar yollardır. Bu verilerin projesi mevcut ise ilgili makamlardan talep yazısı ile temin edilebilir. Detaylı tasarım aşamasında LIDAR, Fotogrametri ve Survey teknikleri kullanılarak güncel ve gerçekçi verilerle vektörel haritalar oluşturulmaktadır. Ayrıca geleceğe yönelik ulaşım ve konut planlarının işverenlerden, bakanlıklardan veya hükümetlerden sağlanması gerekmektedir.



Şekil 3.4 DEM 10 x 10 m'ye dayalı modelleme ve kartometrik ölçümlerin çıktısı

Başta mühendisler olmak üzere; formen ya da eğitim düzeyleri düşük çoğu işçinin dahi kullanabileceği telefon, tablet uygulamaları, dijital saatler, akıllı baretler gibi giyilebilir teknolojilerin birçok olası riskin önüne geçebileceği birçok literatür çalışmasında vurgulanmıştır. Örneğin tünel kazılarında, delme patlatma imalatlarında, kuyu delmesi yapılacak yerlerde veya sondaj çalışmaları esnasında işçide kalp nabız atışlarında hızlanmaya bağlı olarak herhangi bir anormallik hissedilmesinde giyilebilir teknolojik aletin alarm vermesi hayat kurtarıcı olabilir. Önceden bahsedilen geoteknik risklerden kazı taban çökmesi, zeminin taşıma gücü kaybetmesi veya kalıpların düşmesi ile can sağlığını riske atacak durumların oluşması esnasında işçilerin acil yardım alabileceği kimselerin bulunmaması veya çağrı yapmaya zaman olmayacağı anlarda merkez ofise otomatik bilgi gönderimini sağlayacak uygulamaların varlığından da literatürde bahsedilmiştir. Endüstrilerin

her türlü yenilikle kendilerini geliştirme çalışmaları ile birlikte inşaat sektörünün de çağa ayak uydurma çalışmaları artmıştır.

Şehirlerin büyümesi ile küresel ısınmanın hızının artmasıyla birlikte, jeolojik tehlikeler de binalar ve altyapılar için en büyük tehdit olmaya devam etmektedir. Geoteknik uzmanlarının burada görevi, bu sorunları önlemeye veya en aza indirmeye çalışmaya devam etmektir. Bu riskler tarafından tehdit edilmesi muhtemel yapım projelerinin başarılı bir şekilde korunması için, kentsel ve kıyı bölgelerindeki doğal ve yapay sistemlerin risk değerlendirmesi ve analizi gereklidir. Geoteknik mühendisleri, saha araştırmaları yoluyla zeminler, kayalar, mineraller ve beton gibi geomalzemelerin malzeme özelliklerini net bir şekilde belirleyebilir ve ardından insanlar, mülkler ve çevre için sundukları potansiyel riski değerlendirebilir. Jeolojik tehlikeler gerçekleşene kadar net bir şekilde tanımlanamadıklarından, potansiyel tehlikelerin tanımlanmasına, analizine ve değerlendirilmesine dayanan risk azaltma teknolojilerinin oluşturulması gerekir. Bu nedenle, geomalzemelerin belirsizliklerini ölçmek ve güvenlik riski değerlendirme ve yönetim metotlarını ilerletmek için araç ve teknikler geliştirmek, geoteknik mühendisliğinde son derece önemlidir.

Araştırma sonucu, doğal ve insan kaynaklı şevlerin risk değerlendirmesi için geoteknik mühendisliğine dayalı deneysel çalışmalar, sayısal analizler ve saha izleme, doğal ve yapay sismik hareketlerin geoteknik risk değerlendirmesi ve hasar azaltma teknolojileri, kentsel alanlardaki çökme veya obrukların mühendislik perspektifinden vaka çalışmaları ve geoteknik analizi, GIS veri tabanları, uzaktan algılama, yapay zekaya dayalı jeolojik tehlikeleri en aza indirmeye yönelik geoteknik konular hala üstünde fazlaca çalışılması gereken alanlar olarak bulunmuştur.

3.3 Proje Yönetiminde Geoteknik Riskler

Geoteknik riskler, genellikle projelerin başlangıç evresinde ortaya çıkan sorunlar olarak düşünülebilir; ancak aslında bu riskler, bir projenin doğasında var olan ve başlangıç aşamasından kapanış evresine, hatta teslim edilip işletilmeye başlandıktan sonraki süreçlere kadar, yaşam döngüsü boyunca karşılaşılabilen karmaşık ve çok yönlü durumları içermektedir. Mühendisler, müteahhitler, mal

sahipleri ve diğer ilgili paydaşlar, inşaat projelerinin her aşamasında bu geoteknik risklerle karşılaşma potansiyeliyle yüzleşirler.

Bu riskler arasında, bilinmeyen zemin koşulları genellikle en kritik ve maliyetli olanlar arasında yer alır. Geniş veya aşındırıcı topraklar, zemindeki süreksizlikler, ana kayaya kadar olan derinlik, yüksek yeraltı su seviyeleri ve bir dizi başka geoteknik zorluk; otoyollar, köprüler veya küçük büyük binalar gibi her türlü yapının bütünlüğünü ve projenin bütçesi ile zaman çizelgesini tehlikeye atabilir. Bu zorluklar, mühendislik çözümleri gerektirirken, aynı zamanda projelerin planlama ve uygulama aşamalarında dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Özellikle zemin etüdü ve geoteknik değerlendirmeler, projenin başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için temel adımlardır. Ayrıca, proje yöneticileri ve mühendisler, geoteknik riskleri önceden değerlendirmeli, uygun önlemleri almalı ve sürekli izleme yaparak olası sorunları önlemeye çalışmalıdır. Bu yaklaşım, projenin sürdürülebilirliğini ve başarısını sağlamak adına önemli bir rol oynar. Ne yazık ki, geoteknik riskler genellikle inşaat aşaması başladıktan sonra keşfedilir. Bu aşamada, bir Türk inşaat firmasının yaptığı Proje Geoteknik Çalışmaları için Risk Değerlendirmesi'nden alınan kapsamlı verilere dayanarak, geoteknik risklerin çeşitliliği ve etkileri üzerine detaylı bir analiz yapılmıştır. Bu analiz, proje planlama ve yürütme süreçlerinde karşılaşılabilecek potansiyel zorlukları daha ayrıntılı bir şekilde anlamamıza olanak tanırken, aynı zamanda etkili risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine yönelik rehberlik sunmaktadır.

Tablo 3.2 de bu kapsamlı analizin bir çalışması olup, içinde geoteknik risklerin yanı sıra bu risklere karşı alınabilecek önlemler (projelerde bariyerler olarak geçmektedir) ve sorumlularla ilgili bilgileri içermektedir. Bu bilgiler, inşaat sektöründeki paydaşların projelerin farklı aşamalarında karşılaşabilecekleri potansiyel zorlukları önceden tanımlayarak daha proaktif bir yaklaşım benimsemelerine yardımcı olabilir ve böylece projelerin başarılı bir şekilde tamamlanmasına katkıda bulunabilir. Geoteknik risklerin bu şekilde detaylı ele alınması, inşaat projelerinin sürdürülebilirliği ve uzun vadeli başarısı açısından kritik öneme sahiptir.

Tablo 3.2 Bir Türk inşaat firmasının Geoteknik Risk Değerlendirmesi

No	Geoteknik Risk	Proje Aşaması	Bariyer	Sorumlular, Departman
1	Teklif aşamasında güzergâhların jeolojik-jeofizik ve geoteknik detaylarının çalışılmaması	Teklif	• İnşaat çalışmalarının yapılacağı zeminin özellikle zemin mekaniği ve kaya mekaniği disiplinleri açısından incelenmesi.	Üst Yönetim, Teklif, Tasarım
2	Geoteknik araştırma faaliyetlerinin (sondaj, jeofizik, araştırma çukuru vb.) gecikmesi (işveren izni alınamaması, kamulaştırma sorunları)	Başlangıç, Planlama	• Saha izni için önceden başvuru • Kamulaştırma sorunlarının önceden çözülmesi • Makine ve ekipmanların mevcut ülke koşullarına göre zamanında planlanması • Tasarım ekipleriyle etkileşimli olarak çalışmak	Tasarım, Geoteknik, Planlama, Satın Alma ve Lojistik
3	Ehil olmayan firma ve kişilerle geoteknik etüt faaliyetleri yapmak	Başlangıç	Geoteknik raporlama ve proje planlama konusunda iyi referanslara sahip kişi ve kuruluşların, yapılacak sözleşmelerin işlerinden ne ölçüde sorumlu olacakları ve cezaları dikkatli ve dikkatli bir şekilde araştırılarak seçilmesi	Üst Yönetim, Genel Müdürlük İcra, Tasarım, Geoteknik
4	Tasarım sürecinin uygun olmayan alt yüklenicilerle yapılması ve danışmanlık onay süreçlerinin geciktirilmesi	Başlangıç, Planlama	• Tasarım alt yüklenicilerine ait tip sözleşmelerin oluşturulması ve gri alanların (kapsam, sorumluluklar) açıkça tanımlanmasının sağlanması • Tasarım planlamasının doğru ve net yapılması, süreç akışlarının tanımlanması ve kontrol noktalarının belirlenmesi	Üst Yönetim, Genel Müdürlük, Tasarım, Geoteknik

Tablo 3.2 Bir Türk inşaat firmasının Geoteknik Risk Değerlendirmesi (devamı)

5	Şartname dışı testlerin danışmana sunulması ve bütçeyi etkilemesi	Yürütme, İzleme ve Konrol	• İlgili testlerin sadece şirketin laboratuvarlarında yapılarak iç kontrolün sağlanması • İlgili konuların danışmanla teknik detaylar üzerinden incelenmesi	Geoteknik, Tasarım, Kalite, Teknik Ofis
6	Geoteknik laboratuvarının uygun yerde ve zamanında kurulmaması, makine ve teçhizatın yeterli düzeyde temin edilmemesi	Başlangıç, Planlama, Yürütme	Raporlama sürecine başlamadan önce kalibrasyon ve onaylar dahil laboratuvar, makine ve ekipman temininin tamamlanması.	Geoteknik
7	Mevcut geoteknik laboratuvarlarında uygulama eksikliği	Yürütme, İzleme ve Kontrol	• Tasarım planına uygun laboratuvar planlaması Akredite laboratuvarlardan hizmet almak	Proje Yönetimi, Tasarım, Geoteknik, Satın Alma
8	Yetkin ve tecrübeli geoteknik ekiplerin projeye zamanında gönderilememesi	Planlama, Yürütme, İzleme ve Kontrol	Proje Merkez Yürütme Grupları, Tasarım ve İK ile personel planlamasının yapılması	Geoteknik, Tasarım, Proje Merkez Yürütme Grupları, İK
9	Sondaj ve sondaj araştırma işlemleriyle ilgili düzeltilemeyen değişiklikler sırasında bekleyen sorunlar	Yürütme, İzleme ve Kontrol	Operasyon sonrası sondaj kuyularının betonlanması	Geoteknik, İSG
10	Sondajların çökmesi ve boruların sıkışması	Yürütme	Teknik şartnamenin sahaya uygun hazırlanması	Geoteknik, İSG
11	Operatör dışındaki makine ve ekipmanlara belirli bir mesafede durmamak	Yürütme, İzleme ve Kontrol	Delme makinesi ve çevresinin şeritlerle kaplanması	Geoteknik, İSG
12	Makine ekipman halatlarının periyodik bakımlarının yapılmaması	Yürütme, İzleme ve Kontrol	Her sondaja başlamadan önce kontrol etme	Geoteknik, İSG

Tablo 3.2 Bir Türk inşaat firmasının Geoteknik Risk Değerlendirmesi (devamı)

13	Yeraltı su seviyesi, TCR, SCR ve RQD değerlerinin yanlış ölçülmesi	Yürütme, İzleme ve Kontrol	Sondajdan 1 gün sonra ve belirli periyotlarla statik su seviyesinin ölçülmesi	Geoteknik, Çevre
14	Test çukurlarının uygun yöntemlerle doldurulmaması	Yürütme	Kazılan malzemelerin değiştirilmesi	Geoteknik, İSG
15	Sondaj aralıklarının gereğinden fazla belirlenmesi	Planlama, Yürütme, İzleme ve Kontol	• Proje koşullarına ve kapsamına göre sondaj aralıklarının belirlenmesi • Kazı derinliği en az 5 m olmalıdır • Yol, köprü ve viyadük dolgu yerlerinde sondaj derinliği ve mesafesi şartnamelere göre belirlenmelidir.	Geoteknik, Tasarım
16	Sondaj faaliyetleri sırasında yerleşim yerlerinin, altyapıların tesadüfi olması ve zarar görmesi	Planlama, Yürütme, İzleme ve Kontrol	• Sondaj yer planlarının belirlenerek bu planın görünüş ve koordinatlarla birlikte ölçekli harita üzerinde işlenmesi, tüm resmi ve özel kuruluşlarla (Belediye, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü- Devlet Su İşleri (DSİ), Karayolları Genel Müdürlüğü - Karayolları) görüşülmesi, çalışma alanlarında sondaj işlemleri sırasında oluşabilecek hasarların tespiti ve sondaj noktalarının zarar görmemesi için değiştirilmesi veya uygun şekilde yerlerinin değiştirilmesi. • Belirli derinliklerde manuel kazı • Resmi makamlardan as built paftalarının temin edilmesi	Geoteknik, İSG

Tablo 3.2'den de anlaşılacağı üzere, projelerin planlama ve tasarım sürecinde risklerin yetersiz saha araştırması gibi nedenlerden ötürü yeraltı koşullarının anlaşılmamasına yol açarak potansiyel olarak tasarım hatalarına veya inşaat zorluklarının hafife alınmasına neden olaraktan (su seviyesinin yeteri kadar dikkate alınmaması, çevresel ve iklim koşulları vb.) ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.5 Sondaj ringi ve saha koşulları

Öte yandan, yetersiz araştırmalar ve planlamalar, inşaat sürecinde başka önemli sorunlara neden olabilir. Özellikle sondaj işlemleri sırasında, yerleşim yerlerinin bodrum katları, kanalizasyon sistemleri, elektrik hatları, doğalgaz tesisatı, su ve petrol boruları gibi altyapıların tesadüfi bir şekilde belirlenmesi veya bu yapıların korunmaması, inşaat sırasında beklenmedik hasarlara yol açabilir. Aynı zamanda, sondaj sonrasında yeraltı su seviyeleri ile TCR, SCR ve RQD gibi önemli değerlerin yanlış ölçülmesi, jeolojik koşulların tam olarak anlaşılmaması veya yanlış anlaşılmasına ve belirlenememesine neden olarak tasarım aşamasında karmaşık zorluklara sebep olabilir. Kayaç süreksizlikleri, zemin karakteristikleri ve yeraltı oluşumları gibi faktörlerin eksik veya yanlış değerlendirilmesi, inşaatın ilerleyişini olumsuz etkileyebilir.

İnşaat projelerinin yürütme aşamasında, yanlış planlamadan kaynaklanan bir dizi diğer zorluklar da ortaya çıkabilir. Örneğin, geoteknik laboratuvarlarının uygun yerde ve zamanında kurulmaması, laboratuvarlarda eksik uygulamaların olması

veya yetkin ve tecrübeli geoteknik ekiplerin projeye zamanında gönderilememesi gibi durumlar, imalatların ve testlerin gecikmesine yol açabilir. Bu durum da bir dizi zincirleme etki yaratarak projenin genel sürekliliğini ve başarısını olumsuz etkiler.

Ayrıca, makine ve teçhizat temini konusunda yapılan yetersiz planlamalar, inşaat sürecinde gecikmelere ve sahada stresin artmasına neden olabilir. Bu durum, aceleye gelmeden kaynaklı işçilik sorunlarına, malzeme teslimlerinin geç kalmasına vb. diğer önemli süreçlerin etkilenmesine sebep olarak proje maliyetlerini artırabilir ve zaman çizelgesini olumsuz etkileyebilir. İnşaat sürecinde tüm bu faktörlerin doğru bir şekilde yönetilmesi projenin başarılı sonuçlanması için elzemdir.



Şekil 3.6 Topoğrafik araştırma çalışmasına bir örnek

Yapım aşamasında makinelerden ve dikkatsizliklerden kaynaklanabilecek iş kazaları ise sık karşılaşılan öteki risklerdendir. Sahada her zaman bir İş Sağlığı ve Güvenliği süpervizörünün bulunması alınabilecek önemli önlemlerdendir. Örnek olarak makine ekipman halatlarının periyodik bakımlarının yapılmaması ileride küçük meblağlarda bakım maliyeti ödemek yerine direkt hasarlardan kaynaklı büyük miktar tamir faturası ödenmesine veya makinenin direkt değiştirilmesi ve buna bağlı birçok mali ve zamansal risklerin doğmasına yol açacaktır. Bu tür riskler için izleme ve kontrol aşamalarında daha dikkatli olmak gerekmektedir. Şartname

dışı testlerin danışmana sunulması ve bütçeyi etkilemesi, maliyet sorunları dışında teknik sorunlara da yol açar. Bu konu için şartnameler konusunda kalite departmanın yönergeleri dışına sapılmamalıdır. İmalat ve test aşamalarında sondajların çökmesi ve boruların sıkışması, test çukurlarının uygun yöntemlerle doldurulmaması kalite ve iş sağlığı ve güvenliği risklerini artırmaktadır. Tüm bahsedilen bu risklerden kaynaklı oturma, taşıma kapasitesi sorunları veya beklenmedik zemin hareketi (planlama, tasarımın iyi yapılmamasından kaynaklı olabilir) dahil olmak üzere temel tasarımı ve inşaatıyla ilgili zorluklar, kazı sırasında öngörülemeyen toprak koşulları, toprak çökmesi, toprak kayması veya su girişi gibi riskler (projenin uzun vadeli stabilitesini etkileyebilecek) oluşabilir. İzleme ve kontrol aşamasında, yeterince dikkate alınmayan deformasyonlar, standartların dışında kalan imalatların (örneğin minimum kazık boyunun aşılması, zemin çivisi aralıklarının standartlar dahilinde olmaması vb.) kalite mühendisleri tarafından teslim alınması, aceleye getirilen geoteknik imalatların sistemi oturmadan sonraki aşamaya geçilmesi gibi problemler sonrasında çok daha büyük problemlere yol açacaktır.

Özellikle izleme ve kontrol etme aşamasında, her türlü riski gözden geçirmek, olası tehlikeleri tahmin etmek çok önemlidir. Kapanış ve proje sonrası aşamalarında ise yeraltı koşullarındaki değişiklikler altyapının bütünlüğünü etkileyebileceğinden ve geoteknik hususlar ile ilgili devam eden bakım sorunları, arazi kullanımındaki değişikliklerin veya yakınlardaki gelişmelerin (yol yapım çalışmaları vb.) proje sahasının stabilitesini etkileyebileceğinden dolayı proje tamamlandıktan sonra bile bu şekilde potansiyel riskler oluşabilir. İnşaat projesinin iskeleti olan geoteknik kısım, işte bu yüzden risk yönetimde oldukça önem verilmesi, gerekirse bütçe ve zaman fedakarlıkları yapılarak çalışılması gereken bir konudur.

Projede değişiklikler veya genişletmeler planlanıyorsa, mevcut yapının değişiklikleri destekleyebilmesini sağlamak için geoteknik hesaplamaları yeniden değerlendirilmelidir. Yapıya ilave yüklerin eklenmesi veyahut proje kapsamında değişikler yapılması, sadece mevcut durumu etkilemekle kalmayıp aynı zamanda yeni geoteknik zorlukları da beraberinde getirebilir. Bu değişiklikler, daha önce düşünülmemiş veya öngörülememiş zemin koşullarını ortaya çıkarabilmekle beraber projenin önceki revizyonunda gerekmeyen zemin iyileştirilmesi gibi ek imalatların yapılması gerekliliği oluşabilir.

Küçük miktarlardaki tehlikeli maddelerin alıcı hidrolojik ortamlara kazara dökülmesi veya salınması sonucu çevre ve sosyal sorunların oluştuğu da görülmektedir. Projenin başarılı bir şekilde inşa edilmesi için gerekli olan sondaj izinlerine / ruhsatlarına olan ihtiyacı ve uygulanabilirliğini teyit etmek için yerel makamlara danışılmalıdır. Bu tür deşarj izinleri / ruhsatları, rutin teftişler ve / veya denetimler yoluyla takip edilecek bazı yükümlülüklerle ilişkilendirilecektir. Gerekli izinlerin alınmaması sonucu oluşabilecek sorunlar, inşaat kapanışından sonra dahi, herhangi bir tüzel kişiliğin şikayetleri sonucunda fark edilip, şirketlerin başına büyük problemler yaratabilmektedir. Bu bağlamda, proje yönetimi, tasarım, saha ekipleri, kalite, iş sağlığı ve güvenliği departmanları başta olmak üzere tüm ilgililer yapılan değişikliklere uyum sağlamak ve olası riskleri minimize etmek için sürekli olarak güncel koşulları ve mühendislik gereksinimlerini gözden geçirmekle sorumludur. Tüm geoteknik riskler, diğer proje riskleri ile beraber inşaat yönetimi planının risk yönetimi bölümünde konsolide edilmeli ve tanımlanmalıdır.



Şekil 3.7 Zemin kayması [159]

Risk yönetimi planı hazırlanırken, şirketlerin riskleri belirleme aşamasında önceki projelerinden edindikleri deneyimleri dikkate almaları kritik bir öneme sahiptir. Bu, geçmişteki projelerde karşılaşılan zorlukları öğrenme ve kazanılmış dersleri gelecek projelerde uygulama fırsatı sunar. Öncelikle, geçmiş projelerin başarıları ve başarısızlıkları üzerinden çıkarılan öğretiler, risk yönetimi planının temelini oluşturmalıdır. Başarılı projelerde hangi faktörlerin etkili olduğu, riskleri nasıl azalttığı ve proje süreçlerini nasıl optimize ettiği analiz edilmelidir. Aynı şekilde,

başarısız projelerde neyin yanlış gittiği, hangi risklerin göz ardı edildiği veya nasıl yönetilemediği incelenmelidir. Bu analiz, gelecek projelerde benzer hataların tekrarlanmasını engelleyebilir ve daha etkili bir risk yönetimi sağlayabilir. Ayrıca, şirketin sektöründeki genel eğilimleri, pazar koşullarını ve teknolojik gelişmeleri de değerlendirmek, gelecek projelerde karşılaşabilecek potansiyel riskleri daha iyi anlamalarına yardımcı olabilir. Geçmiş projelerden edinilen deneyimler ve kazanılmış derslerin risk yönetimi planına entegre edilmesi, projenin her aşamasında daha iyi kararlar alınmasını sağlar. Bu, şirketin daha etkili ve sürdürülebilir projeler gerçekleştirmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, bu süreç, kurumsal öğrenmeyi teşvik eder ve şirketin sürekli iyileşme ve gelişme stratejilerine katkıda bulunabilir. Sonuç olarak, geçmiş projelerden elde edilen derslerin risk yönetimi planına entegrasyonu, şirketin proje başarı oranını artırabilir ve şirketlere pazarda rekabet avantajı sağlayabilir.

Risk yönetimi ve analizleri sürecinde önemli bir yere sahip olan geoteknik mühendisi, bir projenin fizibilitesini onaylamaktan sorumludur. Bunu yapmak için, geoteknik ekibi ile birlikte arazinin önerilen inşaatı destekleyebileceğinden emin olunmalı, bir dizi test ve değerlendirme yapılmalıdır. Bu, projenin hem kısa hem de uzun vadeli başarısını etkileyebilecek faktörlerin kapsamlı bir şekilde kontrol edildiği bir saha araştırması ile başlar.

Geoteknik dalı karmaşık bir inşaat mühendisliği dalıdır. Yapı, inşaat, ulaşım, çevre, deprem, hidrolik, inşaat ve makine mühendislerinin çalışmaları dahil olmak üzere mühendislik disiplinlerinin çoğunu etkiler ve çoğundan da etkilenir. Her durumda, geoteknik uzmanını projenin başlangıç aşamasından proje derhal dahil edip, proje sonuna kadar onu projede aktif bir şeklide tutmak, yeraltı risklerini ve bunların neden olabileceği potansiyel zararları azaltmanın anahtarıdır. Çünkü geoteknik mühendisliğinin amacı komplikasyonları gerçekleşmeden önce önlemeye ve azaltmaya yardımcı olmaktır. Zemin ve kaya özellikleri ve davranışı ile bunların üzerine veya içine inşa edilen yapılarla nasıl etkileşime girdiğinin derinlemesine anlaşılmasını sağlar. Bir geoteknik mühendisi tarafından sağlanan gelişmiş hesaplamalar ve testler olmadan, binalar bir depremden sonra önemli hasar görebilir, şev stabilitesi sorunları oluşabilir, devamında oturma ile birlikte yeni problemler görülebilir. [160]'e göre iyi geliştiriciler ve müteahhitler bilir: Keşiften inşaata kadar yalnızca bir geoteknik profesyonelinin sağlayabileceği uzmanlık ve

tavsiyeyi almak en iyi seçenektir. Ayrıca, bir geoteknik mühendisi su, sızıntı azaltma, bina yerleştirme ve yürüyüş yolları, otoparklar gibi çevredeki yapıların projeyi nasıl etkileyeceği konusunda rehberlik edebilir. Sonuç olarak, geoteknik mühendisliğinin önemi, projenin geliştirilmesi ve uzun vadeli yatırımı ile ilgili risklerin planlanması ve azaltılmasında ortaya çıkmaktadır.

Yapı sektörü, maliyet ve hız odaklı bir sektördür. Genelde, en düşük teklifi sunan işi alır ve gerekli görülmeyen harcamalar veya önlemler için kısıtlı ve ortada özenle harcanması ve ekstralardan kaçınılması gereken bir bütçe vardır. Proje bütçeleri ve zaman çizelgeleri doğal olarak zeminin araştırmasına ilişkin kalemleri hesaba katılırken yalnızca yönetmelik gerekliliklerinin karşılanmasına odaklanılması ile potansiyel inşaat sorunları gözden kaçabilir. Örneğin, derin temeller üzerine inşa edilen yapılar için New York Şehri Bina Kodu, her 2.000 fit kare için en az bir sondaj gerektirir. Proje bütçeleri ve zaman çizelgeleri, tipik olarak, sorunlu toprakları değerlendirmek veya bir sahadaki benzersiz geoteknik koşullar hakkında daha fazla bilgi sağlamak için gerekli olabilecek ek sondajlar veya daha kapsamlı araştırma yöntemleri gibi daha fazla geoteknik keşif için maliyetleri veya zamanı içermez. Amerika Birleşik Devletleri'nde bir geoteknik araştırmasının maliyetinin, proje boyutuna ve konumuna bağlı olarak tipik olarak 5.000 ila 100.000 ABD Doları arasında değiştiği, ancak büyük, karmaşık projeler ve yapılar için 1 milyon ABD Dolarını aşabildiği belirtilmektedir.

Kapsamlı bir geoteknik araştırma ile daha basit ve yüzeysel bir geoteknik araştırma arasındaki maliyet ve fırsat maliyeti dengesi, inşaat projelerinde stratejik bir karar alınmasını gerektiren kritik bir noktayı oluşturur. Kapsamlı bir geoteknik araştırma, zeminin detaylı bir şekilde incelenmesini sağlar, ancak bu genellikle daha yüksek maliyetlere ve uzun süreçlere yol açabilir. Bu nedenle, bir projenin bütçesi ve zaman çerçevesi düşünüldüğünde, bu seviyede bir araştırmanın doğru bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Öte yandan, sınırlı bir geoteknik araştırma, daha kısa sürede ve düşük maliyetle gerçekleştirilebilir. Ancak, bu durumda ortaya çıkabilecek fırsat maliyeti, projenin ilerleyen aşamalarında karşılaşılabilecek potansiyel problemlerin belirlenmesi konusundaki eksikliklere yol açabilir. Bu da projenin maliyet ve zaman çizelgesini etkileyebilir.

Standart gereksinimlerin ötesinde zemin testi yapılması, mühendislik ekiplerine daha kapsamlı ve derinlemesine bilgiler sağlar. Bu bilgiler, alternatif inşaat

yöntemlerinin fizibilitesini değerlendirme ve optimize etme imkanı tanır. Özellikle karmaşık veya riskli zemin koşullarına sahip projelerde, bu detaylı bilgilerin elde edilmesi, proje maliyetlerini minimize etmek ve riskleri yönetmek açısından önemlidir.

Bu bağlamda, projenin özelliği, büyüklüğü, karmaşıklığı ve bütçesi göz önüne alındığında, mühendislik ekipleri, optimal bir denge bulmak amacıyla geoteknik araştırma stratejilerini dikkatlice planlamalıdır. Doğru ve etkili bir zemin analizi, projenin başarılı bir şekilde ilerlemesini sağlayabilir, maliyet aşımlarını önleyebilir ve inşaat sürecini daha güvenilir kılabilir. Unutulmamalıdır ki, doğru geoteknik bilgilerle yapılan başlangıç, projenin ilerleyen aşamalarında karşılaşılabilecek sorunlara karşı bir güvence sağlayacaktır.

Özellikle ABD inşaat projelerindeki iddiaların ve anlaşmazlıkların temel nedenlerini analiz eden HKA adlı bir danışmanlık şirketi, risk azaltma, anlaşmazlık çözümü, uzman tanık ve dava desteği gibi alanlarda küresel danışmanlık vermektedir. Bu şirketin çıkardığı yıllık bir yayında vurgulanan bir kilit nokta, geoteknik uzmanlık hizmetlerinin, inşaat projelerindeki iddiaların ve anlaşmazlıkların temel nedenlerini anlamak ve çözümlemek açısından kritik bir rol oynadığıdır. Şirketin talep danışmanlığı ve uyuşmazlık çözümü hizmetlerinin bir parçası olarak sunduğu geoteknik uzmanlık, ABD inşaat projelerinde karşılaşılan sorunların çözümünde etkili bir araç olarak öne çıkmıştır.

Özellikle "öngörülemeyen fiziksel koşullar”ın, iddiaların ve anlaşmazlıkların önde gelen nedeni olarak belirlenmesi dikkat çekicidir. Bu durum, geoteknik risklerin, özellikle zemin koşulları ve jeolojik faktörlerin önceden tahmin edilemeyen karmaşıklıklarının projelerde çeşitli sorunlara yol açtığını göstermektedir. HKA şirketinin bu tespiti, geoteknik uzmanlığın, proje yönetimi sürecinde riskleri önceden belirleyerek, anlaşmazlıkları çözme ve talepleri etkili bir şekilde yönetme konularında ne kadar kritik bir rol oynadığını vurgular. Bu, özellikle inşaat projelerindeki karmaşık zemin koşullarının ve geoteknik risklerin proje planlamasında ve uygulanmasında daha fazla öneme sahip olduğu durumlarda dikkat çekicidir. Bu da belirsizlikleri anlamaya çalışan ve yol açabileceği sorunlara çözüm getiren uzmanlığın, inşaat projelerinin başarılı bir şekilde yönetilmesinde kritik bir rol oynadığına işaret etmektedir.

HKA’nın 2010 ve 2023 yılları arasında yapım aşamasında olması incelediği bahsedilen projelerin toplam sermaye harcaması değeri 3 milyar dolara yakındı. Verilere göre, ortalama olarak, bir projenin toplam sermaye harcamasının üçte birinden fazlası yani yaklaşık 28,7 milyon dolar geoteknik araştırmalar için harcandı. Bütçe etkilerine ek olarak, bu projelerle ilgili sorunlar, orijinal proje zaman çizelgesinin yüzde 9,9'u kadar talep edilen ortalama bir süre uzatımına yol açtı. Bu önemli sorunlar, jeolojik saha risklerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması ve bunları önceden yönetme planları ile muhtemelen hafifletilebilir ve bazı durumlarda tamamen önlenebilirdi, bu da bir projenin başlangıcında yeraltı risklerini belirlemek ve bu riskleri en aza indirmek için işbirliği içinde çalışmak ve bu sayede de gecikmeleri ve maliyet aşımlarının önüne geçmek ile mümkün olabilirdi [161].

4
ANKET ÇALIŞMASI

4.1 Anket Tanıtımı

Bölüm 2'de belirtilen, literatür taraması ile seçilen 19 adet teknolojik aracı (Tablo 4.1);

Tablo 4.1 Teknolojik araçlar

No	Teknolojik Araç
1.	Bulanık mantık / Monte Carlo
2.	Planlama Yazılımları
3.	Modelleme Yazılımları
4.	Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)
5.	Blok Zincir
6.	Telefon / Tablet İçin Mobil Uygulamalar
7.	Mekânsal Teknolojiler: GIS
8.	Görüntü Yakalanan Teknolojiler
9.	Optimizasyon Yöntemleri
10.	Bulut Bilişim Teknolojileri
11.	Artırılmış Gerçeklik / Sanal Gerçeklik / Karma Gerçeklik
12.	Nesnelerin İnterneti (IoT)
13.	Büyük Veri Analitiği
14.	Robotik Uygulamalar
15.	Giyilebilir Teknoloji
16.	Kaynak Planlama ve Veri Yönetimi Araçları
17.	Kablosuz İletişim Teknolojileri
18.	Gelişmiş Bilgi Teknolojileri (E-Posta, Ses, El Bilgisayarı)
19.	Makine Öğrenmesi

inşaat sektöründe 0 (1 yılını tamamlamamış) – 35 yıl arası çalışan uzmanlara daha önce kullanıp kullanmadıkları, kullandıkları ise bu teknolojik araçların proje performans kriterlerinde ve proje yönetimi yaşam döngüsü aşamalarında geoteknik risklerin yönetilmesinde sağlayabilecekleri katkı düzeyleri 1-7 Likert (1 çok-az- 7 çok-aşırı) Ölçeğinde değerlendirmeleri istenmiştir.

Tablo 4.2 Anket için seçilen geoteknik riskler

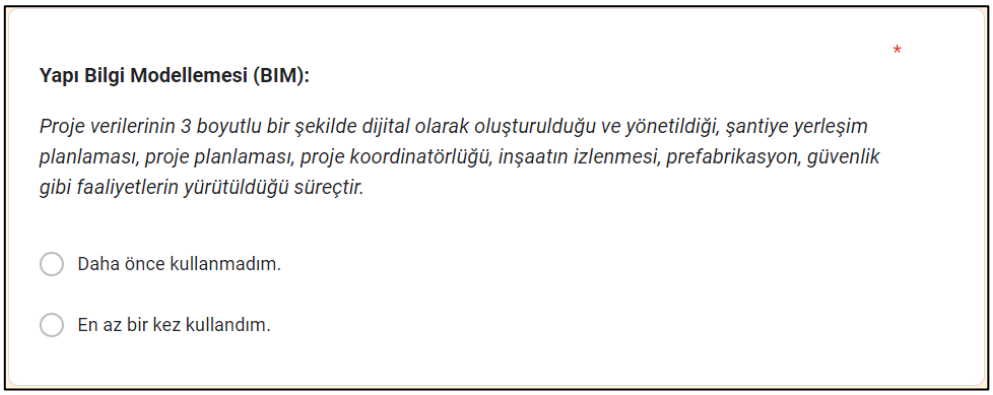
No	Geoteknik Riskler
1.	Şev Kayması
2.	Zeminde Sıvılaşma
3.	Taşıma Gücü Kaybı
4.	Kazı Tabanı Çökmesi
5.	Şişme/Büzülme
6.	Oturma (ani konsolidasyon)
7.	Donma-Çözünme Etkisi
8.	Yeraltı Suyu Yükselmesi
9.	Kazık Stabilitesi
10.	Kayaç Süreksizlikleri

Ankette üstünde çalışılacak geoteknik riskler, literatür taraması ve bilirkişilerle yapılan görüşmeler sonucunda Tablo 4.2'deki gibi seçilmiştir. Ankette ilk olarak katılımcılara teknolojik araçlar tanıtılmış (Şekil 4.1), bu araçları kullandılar ise sorulara deneyimlerine göre cevap vermelerini, kullanmadılar ise aracın tanımına göre kendi fikirlerince aşağıdaki anketten bir kısmı verilen sorulara tek tek düzeyleri 1-7 ölçeğinde cevap vermeleri beklenmiştir:

2. TEKNOLOJİK ARAÇLAR VE TANIMLARI

Teknolojik araçlar	Tanımlar
Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)	Proje verilerinin 3 boyutlu bir şekilde dijital olarak oluşturulduğu ve yönetildiği, şantiye yerleşim planlaması, proje planlaması, proje koordinatörlüğü, inşaatın izlenmesi, prefabrikasyon, güvenlik gibi faaliyetlerin yürütüldüğü süreçtir.
Telefon / tablet için mobil uygulamalar	Saha ziyaretlerini kolaylaştıran ve hareket halinde işlerin tamamlanmasını sağlayan uygulamalardır. Örneğin; AUTOCAD çizimlerini görüntülemeyi, oluşturmayı ve düzenlemeyi sağlayan DWG görüntüleme uygulaması, e-fatura, beton hesaplayıcı uygulamalar gibi.
Planlama yazılımları	Projeleri ve programları planlamak, yönetmek ve yürütmek için bir çözümdür. Örneğin; Primavera P6, MS Project gibi.
Modelleme Tasarım/ Analiz Yazılımları (Plaxis, K-REA, RS2 DeepSoil, GEO5)	Geoteknik mühendisliğinde çeşitli deformasyon, stabilite analizleri gibi temel hesaplardan kazık-destek tasarımı analizlerinden tünel açma nedeniyle bina hasarı gibi daha spesifik konulara kadar kullanılabilen programlardır.
Mekansal teknolojiler: GIS (Coğrafik Bilgi Sistemi), Akıllı sensörler, vb.)	**GIS:** Çevresel veri analizi ve planlaması için güçlü bir araçtır. GIS, mekansal bilgileri (verileri) dijital bir haritalama ortamında saklar. **Akıllı sensör**: Çevresel girdileri (nem, sıcaklık, duman, su kaçağı) okunabilir verilere dönüştürmek ve daha sonra merkezi bir depoya iletmek için kullanır ve veri dağıtımında çok önemli bir rol oynar. Kablosuz eğim sensörü gibi

a)



b)

Şekil 4.1 Ankette teknolojik araçların tanıtıldığı bölüm a) fiziki ankette b) Google Formlar'da

1) İlgili teknolojik aracın örneğin No.1 Şev Kayması riskinin çözülmesine /öngörülmesine ne derecede katkı sağladığı/sağlayabileceği

Teknolojik Araçlar	Daha önce kullanmadım	Geoteknik Uygulamalarında Karşılaşılan Problemler/Riskler									
		Şev Kayması	Zeminde Sıvılaşma	Taşıma Gücü Kaybı	Kazı Tabanı Çökmesi	Şişme/Bitzülme	Oturma(ani konsolidasyon)	Donma-Çözünme Etkisi	Yeraltı Suyu Yükselmesi	Kazık Stabilitesi	Kayaç Süreksizlikleri
Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Telefon / tablet için mobil uygulamalar		3	3	4	3	2	3	4	5	4	1

Şekil 4.2 İlk kategori soru örneği, fiziki anket (cevaplar göstermeliktir)

2) Bu teknolojik araç ile geoteknik risk yönetiminin performans kriterlerine sağlayabilecekleri katkı düzeyi

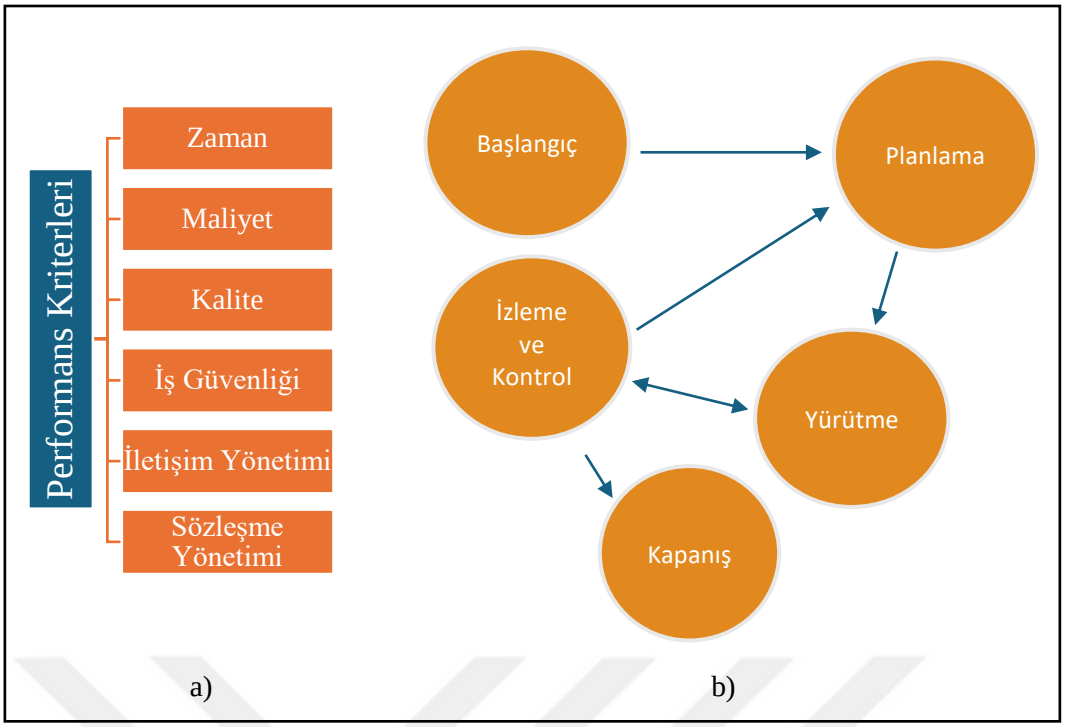
Teknolojik araçlar	Performans Kriterleri					
	Zaman	Maliyet	Kalite	İş güvenliği	İletişim Yönetimi	Sözleşme Yönetimi
Bulanık mantık / Monte Carlo	1	1	1	1	1	1
Planlama yazılımları	7	7	7	7	7	7

Şekil 4.3 İkinci kategori soru örneği, fiziki anket (cevaplar göstermeliktir)

3) Bu teknolojik aracın proje aşamalarında geoteknik risk yönetimine sağlayabileceği katkı düzeyinin ne olduğu veya olabileceği sorulmuştur.

Teknolojik araçlar	Proje Yönetimi Yaşam Döngüsü Aşamaları				
	Başlangıç	Planlama	Yürütme	İzleme ve Kontrol etme	Kapanış
Bulanık mantık / Monte Carlo	1	1	2	2	3
Planlama yazılımları	4	5	5	2	1

Şekil 4.4 Üçüncü kategori soru örneği fiziki anket (cevaplar göstermeliktir)



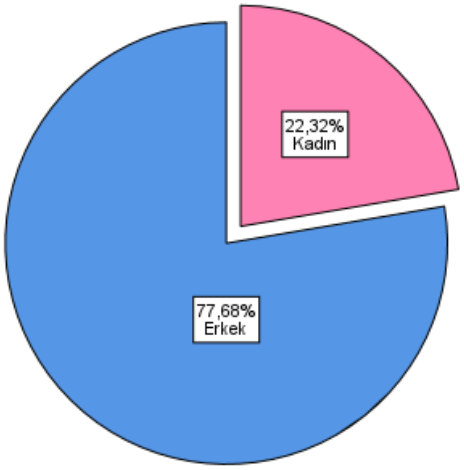
Şekil 4.5 a) Performans Kriterleri ve b) Yaşam Döngüsü

Ankette toplam 3 ana başlık altında 418 adet soru sorulmuştur. Bunların 19 adeti ilgili teknolojik aracın kullanılıp kullanılmadığı ile ilgilidir. Anket verileri istatistik analizi aracı olan SPSS ile analiz edilmiş, verilerin önce normal dağılımlı olup olmadığı test edilmiştir.

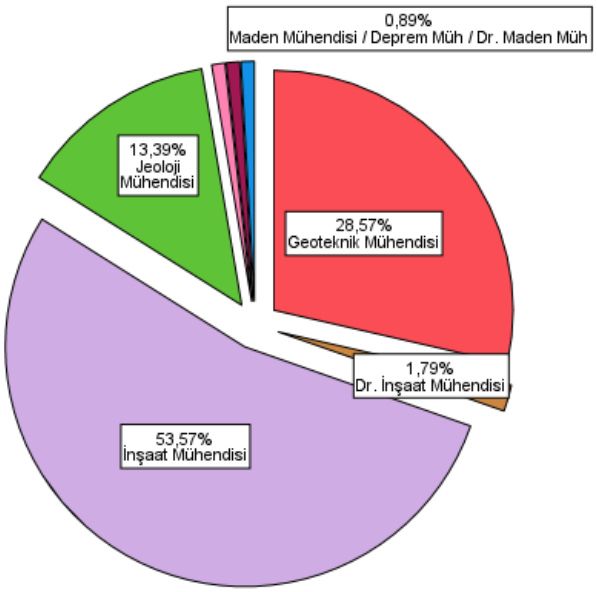
Hangi teknolojik aracın hangi proje performans kriterinde daha etkili olduğu ya da bu araçların proje yaşam döngüsüne ne derece katkı sağladığı & sağlayabileceğinin geoteknik riskler kapsamında incelenmesi sonucunda sonuçlar kategorileştirilerek veya karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, sektörün içindeki geoteknik risklerle sıkça yüzleşen uzmanların tecrübelerine dayanarak, ilgili teknolojik araçların geoteknik risklerin yönetimi süreçlerine katkılarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda anketin gelecekteki projelerde katılımcılara teknolojik araçları tanıtmanın yanı sıra ileride katılımcıların yer alabileceği projeler kapsamında katılımcılarda bu araçların daha etkin kullanımı için farkındalık yaratılması istenmiştir.

4.2 Anket Katılımcıları Analizi

Ankete 25'i (%21,43) kadın, 87'si (%78,57'si) erkek olmak üzere toplam 112 kişi katılmıştır.



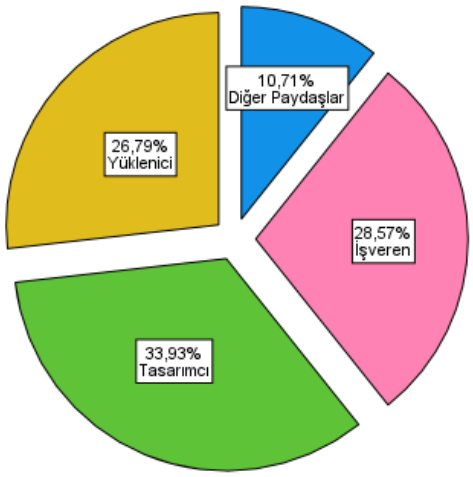
Şekil 4.6 Cinsiyet dağılımı



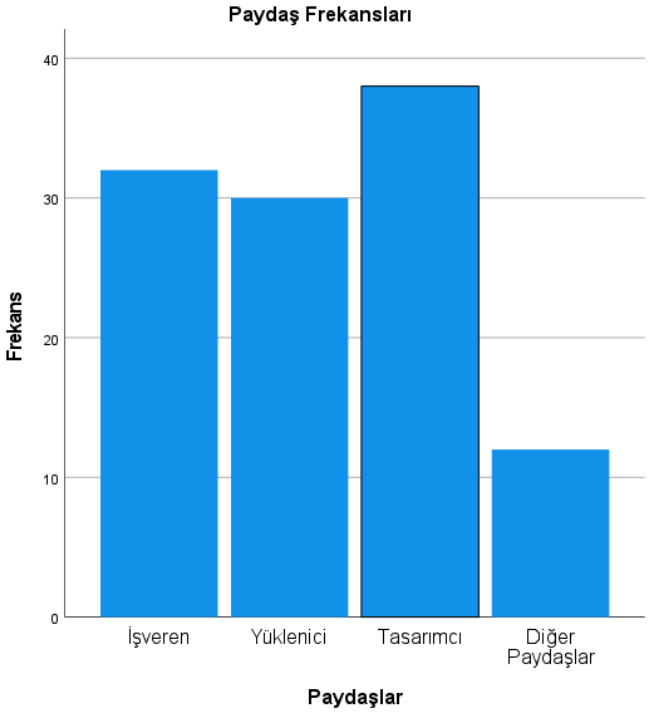
Şekil 4.7 Katılımcıların meslekleri

Anket katılımcılarının yaklaşık %85'i daha önce geoteknik alanında şantiyede, ofiste veya akademide çalışmış İnşaat Mühendisleri olmakla birlikte, %1,79'luk kısım Doktor İnşaat Mühendislerinden, %28,57'si ise Geoteknik alanında uzmanlık yapan Geoteknik Mühendislerinden oluşmaktadır. Geriye kalan yaklaşık %15'lik kısmın %13,39'u Jeoloji, Jeofizik gibi yerküre dallarında uzmanlaşmış mühendislerden oluşurken, yaklaşık %1'lik oranlarda ankete Maden Mühendisi,

Dr. Maden Mühendisi ve Deprem Mühendisleri de katılmıştır. Anket katılımcılarının çoğunluğu LinkedIn sosyal iş ağından bulunup Google Anket katılımları sağlanırken, yüz yüze görüşmeler ve anketin fiili dağıtımıyla da ankete katılım sağlanmıştır.



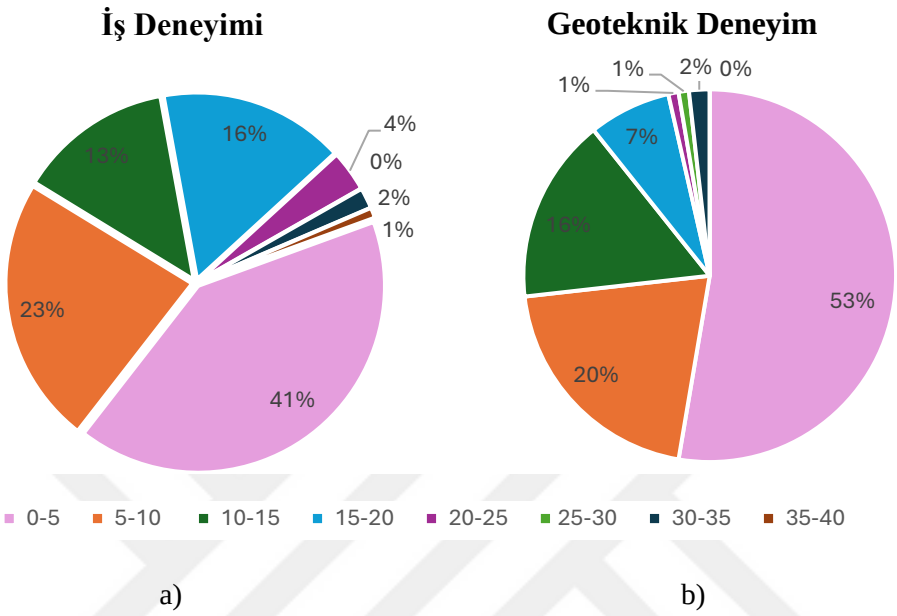
a)



b)

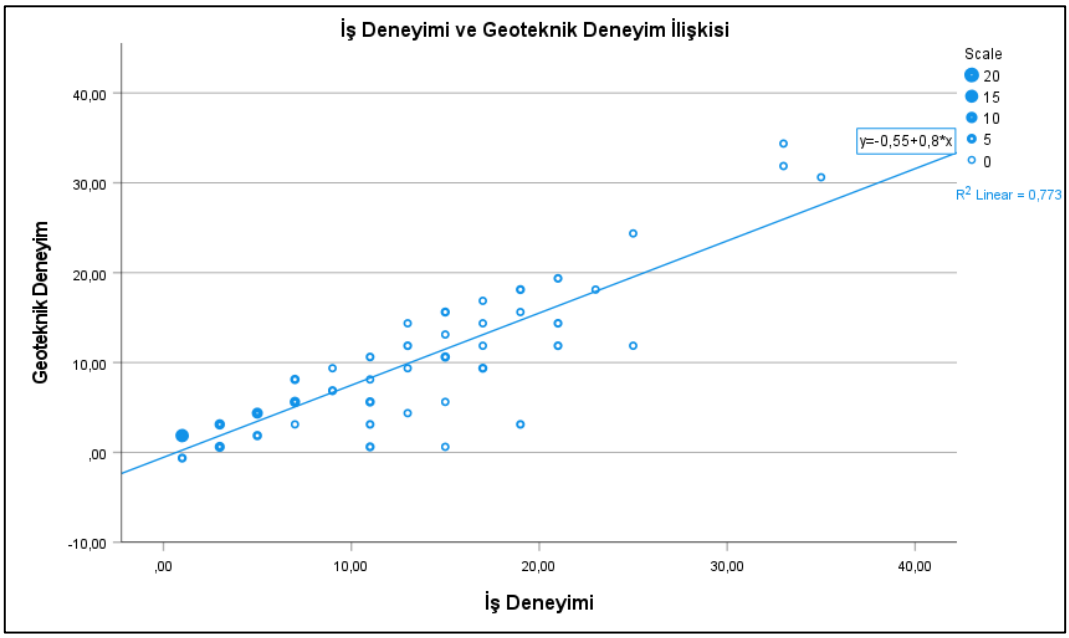
Şekil 4.8 a) Katılımcıların kurumlarının sektördeki rolü pie-chart b) Kurum türü frekansları

Katılımcıların çalıştıkları kurumların %33,93'ü tasarımcı, %28,57'si işveren, %26,79'u yüklenici, %7,14'ü danışman, %2,68'i denetim, %0,89'u ise tedarikçi firmalarda çalışmaktadırlar. Testlerde danışman, denetim ve tedarikçi paydaşlar, "diğer paydaşlar" adı altında birlikte değerlendirilmişlerdir.



a) b)

Şekil 4.9 Katılımcıların a) Toplam b) Geoteknik aktivitelerde iş tecrübeleri (yıl)



Şekil 4.10 Anket katılımcılarının iş tecrübesi ile geoteknik uygulama tecrübesi arasındaki ilişki

*Akademisyenler çalıştıkları kurum ve dala göre danışman veya tasarımcı kategorilerine dağıtılmıştır.

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 incelendiğinde çalışanların ortalama iş tecrübelerinin yaklaşık 10 yıl, geoteknik işlerdeki tecrübelerinin ise yaklaşık 7 yıl olduğu görülmektedir. Genç katılımcının katılımcıların ortalama yarısını oluşturduğu, 5-20 yıl arası çalışanların ise katılımcıların yaklaşık diğer yarısını oluşturduğu gözlemlenmektedir. %7'lik bir kısmı 25-40 yıllık çalışma tecrübesine sahip olanlar oluşturmaktadır. Toplam geoteknik iş tecrübeleri ise benzer oranlardan oluşmaktadır.

Katılımcıların tamamının geoteknik işlerle ilgili tecrübesi vardır. Katılımcıların iş tecrübesi ile geoteknik uygulama tecrübesi arasındaki ilişki incelendiğinde iş deneyimi arttıkça geoteknik uygulamalarda deneyim süresinin de arttığı, iş tecrübesi ile geoteknik tecrübe arasında doğru orantı olduğu görülmektedir. İleride anlatılacak Wilcoxon Testi ile iş tecrübesi ve geoteknik tecrübe arasında anlamlı farklılık olduğu da bulunmuştur (p=0,000 < 0,05).

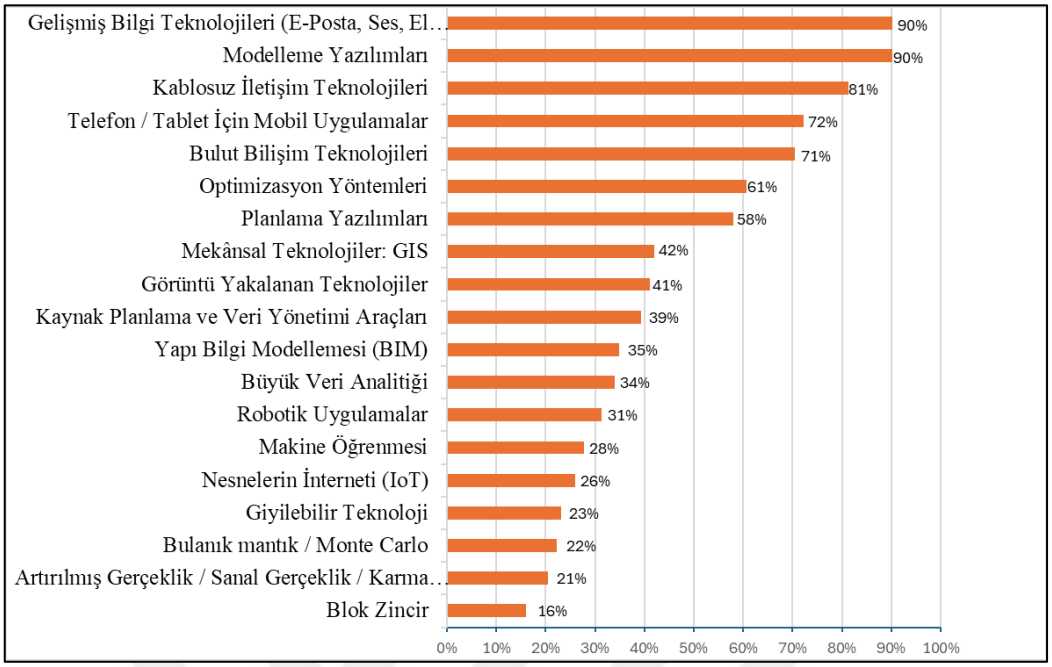
Test Statistics[a]

	İş-Geoteknik
Z	-4,435[b]
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000

Şekil 4.11 İş tecrübesi ile geoteknik işlerde tecrübe arasında ilişki

4.3 Anket Cevapları Analizi

Teknolojik araçların kullanımı ile ilgili olarak e-posta, ses, el bilgisayarı gibi gelişmiş bilgi teknolojileri ve Plaxis, K-REA, RS2 DeepSoil, GEO5 gibi modelleme, tasarım/analiz yazılımları katılımcıların en az bir kere kullandığı teknolojik araçlarda en çok seçilen araç olmuştur (101/112). Bluetooth, Wireless, WSN, WLAN gibi kablosuz iletişim teknolojileri, telefon, tablet için mobil uygulamalar, kurulum gerektirmeyen web tabanlı uygulamalar ile işlemsel olarak kolaylık sunması yanında birçok verinin saklanmasına yarayan bulut bilişim teknolojileri, yapılacak iş için en kısa yolu belirleyen optimizasyon yöntemleri, Primavera gibi planlama yazılımları ise en az bir kez kullanılan araçlarda en üst sırada bulunmaktadır. Blok zincir daha önce kullanılan araçlar arasında en az kullanılan araç olmuştur (18/112). Artırılmış, sanal ve karma gerçeklik de blok zincirden sonra en az kullanılan ikinci araç seçilmiştir.



Şekil 4.12 Daha önce verilen teknolojileri an az bir kere kullanan katılımcıların yüzdesi

4.3.1 Güvenilirlik Testi

Geçerlilik, toplanan verilerin gerçek araştırma alanını ne kadar iyi kapsadığını açıklarken, güvenilirlik bir olgunun ölçümünün ne ölçüde istikrarlı ve tutarlı sonuçlar verdiğiyle ilgilidir [162] [163].

4.3.1.1 Güvenilirlik Testi

Güvenilirlik testi, bir ölçüm aracının bütünlüğü içinde tutarlılığını ifade eder. Ölçekteki maddeler birbiriyle uyumluysa ve aynı yapıyı ölçüyorsa, bu ölçek yüksek iç tutarlılık güvenilirliğine sahip olarak değerlendirilir. İç tutarlılık ölçümlerinde en yaygın kullanılan yöntem Cronbach Alfa katsayısıdır. Likert ölçeklerinin uygulanmasında, bu katsayı en uygun güvenilirlik ölçütü olarak kabul edilir. Bu nedenle, anket sonuçlarının güvenilirliği Cronbach Alfa katsayısı üzerinden değerlendirilmiştir. Genel olarak Cronbach Alpha katsayısının $\alpha > 0{,}70$ olması, oluşturulan ölçeğin yüksek güvenilirlik taşıdığını gösterir.

Cronbach Alpha katsayısı her soru kategorisi için SPSS programı ile bulunmuş olup, α değerleri bütün kategoriler için 0,70'den büyük çıkmıştır.

Cronbach's Alpha	N	İlgili Kategori
0,954	10	BIM Geoteknik Riskler
0,886	6	BIM ve Performans Kriterleri
0,915	5	BIM ve Proje Yaşam Döngüsü
0,969	10	Telefon, Tablet Uygulamaları Geoteknik Riskler
0,928	6	Telefon, Tablet Uygulamaları ve Performans Krterleri
0,936	5	Telefon, Tablet Uygulamaları ve Proje Yaşam Döngüsü
0,989	10	Planlama Yazılımları ve Geoteknik Riskler
0,925	6	Planlama Yazılımları ve Proje Performans Kriterleri
0,967	5	Planlama Yazılımları ve Proje Yaşam Döngüsü
0,946	10	Modelleme Yazılımları ve ve Geoteknik Riskler
0,773	6	Modelleme Yazılımları ve Proje Performans Kriterleri
0,848	5	Modelleme Yazılımları ve Proje Yaşam Döngüsü
0,948	10	Mekansal Teknolojiler ve ve Geoteknik Riskler
0,905	6	Mekansal Teknolojiler ve Proje Performans Kriterleri
0,874	5	Mekansal Teknolojiler ve Proje Yaşam Döngüsü
0,980	10	Blok Zincir ve ve Geoteknik Riskler
0,966	6	Blok Zincir ve Proje Performans Kriterleri
0,961	5	Blok Zincir ve Proje Yaşam Döngüsü
0,917	10	Görüntü Yakalanan Teknolojiler ve Geoteknik Riskler
0,916	6	Görüntü Yakalanan Teknolojiler ve Proje Performans Kriterleri
0,924	5	Görüntü Yakalanan Teknolojiler ve Proje Yaşam Döngüsü
0,975	10	Kablosuz İletişim Teknolojileri ve Geoteknik Riskler
0,958	6	Kablosuz İletişim Teknolojileri ve Proje Performans Kriterleri
0,963	5	Kablosuz İletişim Teknolojileri ve Proje Yaşam Döngüsü
0,986	10	Bulanık Mantık ve Geoteknik Riskler
0,950	6	Bulanık Mantık ve Proje Performans Kriterleri
0,944	5	Bulanık Mnatık ve Proje Yaşam Döngüsü
0,965	10	Optimizasyon Yöntemleri ve Geoteknik Riskler
0,915	6	Optimizasyon Yöntemleri ve Proje Performans Kriterleri
0,900	5	Optimizasyon Yöntemleri ve Proje Yaşam Döngüsü
0,975	10	Bulut Bilişim Teknolojileri ve Geoteknik Riskler
0,948	6	Bulut Bilişim Teknolojileri ve Proje Performans Kriterleri
0,947	5	Bulut Bilişim Teknolojileri ve Proje Yaşam Döngüsü
0,976	10	Artırılmış / Sanal / Karma Gerçeklik ve Geoteknik Riskler
0,946	6	Artırılmış / Sanal / Karma Gerçeklik ve Proje Performans Kriterleri
0,952	5	Artırılmış / Sanal / Karma Gerçeklik ve Proje Yaşam Döngüsü
0,984	10	Nesnelerin İnterneti ve Geoteknik Riskler
0,939	6	Nesnelerin İnterneti ve Proje Performans Kriterleri
0,926	5	Nesnelerin İnterneti ve Proje Yaşam Döngüsü
0,990	10	Büyük Veri Analitiği ve Geoteknik Riskler
0,956	6	Büyük Veri Analitiği ve Proje Performans Kriterleri
0,961	5	Büyük Veri Analitiği ve Proje Yaşam Döngüsü
0,965	10	Robotik Uygulamalar ve Geoteknik Riskler
0,949	6	Robotik Uygulamalar ve Proje Performans Kriterleri
0,949	5	Robotik Uygulamalar ve Proje Yaşam Döngüsü
0,995	10	Giyilebilir Teknoloji ve Geoteknik Riskler
0,933	6	Giyilebilir Teknoloji ve Proje Performans Kriterleri
0,940	5	Giyilebilir Teknoloji ve Proje Yaşam Döngüsü
0,994	10	Kaynak Planlama ve Veri Yönetimi Araçları ve Geoteknik Riskler
0,959	6	Kaynak Planlama ve Veri Yönetimi Araçları ve Proje Performans Kriterleri
0,968	5	Kaynak Planlama ve Veri Yönetimi Araçları ve Proje Yaşam Döngüsü
0,998	10	Gelişmiş Bilgi Teknolojileri ve Geoteknik Riskler
0,960	6	Gelişmiş Bilgi Teknolojileri ve Proje Performans Kriterleri
0,977	5	Gelişmiş Bilgi Teknolojileri ve Proje Yaşam Döngüsü
0,993	10	Makine Öğrenmesi ve Geoteknik Riskler
0,979	6	Makine Öğrenmesi ve Proje Performans Kriterleri
0,984	5	Makine Öğrenmesi ve Proje Yaşam Döngüsü

Şekil 4.13 SPSS güvenilirlik analizi sonuçları

4.3.2 Normal Dağılım Testi

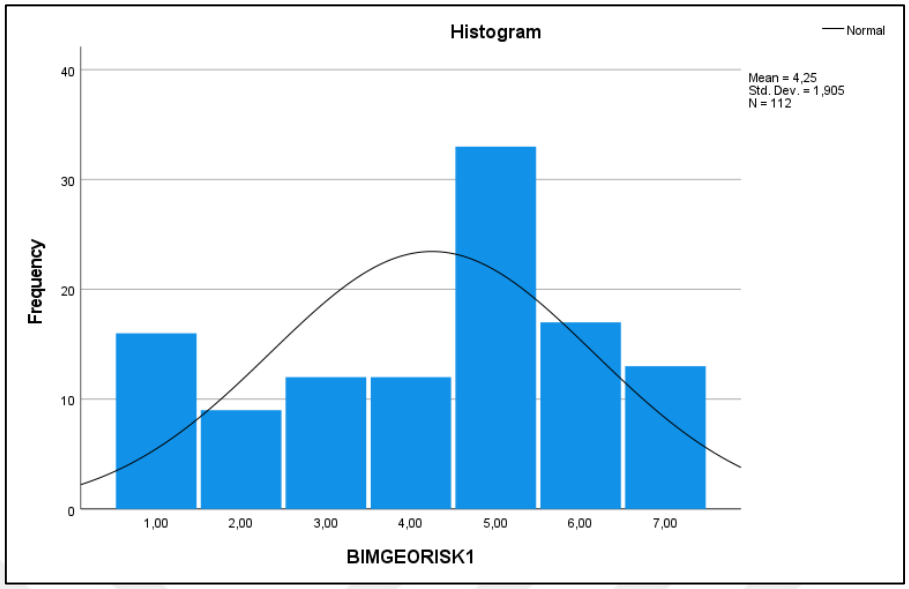
Anket sonuçları için testlere başlamadan önce, verilerin normal dağılımlı olup olmadığı incelenmiştir. Oxford Üniversitesi Kimya Bölümünde araştırma görevliliği yapıp (1982-1985), daha sonra LGC adlı analitik bilim dalı kapsamlı bir küresel yaşam bilimi araçları şirketinde çalışan istatistikçi Dr. Elliot Likert Ölçeğinin hiçbir zaman normal dağılıma sahip veriler üretmediğini söylemiştir [164].

Verilerin normal dağılımlı olup olmadığını test etmek için literatür çalışmalarında en sık kullanılan kriterlerden 5 tanesi seçilmiş, 3 şartın sağlanmadığı veriler normal dağılımlı olmayan, en az 3 şartın sağlandığı veriler ise normal dağılımlı veri seti olarak seçilmek üzere kriterler tek tek test edilmiştir. Aşağıda bu 5 kriter sıralanmıştır:

1) Verilerin frekans histogramlarının normal dağılımlı olup olmadığının görsel olarak test edilmesi
2) Çarpıklık/Basıklık değerlerinin standart sapmaya bölünmesi sonucu oluşan z değerinin $50 < n < 300$ arasındaki veri seti sayısı için $-3{,}29 < z < +3{,}29$ verilerin normal dağılımlı olduğunu gösterir [165].
3) Kolmogorov-Smirnov[12] p değerinin p <0,05 olması verilerin normal dağılımlı olmadığını gösterir [166]
4) Gözlem verileri ile beklenen normal grafiğindeki sapmanın karşılaştırılması
5) Gözlem verileri ile normalden sapma çizgisinin karşılaştırılması

Teknolojik araçların daha önce kullanılıp kullanılmadığı evet/hayır soruları dışında kalan ve 1-7 ölçeğinde cevaplanan 399 soru normal dağılım testine tabi tutulmuştur.

[12]Kolmogorov Smirnov testi normallik varsayımını sınayan hipotez testlerinin en çok bilinen ve kullanılanıdır.



Şekil 4.14 Soru 1 cevapların frekans dağılımı

Normal dağılımın nasıl test edildiği aşağıdaki örnek ile aşamalarıyla beraber açıklanmıştır. Örnek olarak ilk Likert Ölçeği sorusu Soru No:1 "*Daha önce kullanmadıysanız mühendislik bilginize/ kullandıysanız tecrübelerinize göre Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) aşağıda belirtilen geoteknik problemlerin çözülmesine/öngörülmesine 1 ile 7 arasından ne ölçekte katkı sağlar? (1=çok az, 7=çok aşırı)"* üzerinden analiz yaparsak ,

1) Şekil 4.13'te verilerin normal dağılmadığını, lakin normal dağılıma yakın bir eğilim izledikleri görülmektedir. Kriter 1'e göre veriler normal dağılımlı değildir. Bu yüzden diğer kriterler test edilecektir. *X*
2) Tablo 4.3'te Çarpıklık değerinin -0,398, standart sapmasının 0,228; Basıklık değerinin ise -0,949, standart sapmasının 0,453 olduğu görülmektedir.

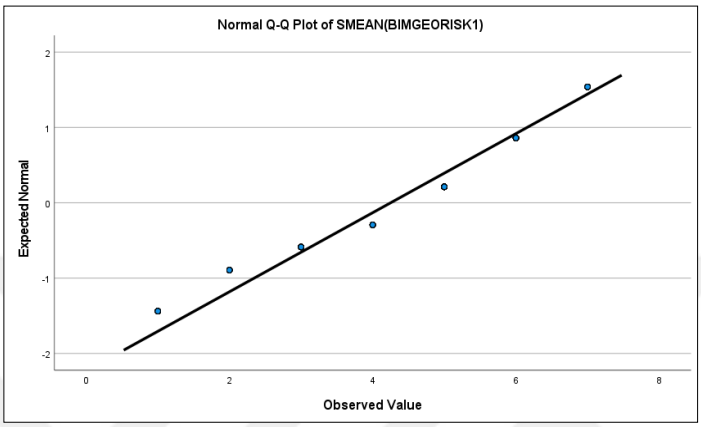
$$z_1 = \frac{Çarpıklık}{\sigma_{Çarpıklık}} = \frac{-0{,}398}{0{,}228} = -1{,}741$$

$$z_2 = \frac{Basıklık}{\sigma_{Basıklık}} = \frac{-0{,}949}{0{,}453} = -2{,}093$$

Kriter 2'ye göre z katsayılarının $-3{,}29 < z < +3{,}29$ $(-3{,}29 < z_1 = -1{,}741 < +3{,}29\ ve\ -3{,}29 < z_2 = -2{,}093 < +3{,}29)$ şartını sağladığı görülmektedir. Bu yüzden kriter 2'ye göre veriler normal dağılımlıdır.

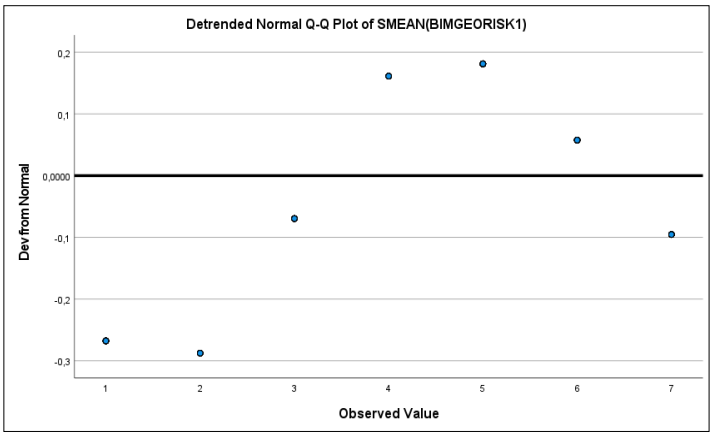
3) Kolmogorov-Smirnov değerinin Tablo 4.3'te Sig.,(p)=0,000 olduğu görülmektedir. p = 0 <0,05 olduğu verilerin normal dağılımlı olmadığını gösterir. Kriter 3'e göre de normal dağılım şartı veri seti için sağlanamamıştır. *X*

4) Gözlem verileri ile beklenen normal grafiğindeki sapmalara göre normal dağılımdan çok sapılmadığı görülmektedir. ✓



Şekil 4.15 Beklenen normal grafiği

5) Gözlem verileri ile normalden sapma çizgisinin karşılaştırılmasına göre veriler normal dağılımlı değildir. *X*



Şekil 4.16 Normalden sapma çizgisi

Tablo 4.3 Soru 1 cevapların SPSS ile analizi

Descriptives

																Kolmogorov-Smirnova		
																Statistic	df	Sig.
1	SORU 1															0,216	112	0,000
		Kurtosis	Skewness	Interquartile Range	Range	Maximum	Minimum	Std. Deviation	Variance	Median	5% Trimmed Mean	95% Confidence Interval for Mean		Mean				
												Upper	Lower					
Statistic		-0,949	-0,398	3,00	6,00	7,00	1,00	1,90542	3,631	5,0000	4,2778	4,6068	3,8932	4,2500				
Std. Error		0,453	0,228											0,18005				

Geri kalan anket cevaplarına bakıldığında verilerin % 97,49' unun (399'da 389) normal dağılmadığı görülmüştür. Bu yüzden analizlere parametrik olmayan veriler için olan testler ile devam edilmesine karar verilmiştir.

4.4 Kruskal-Wallis & Wilcoxon & Man Whitney Testleri

Parametrik dağılmayan verilerin karşılaştırılmasında Kruskal-Wallis, Wilcoxon ve Man Whitney testleri seçilmiştir.

Wilcoxon işaretli sıra testi, bağımlı t-testine eşdeğer parametrik olmayan bir testtir. Wilcoxon işaretli sıra testi verilerde normallik varsaymadığı için bu varsayımın ihlal edildiği ve bağımlı t testinin kullanımının uygun olmadığı durumlarda kullanılabilir. Aynı gruptan gelen iki puan kümesini karşılaştırmak için kullanılır. Bu durum, bir zaman noktasından diğerine puanlardaki herhangi bir değişiklik araştırılmak istenildiğinde veya bireyler birden fazla koşula maruz kaldığında ortaya çıkabilir.

Mann-Whitney testi ise, iki gruptaki tüm gözlemler için ölçülen sürekli bir düzey değişkeni olduğunda ve bu değişkenin dağılımının iki grupta farklı olup olmadığı test edilmek istendiğinde, ancak her iki grupta da normalliği varsayamadığımızda kullanılır [167].

Tipik Kruskal-Wallis Testi'nin uygulanması 3 veya daha üzeri grubun normal dağılım göstermeyen tek değişken üzerinde anlamlı farklılık gösterip göstermeyeceğini anlamak üzerinedir, karşılaştırılan veri topluluğu üzerinde anlamlılık seviyesi α ya da $p = 0.05$'in altında çıkıyorsa ($p \leq 0,05$) veriler arasında anlamlı farklılık bulunmakta, eğer $p > 0,05$ ise de veriler arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır [168] [169]. Bu test için Mann-Whitney testinin 2'den fazla grubun karşılaştırılması hali olduğu söylenebilir.

Bu testlere ek olarak, nominal (kategorik) değişkenlerin bağımlı bir (kategorik ya da sıralı) bir değişkende grupsal farklılık gösterip göstermediğini bulmak, başka bir deyişle bağımlı değişken nominal düzeyde ölçüldüğünde grup farklılıklarını analiz etmek için tasarlanmış yine parametrik olmayan verilerde uygulanabilen Ki Kare Testi de kullanılmıştır. Bu test, çoğu istatistiğin aksine, sadece gözlemlenen farklılıkların önemi hakkında bilgi vermekle kalmaz, aynı zamanda bulunan farklılıkların tam olarak hangi kategorilerden kaynaklandığı hakkında da ayrıntılı

bilgi sağlar [170]. Anlamlılık seviyesi α ya da p = 0.05'in altında olması koşulu, burada bahsedilen diğer testler gibi Ki Kare testi için de geçerlidir[13].

Ki-kare bir dizi kategorideki öğe (grup) sayısını kullanırken, Kruskal-Wallis sıralamaları kullanır. Her ikisi de kategoriler arasındaki farklılıkların tesadüfi varyasyondan kaynaklandığı hipotezini test eder [171].

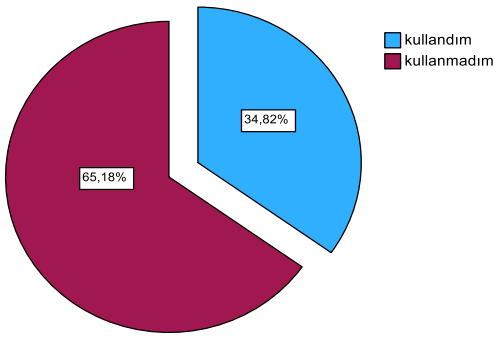
4.4.1 BIM

Verilerin normal dağılımda olmadığı belirlendikten sonra bahsedilen testler kategorilere ve grup sayılarına göre seçilip uygulanmıştır. Uygulanan bu testlerde hangi kriterlerin/koşulların baz alındığı, yandan destekleyici hangi ölçülerin/analizlerin kullanıldığı hakkında detay vermek için bu bölümde BIM aracı incelenmiştir. Devam eden bölümlerde **(4.4.5 Teknolojik Araçlar Karşılaştırmalar)** teknolojik araçlar birbirleri ile karşılaştırılıp, merak edilen hipotezler test edilecektir. Sonuçlar madde madde sıralanmıştır.

Tablo 4.4 Testlerde paydaşların numaraları

No	Paydaş
1	İşveren
2	Yüklenici
3	Tasarımcı
4	Diğerleri (Danışman, Tedarikçi, Denetim)

1) Anket katılımcılarının %34,82'si BIM'i daha önce kullanırken, %65,18'i ise BIM'i daha önce kullanmamıştır.



Şekil 4.17 BIM kullanılma yüzdeleri

2) Paydaşlar arasında BIM'in kullanılması karşılaştırmalarında,

- Ki Kare Testi ile paydaşların BIM'i kullanıp kullanmamaları arasında

[13]Özel durumlarda α ya da p değeri çalışan kişi, topluluk ve vakaya göre değiştirilebilir [172].

anlamlı farklılık olup olmadığı test edilmiş, anlamlı fark bulunmamıştır.

H_0 = Katılımcıların farklı paydaş türü kurumlarda çalışmaları BIM'i daha önceden kullanıp kullanmamalarını etkilemektedir.

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	,355[a]	3	,949
Likelihood Ratio	,352	3	,950
Linear-by-Linear Association	,002	1	,961
N of Valid Cases	112		

a. 1 hücrenin (%12,5) 5'ten az sayımı bekleniyor. Beklenen minimum sayı 4,18'tir.

Şekil 4.18 Paydaşlar ve BIM Ki Kare Testi

		BIM_yesno		
		kullandım	kullanmadım	Total
kurum_yeni	1,00	11	23	34
	2,00	11	17	28
	3,00	13	25	38
	4,00	4	8	12
Total		39	73	112

Şekil 4.19 Paydaşlar ve BIM Ki Kare Testi (devam)

Ki-Kare Testinde Şekil 4.17'de gözüktüğü üzere p anlamlılık değeri 0,949 > 0,05 olarak çıkmıştır. Bu sonuca göre "H_0= Katılımcıların farklı paydaş türü kurumlarda çalışmaları BIM'i daha önceden kullanıp kullanmamalarını etkilemektedir" tezi doğrulanamamaktadır. Aynı tez, Kruskal Wallis testi ile de test edilmiş, p değeri yine = 0,950 çıkmıştır.

- Paydaşlar arasında ikili karşılaştırma yapılıp, ikililer arasında anlamlı farklılık olup olmadığını görmek için Kruskal-Wallis Testi'nden sonra Man-Whitney testi uygulanmıştır.

  BIM'in daha önce en az bir kez kullanılıp kullanılmaması konusunda yapılan ikili karşılaştırmalarda paydaşlarda hiçbir ikili arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.

3) BIM kullanımı ve iş tecrübesi 0 – 5 yıl ; 5-10 yıl; 10-20 yıl ; 20-40 yıl arasında olan katılımcılarda anlamlı farklılık bulunmamaktadır.
(Yılların eşit bölünmemesi, örneğin 0-10 yıl, 10-20 yıl şeklinde gidilirse 1 yıllık çalışan ile 9 yıllık çalışan arasında keskin bir görüş ayrılığı olabileceğinden daha hassas test yapmak için bu şekilde ilk 10 yıl da kendi içinde 2'ye bölünmüştür).

Ranks

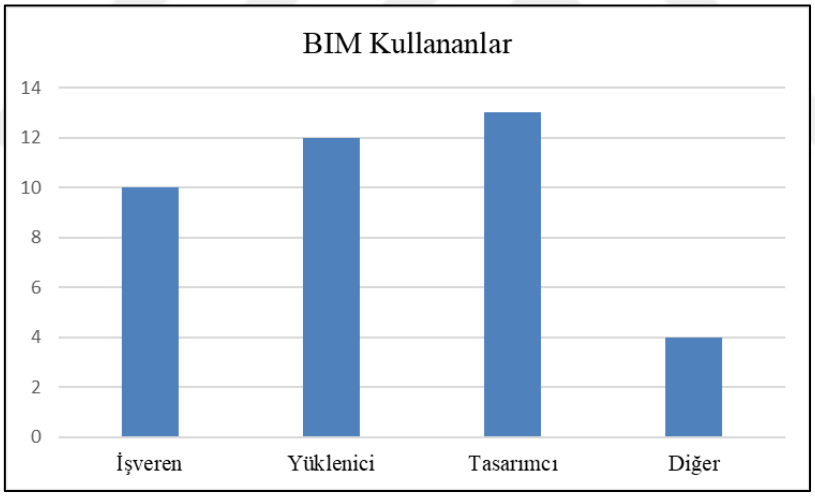
	İş Yıllar	N	Mean Rank
BIM_yesno	0-5 yıl	34	52,94
	5-10 yıl	38	56,84
	10-20 yıl	33	59,03
	20-40 yıl	7	60,00
	Total	112	

Test İstatistikleri[a,b]

	BIM_yesno
Kruskal-Wallis H	1,019
df	3
Asymp. Sig.	,797

Şekil 4.20 İş deneyimi yıllarına göre BIM kullanımı

4) BIM'i daha önce en az 1 kez kullananlar arasında en çok Tasarımcı olarak çalışanlar, en az ise Tedarikçi çalışan paydaşlar çıkmıştır.



Şekil 4.21 Paydaşların daha önce BIM'i kullanma sayısı

5) Paydaşlara göre BIM'in hangi geoteknik risklerin yönetiminde etkili olabileceği analiz edilmiştir:

Test İstatistikleri[a,b]

	SMEAN(BIMGEORISK1)	SMEAN(BIMGEORISK2)	SMEAN(BIMGEORISK3)	SMEAN(BIMGEORISK4)	SMEAN(BIMGEORISK5)
Kruskal-Wallis H	3,035	3,317	4,935	1,310	3,489
df	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	,386	,345	,177	,727	,322

	SMEAN(BIMGEORISK6)	SMEAN(BIMGEORISK7)	SMEAN(BIMGEORISK8)	SMEAN(BIMGEORISK9)	SMEAN(BIMGEORISK10)
Kruskal-Wallis H	4,741	5,412	3,508	9,618	2,124
df	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	,192	,144	,320	,022	,547

Şekil 4.22 Kruskal-Wallis Testi BIM ve geoteknik risklerin paydaşlar açısından karşılaştırılması

- Kruskal-Wallis testine göre, BIM'in geoteknik risklere etki edip etmediği hakkındaki görüşler arasında, paydaşlar arasında anlamlı farklılık 9. geoteknik risk olan Kazık Stabilitesi'nde bulunmuştur ($p=0,022<0,05$), öteki riskler için anlamlı farklılık bulunmamıştır (p değerleri> 0,05).
- Paydaşların cevapları merkezi dağılım ölçüleri kapsamında Excel'de incelendiğinde (Şekil 4.21), örneğin **işveren** paydaşı için **kazık stabilitesi** BIM'in **en çok** etkileyeceği risk iken (ortalama 5, mod 7), **zeminde sıvılaşma ve taşıma gücü kaybı** BIM'in **daha az** etkileyeceği risklerdir. İşverenler, diğer risklerin BIM ile yönetilmesine genel olarak olumlu bakıp geriye kalan riskler için çoğunlukla "orta-çok seviyede etkileyebilir" seçeneğini işaretlemişlerdir.

Merkezi dağılım ölçüleri yorumlanırken, ortalama ve mod değerleri öncelikli incelenirken, cevaplardan oluşacak histogram grafiğinin hangi tarafa basık olduğu (4'ten küçük cevaplar için olumsuz taraf, büyük cevaplar için olumlu taraf sayılmış), standart sapma, ayrıca ortalamadan sapma, değişim katsayısı ve varyans incelenmiştir.

ID	Kurum	Kurum Sınıfı	Geoteknik Risk1	Geoteknik Risk2	Geoteknik Risk3	Geoteknik Risk4	Geoteknik Risk5	Geoteknik Risk6	Geoteknik Risk7	Geoteknik Risk8	Geoteknik Risk9	Geoteknik Risk10
1	İşveren	1,00	5,00	4,00	5,00	3,00	5,00	3,00	5,00	6,00	3,00	4,00
3	İşveren	1,00	5,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00	4,00	4,00	4,00	4,00
8	İşveren	1,00	5,00	6,00	5,00	6,00	5,00	6,00	5,00	6,00	6,00	6,00
9	İşveren	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
10	İşveren	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
12	İşveren	1,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
13	İşveren	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
14	İşveren	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00
20	İşveren	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
22	İşveren	1,00	5,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00
26	İşveren	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
28	İşveren	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
31	İşveren	1,00	5,00	5,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	5,00	7,00	2,00
36	İşveren	1,00	6,00	2,00	4,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	7,00	3,00
37	İşveren	1,00	7,00	4,00	5,00	5,00	5,00	6,00	7,00	7,00	7,00	7,00
38	İşveren	1,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
39	İşveren	1,00	7,00	4,00	5,00	5,00	4,00	2,00	3,00	4,00	4,00	2,00
40	İşveren	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	3,00	4,00	1,00	3,00	4,00	1,00
41	İşveren	1,00	7,00	5,00	4,00	7,00	4,00	5,00	3,00	4,00	7,00	3,00
45	İşveren	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00
54	İşveren	1,00	7,00	4,00	4,00	5,00	5,00	4,00	3,00	3,00	6,00	7,00
56	İşveren	1,00	6,00	2,00	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	4,00	7,00	6,00
60	İşveren	1,00	6,00	4,00	4,00	4,00	2,00	2,00	2,00	6,00	2,00	7,00
66	İşveren	1,00	5,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00	3,00	6,00	5,00
72	İşveren	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
73	İşveren	1,00	7,00	7,00	7,00	3,00	7,00	5,00	5,00	5,00	7,00	7,00
82	İşveren	1,00	4,00	2,00	2,00	2,00	1,00	4,00	1,00	3,00	3,00	2,00
90	İşveren	1,00	6,00	6,00	6,00	7,00	5,00	6,00	4,00	6,00	4,00	6,00
101	İşveren	1,00	4,00	3,00	4,00	5,00	3,00	4,00	5,00	4,00	6,00	4,00
102	İşveren	1,00	5,00	5,00	4,00	2,00	2,00	4,00	4,00	5,00	7,00	5,00
104	İşveren	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,00
107	İşveren	1,00	5,00	3,00	5,00	5,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00
		Ortalama	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4
		Mod	5	4	4	5	5	5	5	5	7	5
		Medyan	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4
		Standart Sapma	1,75	1,63	1,44	1,61	1,72	1,50	1,64	1,56	1,93	1,95
		Ortalamadan Sapma	1,32	1,33	1,09	1,32	1,47	1,23	1,39	1,26	1,65	1,63
		Varyans	3,05	2,66	2,06	2,58	2,94	2,24	2,70	2,45	3,74	3,81
		çoklu mod	5	4	4	5	5	5	5	5	7	5
		Değişim Katsayısı	0,37	0,44	0,36	0,41	0,47	0,39	0,46	0,39	0,42	0,49
		STDEV.P	1,72	1,61	1,41	1,58	1,69	1,47	1,62	1,54	1,90	1,92
		Dağılım	basık	basık	basık	basık	basık	basık	basık	basık	basık	basık

Şekil 4.23 İşverenlere göre BIM'in risklere etkisi

Örneğin, Geoteknik Risk 1 = Şev Kayması için, BIM'in bu riske etkisinde, cevap serisinde en çok (mod) 5 orta-çok cevabı seçilmiş, ortalamanın da yine 5 olduğu görülmüştür **(Şekil 4.22).** Burada çoğunluğun olumlu tarafta (BIM'in şev kaymasında orta seviyeden daha çok rol oynayabileceği) kaldığı görülmektedir. Lakin, modu 1 (çok-az) olan ama ortalaması 4 olan cevap serisinin incelenmesinde değişim katsayısı ve varyans değerleri ayrıyeten incelenmiş, cevapların hangi tarafa basık olduğunu anlamak için histogram eğrilerine de bakılmıştır.

4.4.2 Paydaşlara göre BIM Cevaplarının Karşılaştırılması

- İşverenlere göre BIM kazık stabilitesi riskinde etkili olabilecekken zeminde sıvılaşma ve taşıma gücü kaybı için çok etkili olmayacaktır.
- Tasarımcılara göre BIM şev kayması, kazı tabanı çökmesi ve kayaç süreksizlikleri konusunda orta seviyede etkili olabilecekken, diğer risklerde etkili olmayacaktır.
- Yükleniciye göre BIM geoteknik risklere etkisinin genel olarak orta seviyede etki edebilecektir.
- Diğer paydaşların cevaplarına göre ise BIM geoteknik risklerin yönetilmesinde etkili olmayacaktır.

4.4.3 BIM'in Performans Kriterlerine Etkisi

		SMEAN (BIMPK1)	SMEAN (BIMPK2)	SMEAN (BIMPK3)	SMEAN (BIMPK4)	SMEAN (BIMPK5)	SMEAN (BIMPK6)
N	Valid	112	112	112	112	112	112
	Missing	0	0	0	0	0	0
Mean		4,9554	4,5357	5,1429	4,6429	5,0982	4,8482
Mode		6,00	4,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Std. Deviation		1,69996	1,64907	1,52373	1,64868	1,65469	1,75638
Skewness		-,668	-,279	-,697	-,343	-,669	-,496
Std. Error of Skewness		,228	,228	,228	,228	,228	,228
Kurtosis		-,554	-,690	-,229	-,751	-,453	-,829
Std. Error of Kurtosis		,453	,453	,453	,453	,453	,453

Şekil 4.24 BIM ve performans kriterleri frekans analizi

BIM'in anketteki bütün proje kriterlerinde (zaman, maliyet, kalite, iş güvenliği, iletişim yönetimi, sözleşme yönetimi) etkili olacağına, lakin bu proje kriterlerinden özellikle kalite ve iletişim yönetiminde çok (diğerleri arasında modu ve ortalaması ile birlikte en çok seçilen iki kriter; mod=6, ort>5), maliyet konusunda ise daha az etkili olacağına katılımcılar tarafından karar verilmiştir.

- BIM'in paydaşlar arasında performans kriterlerine etkisi konusunda katılımcılar arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.

4.4.4 İş Tecrübesine göre BIM Cevaplarının Yorumlanması

- İş tecrübesi 0-5 yıl olanlar ile 10-20 yıl olanlar arasında performans kriteri "kalite" ile (p=0,010 <0,05) , "sözleşme yönetimi" (p=0,038 <0,05) arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübesi 5-10 yıl olanlar ile 10-20 yıl olanlar arasında performans kriteri "sözleşme yönetimi" (p=0,48 <0,05) kapsamında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübesi 5-10 yıl olanlar ile 20-40 yıl olanlar arasında performans kriteri "zaman" (p=0,023 <0,05) ve "maliyet" (p=0,035 <0,05) arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübesi 10-20 yıl olanlar ile 20-40 yıl olanlar arasında performans kriteri "maliyet" (p=0,018 <0,05) ve "kalite" (p=0,035 <0,05) arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.

Ranks

	kurum_yeni	N	Mean Rank	Sum of Ranks
SMEAN(BIMPK2)	1,00	32	16,92	541,50
	2,00	3	29,50	88,50
	Total	35		

Test Statistics[a]

	SMEAN (BIMPK2)
Mann-Whitney U	13,500
Wilcoxon W	541,500
Z	-2,094
Asymp. Sig. (2-tailed)	,036
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,038[b]

Şekil 4.25 Man-Whitney testi işveren-denetim paydaşları maliyet performans kriteri anlamlı farklılık

6) BIM ve proje yaşam döngüsünde, diğer yaşam döngüsü aşamalarına kıyasla BIM'in **"izleme ve kontrol etme"** aşamasında çok, "planlama" ve "Yürütme" aşamalarında orta, "**kapanış**" ta ise daha az etkili olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Başlangıç aşaması ile ilgili taraflar arasında net bir cevap yoktur.

- Paydaşlarda “işveren” ve “diğer paydaşlar” arasında BIM’in “yürütme” aşamasına etkisi cevapları için anlamlı farklılık bulunmuştur (p=0,027 <0,05).
- İş tecrübesi 10-20 yıl olanlar ile 20-40 yıl olanlar arasında BIM’in yaşam döngülerinden “planlama” (p=0,037 <0,05), “yürütme” (p=0,025 <0,05) ve “izleme ve kontrol” (p=0,044 <0,05) aşamalarına etkisi kapsamında anlamlı farklılık bulunmuştur.

4.4.5 Teknolojik Araçlar Karşılaştırmalar

4.4.5.1 Teknolojik Araçları Kullananlar ve Kullanmayanlar Görüş Farklılığı Analizi

Teknolojik araçlar ile ilgili görüşlerde merak edilen hipotezlerden bir tanesi, bu araçları daha önce kullananlar ile kullanmayanlar arasında görüş farklılığı olup olmadığıdır. Bunu test edebilmek için “Kullandım/Kullanmadım” soruları ile teknolojik araçların geoteknik risk, performans kriterleri ve proje yaşam döngüsü aşamalarında etkileri ile ilgili soru cevapları arasında anlamlı farklılık olup olmadığı Man-Whitney U Testi ile analiz edilmiştir.

$H_0 =$ Teknolojik araçların belirtilen kategorilere etkisi konusunda daha önce kullanmayanlar daha önce kullananlara katılmaktadır.

- BIM teknolojik aracını daha önce kullananlar ile kullanmayanlar arasında anlamlı bir farklılık çıkmamış, bu da kullanmayanlar ile kullanlar arasında anlamlı bir görüş farklılığı olmadığı, H_0 hipotezinin doğru olduğu sonucuna çıkmaktadır.

	SMEAN(BIMGEORISK1)	SMEAN(BIMGEORISK2)	SMEAN(BIMGEORISK3)	SMEAN(BIMGEORISK4)
Mann-Whitney U	1366,500	1312,500	1320,500	1302,500
Wilcoxon W	2146,500	4013,500	2100,500	2082,500
Z	-,355	-,688	-,638	-,751
Asymp. Sig. (2-tailed)	,723	,492	,523	,453

Şekil 4.26 BIM kullananlar ve kullanmayanlar arasında soru cevapları karşılaştırma Man-Whitney Testi sonucu bir kısmı (p değerleri > 0,05)

- Telefon / tablet için mobil uygulamalarda bu uygulamaların proje yaşam döngüsünde “izleme ve kontrol etme” aşamasındaki cevaplarda anlamlı farklılık bulunmaktadır (p=0,047 <0,05). Bunun dışındaki sorularda ise H_0 tezi sağlanmaktadır (p değerleri> 0,05).

- Planlama yazılımlarının "şev kayması" riskinin yönetimine etki edebileceği konusunda kullananlar ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır (p= 0,046).
    - Planlama yazılımlarının proje performans kriterlerinden "sözleşme yönetimi" yönetimine etki edebileceği konusunda kullananlar ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır (p= 0,013).
    - Öteki sorularda ise H_0 tezi sağlanmaktadır.
- Modelleme Yazılımlarının "Şev Kayması" (p= 0,036) ve "Kazık Stabilitesi" (p= 0,014) risklerinin yönetimine etki edebileceği konusunda kullananlar ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır. Öteki sorularda ise H_0 tezi sağlanmaktadır.
- Mekânsal Teknolojiler: GIS, daha önce kullananlar ve kullanmayanlar konusunda proje yaşam döngülerinde H_0 tezini sağlanmamaktadır. Bütün anket katılımcıları arasında GIS'in proje aşamalarını ne derece etkileyeceği konusunda anlamlı farklılık bulunmaktadır (p değerleri (0,001-0,007) <0,05).
    - Mekânsal teknolojilerde, "şev Kayması" (p=0,031), "zeminde sıvılaşma" (p=0,025) ve "kayaç süreksizliği" (0,026) geoteknik risklerinde ve proje performans kriterlerinden "zaman" (p=0,006) "kalite" (p=0,005) "iş güvenliği" (p=0,002) için anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Blok Zincirin "kayaç süreksizliği" (p= 0,040) riskinin yönetimine etki edebileceği konusunda kullananlar ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır. Öteki sorularda ise H_0 tezi sağlanmaktadır.
- Görüntü yakalanan teknolojiler (Fotogrametri, Video Kamera, Lazer tarama, Lazer-radar (LIDAR/LADAR), daha önce kullananlar ve kullanmayanlar konusunda proje yaşam döngülerinde H_0 tezini sağlamaktadır. "Kazı Taban Çökmesi" (p=0,037) ve "Kayaç Süreksizlikleri" (p=0,036) riskleri için kullananlar ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
    - Proje performans kriterlerinden "zaman" (p=0,020) "maliyet" (p=0,009) "kalite" (p=0,002) "iletişim yönetimi" (p=0,047) için kullalanlar ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır.

- Kablosuz iletişim teknolojileri için kullananlar ve kullanmayanlar arasında (Bluetooth, Wireless, WSN, WLAN) sadece "planlama" yaşam döngüsü için anlamlı farklılık bulunmuştur (p=0,020).
- Bulanık mantık için "şev kayması" (p=0,002), "zeminde sıvılaşma" (p=0,012), "taşıma gücü kaybı" (p=0,031) ve "kayaç süreksizlikleri" (p=0,021) için kullananlar ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Yaşam döngülerinden ise "Başlangıç" aşaması için (p=0,030) "bulanık mantığı" daha önce kullanan ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Optimizasyon yöntemleri için geoteknik risklerden "şev kayması" (p=0,030) için; proje performans kriterlerinden "zaman" (p=0,007", "maliyet" (p=0,007) ve "iletişim yönetimi" (p=0,044) ve "sözleşme yönetimi" (p=0,013) için; yaşam döngülerinden "başlangıç" (p=0,049), "planlama" (p=0,002), ve "kapanış" (p=0,030) için kullanan ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Bulut Bilişim Teknolojileri için "taşıma gücü kaybı" (p=0,045); "sözleşme yönetimi" (p=0,022); "planlama" (p=0,20) ve "izleme ve yürütme" (p=0,036) için kullanan ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Artırılmış gerçeklik / Sanal gerçeklik / Karma gerçeklik için "zaman" performans kriteri (p=0,016), "iletişim yönetimi" (p=0,004) ve "sözleşme yönetimi" için (0,043); "başlangıç" aşaması için (p=0,017) kullanan ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Nesnelerin interneti ile geoteknik risklerin yönetilmesi/öngörülmesinde daha önce bu teknolojik aracı kullananlar ve kullanmayanlar için H_0 tezi sağlanmazken, proje performans kriterleri ve proje yaşam döngüsü için H_0 tezi sağlanmaktadır.
- Büyük veri analitiği teknolojik aracında "şev kayması" (p=0,041), "zeminde sıvılaşma" (p=0,012), " taşıma gücü kaybı" (p=0,020), "kazı tabanı çökmesi" (p=0,011), "oturma (ani konsolidasyon) (p=0,029), "donma-çözünme etkisi" (p=0,008), "yeraltı suyu yükselmesi" (p=0,006) ve "kayaç süreksizliği" (p=0,023); "kalite" (p=0,039); "başlangıç" (p=0,040), "planlama" (p=0,035) için kullanan ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır.

- Robotik uygulamalar (Otonom araçlar, insansız hava aracı, 3D yazıcı) için "şev kayması" (p=0,024); "yürütme" (p=0,017) ve "izleme ve kontrol" (p=0,032) için kullanan ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır.
- Giyilebilir teknoloji (EEG, ECG/EKG sensörleri, UV ışınlarını ölçen sensör, stresi kontrol eden bileklik, akıllı baret) için cevaplar arasında kullanan ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık bulunmamakta, H_0 tezi sağlanmaktadır.
- Kaynak planlama ve veri yönetimi araçları (ERP, SAP, vb.) için geoteknik risk yönetimi ve proje yaşam döngüsü aşamaları için bütün p değerleri 0,05'ten küçük olup H_0 tezi sağlanmaz iken; proje performans kriterlerinden sadece "kalite" (p=0,009) ve "iletişim yönetimi" (p=0,010) için anlamlı farklılık bulunmaktadır.
- Gelişmiş bilgi teknolojileri (e-posta, ses, el bilgisayarı) için cevaplar arasında anlamlı farklılık bulunmamakta, H_0 tezi sağlanmaktadır.
- Makine öğrenmesi için kullanan ve kullanmayanlar arasında bütün cevaplar p <0,05 olup, H_0 tezi sağlanmamaktadır.

4.4.5.2 Teknolojik Araçlar İş Tecrübesine göre Görüş Farklılığı Analizi

- Kruskal-Wallis testi sonucunda iş tecrübesine göre teknolojik araçların daha önce en az bir kez kullanılıp kullanılmaması ile ilgili anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (p değerleri> 0,05 (Şekil 4.25)).

Test Statistics[a,b]

	BIM_yesno	TT_yesno	PY_yesno	MY_yesno	MT_yesno	BLOKZ_yesno
Kruskal-Wallis H	1,019	1,077	1,552	1,744	1,825	3,955
df	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	,797	,783	,670	,627	,609	,266

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: ISSON

Şekil 4.27 İş Tecrübesine göre teknolojik araç kullanımı Kruskal-Wallis testi

- İş tecrübesine göre "kazı tabanı çökmesi" (p=0,042<0,05), "şişme/büzülme" (p=0,039<0,05), "yeraltı suyu yükselmesi (p=0,041<0,05) risklerinin BIM ile yönetilmesi cevaplarında katılımcılar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübesine göre "kalite" performans kriterinin BIM ile yönetilmesinde katılımcılar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur (p = 0,019 <0,05).

- İş tecrübesine göre planlama yazılımları ile "zaman" (p=0,040 <0,05) ve "kalite" (p=0,005 <0,05) performans kriterlerinin yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübesine göre Artırılmış/Sanal/Karma gerçeklik ile "Şişme/Büzülme" performans kriterinin yönetilmesinde (p=0,025 <0,05) katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübelerine göre Artırılmış/Sanal/Karma gerçeklik ile proje performans kriterlerinden "sözleşme yönetimi'nin yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur (p= 0,034 <0,05).
- İş tecrübelerine göre Artırılmış/Sanal/Karma gerçeklik ile proje yaşam döngüsü aşamalarından "planlama" (p= 0,010 <0,05) ve "yürütme" (p=0,047<0,05) aşamalarının yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübelerine göre Artırılmış/Sanal/Karma gerçeklik ile proje yaşam döngüsü aşamalarından "planlama" (p= 0,010 <0,05) ve "yürütme" (p=0,047<0,05) aşamalarının yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübelerine göre nesnelerin interneti ile "şev kayması" (p=0,037 <0,05), "kazı tabanı çökmesi" (p=0,025 <0,05), "yeraltı suyu yükselmesi" (p=0,017 <0,05) ve "kayaç süreksizlikleri" (p=0,009 <0,05) risklerinin yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübelerine göre nesnelerin interneti ile "iş güvenliği" proje performans kriterinin (p=0,03 <0,05) yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübelerine göre nesnelerin interneti ile proje yaşam döngüsü aşamalarından "yürütme" (p=0,018 <0,05) ile "izleme ve kontrol etme" (p=0,020<0,05) yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübelerine göre robotik uygulamalar (otonom araçlar, insansız hava aracı, 3 boyutlu yazıcı) ile geoteknik risklerden "zeminde sıvılaşma" (p=0,036 <0,05) ve "kayaç süreksizlikleri" (p= 0,011 <0,05) yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.

- İş tecrübelerine göre robotik uygulamalar (otonom araçlar, insansız hava aracı, 3 boyutlu yazıcı) ile "maliyet" performans kriterinin (p = 0,026 <0,05) yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- İş tecrübelerine göre robotik uygulamalar (otonom araçlar, insansız hava aracı, 3 boyutlu yazıcı) ile proje "başlangıç" aşamasının yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur (p=0,044 <0,05).

4.4.5.3 Teknolojik Araçlar Paydaşlara göre Görüş Farklılığı Analizi

Paydaşlara göre göre teknolojik araçların daha önce kullanılıp kullanılmamasında anlamlı farklılık modelleme yazılımları (p =0,015 <0,05) dışında bulunmamıştır (Şekil 4.26).

Test Statistics[a,b]

	BIM_yesno	TT_yesno	PY_yesno	MY_yesno	MT_yesno	BLOKZ_yesno
Kruskal-Wallis H	,352	,375	5,762	10,526	5,310	6,438
df	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	,950	,945	,124	,015	,150	,092

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: kurum_yeni

Şekil 4.28 Paydaşlara göre teknolojik araç kullanımı Kruskal-Wallis Testi

- Paydaşlara göre BIM teknolojik aracı ile "kazık stabilitesi" riskinin yönetilmesinde (p=0,022<0,05) katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Paydaşların bu sorun ile ilgili cevaplarına bakıldığında yüklenici ve diğer paydaşlar BIM'in bu riski orta-çok yönetebileceğini (cevapların modu 5), işveren çok etkili yönetebileceğini (mod 7), tasarımcı ise çok az etkili olacağını (mod 1) savunmuştur.
- Paydaşlara göre telefon/tablet için mobil uygulamalar ile "zeminde sıvılaşma" riskinin yönetilmesinde (p=0,042<0,05) katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. İşveren (mod 4), yüklenici (mod 4) ve diğer paydaşlar (mod 5) telefon/tablet için mobil uygulamaların "zeminde sıvılaşma" riskinin yönetilmesinde orta derecede etkili olabileceğini savunurken tasarımcı paydaşı bu teknolojik aracın çok az etkili olacağını savunmuştur (mod 1).
- Paydaşlara göre planlama yazılımları ile "zeminde sıvılaşma" (p=0,027<0,05), "taşıma gücü kaybı" (p=0,036<0,05), "kazı tabanı çökmesi" (p=0,030 <0,05), "şişme/büzülme" (p=0,007<0,05), "oturma (ani konsolidasyon) (p=0,033 <

0,05), "donma çözünme" (p=0,006<0,05), "yeraltı suyu yükselmesi" (p=0,026<0,05), "kazık stabilitesi" (p=0,048<0,05) ve "kayaç süreksizlikleri" (p=0,013<0,05) risklerinin yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Şev stabilitesinin planlama yazılımları ile yönetilebileceği konusunda paydaşlar çoğunlukla 5 orta-çok cevabını vermişlerdir (öteki maddeler için de anlamlı farklılığa göre çıkan sonuçlarda paydaş görüşlerini anlamak yine merkezi dağılım ölçüleri, mod, medyan gibi kullanılarak yorumlama yapılacaktır).

- Paydaşlara göre mekânsal teknolojiler ile "zeminde sıvılaşma" (p=0,021<0,05), "oturma (ani konsolidasyon) (p=0,012<0,05), "donma çözünme" (p=0,004<0,05), "kazık stabilitesi" (p=0,028<0,05) risklerinin yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Paydaşlara göre blok zincir ile "taşıma gücü kaybı" (p=0,044 <0,05) riskinin yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Paydaşlara göre görüntü yakalanan teknolojiler ile "zeminde sıvılaşma" (p<0,01), "taşıma gücü kaybı" (p<0,01), "şişme/büzülme" (p=0,033 <0,05, "donma çözünme" (p=0,015<0,05), "yeraltı suyu yükselmesi" (p=0,007 <0,05) risklerinin yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Paydaşlara göre görüntü yakalanan teknolojiler ile proje yaşam döngüsü aşamalarından "başlangıç" aşamasının yönetilmesinde (p=0,024<0,05) katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Paydaşlara göre kablosuz iletişim teknolojileri (bluetooth, wireless, wsn, wlan) ile "şev kayması" (p=0,009<0,05), "zeminde sıvılaşma" (p=0,002<0,05), "taşıma gücü kaybı" (p=0,005<0,05), "kazı tabanı çökmesi" (p<0,001), "şişme/büzülme" (p=0,010<0,05), "oturma (ani konsolidasyon) (p=0,004<0,05), "donma çözünme" (p=0,005<0,05), "yeraltı suyu yükselmesi" (p=0,003<0,05) ve "kayaç süreksizlikleri" (p=0,004<0,05) risklerinin yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Paydaşlara göre kablosuz iletişim teknolojileri (bluetooth, wireless, WSN, WLAN) ile proje performans kriterlerinden "kalite"nin yönetilmesinde (p=0,006 <0,05) katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.

- Paydaşlara göre kablosuz iletişim teknolojileri (bluetooth, wireless, WSN, WLAN) ile proje yaşam döngüsü aşamalarından "başlangıç" ($p=0,070 < 0,05$), "planlama" ($p=0,031 < 0,05$) ve "kapanış" ($p=0,049< 0,05$)'ın yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Paydaşlara göre bulut bilişim teknolojileri ile proje performans kriterlerinden "kalite"nin yönetilmesinde ($p=0,044 <0,05$) katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.
- Paydaşlara göre artırılmış/sanal/karma gerçeklik ile "zeminde sıvılaşma" riskinin yönetilmesinde ($p= 0,047 <0,05$) katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur.

4.5 Teknolojik Araçların Kategorilere göre Dağılımları

4.5.1 Paydaşlara Göre Teknolojik Araç Kullanımı

İşveren paydaşı, ankette verilen teknolojik araçlardan Şekil 4.29'de görüldüğü üzere en çok modelleme tasarım/analiz yazılımlarını kullanmış (27/32), bunu gelişmiş bilgi teknolojileri izlemiştir (26/32). Telefon / tablet için mobil uygulamalar (24/32), kablosuz iletişim teknolojileri (23/32) ve bulut bilişim teknolojileri (21/32) yine işverenin daha önce kullandığı teknolojik araçlar sırasında ilk sıralardadır.

İşveren daha önce en az robotik uygulamalar (5/32), artırılmış/sanal/karma gerçeklik (4/32), blok zincir (3/32) ve bulanık mantık (3/32) teknolojik araçlarını kullanmayı deneyimlemiştir. makine öğrenmesi (8/32), nesnelerin interneti (7/32), giyilebilir teknoloji (7/32) araçları da işverenler tarafından az kullanılan teknolojik araçlar olmuşlardır.

Mekânsal teknolojiler ve optimizasyon yöntemleri işverenlerin yarısından daha fazlası tarafından en az bir kez kullanılmıştır (17/32).

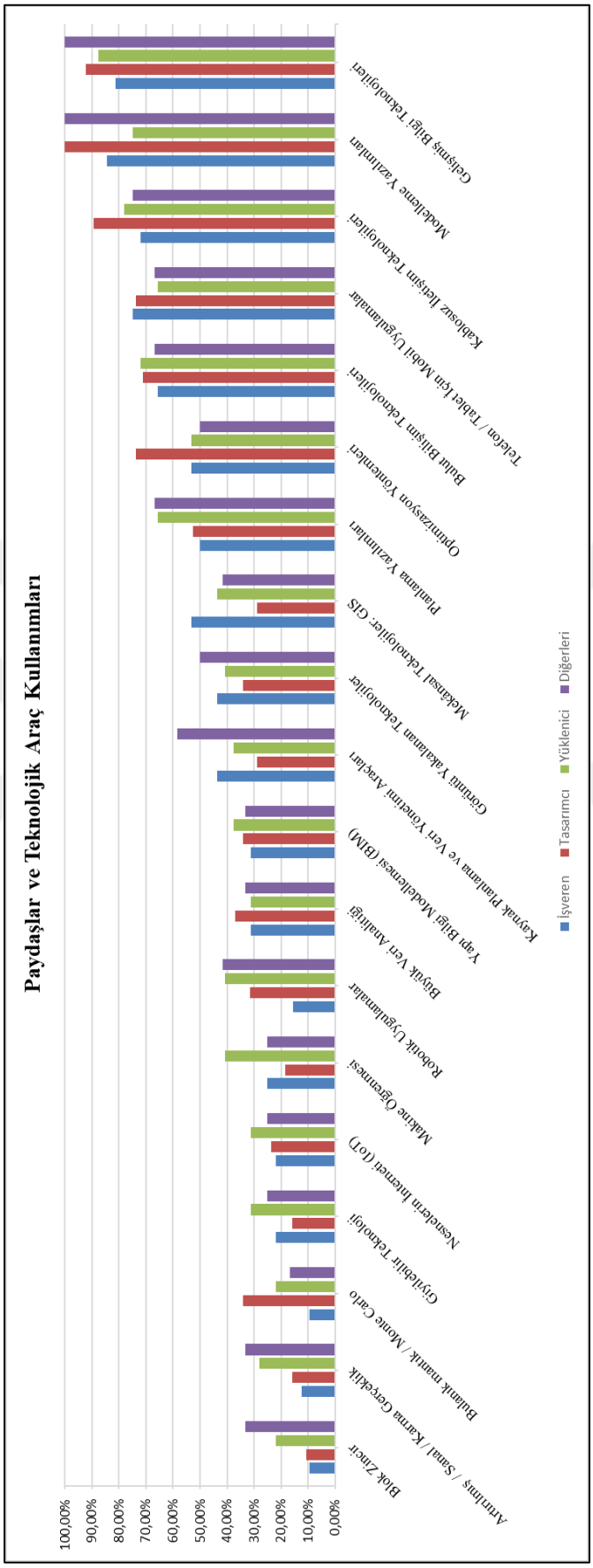
Tasarımcı paydaşının hepsi, ankette verilen teknolojik araçlardan Şekil 4.29'da görüldüğü üzere modelleme tasarım/analiz yazılımlarını en az kez daha önce kullanmıştır (38/38). tasarımcı paydaşlarının %92'si daha önce gelişmiş bilgi teknolojilerini (35/38) ve yaklaşık %90'ı kablosuz iletişim teknolojileri (34/38)'i en az bir kez kullanmışlardır.

Tasarımcı paydaşının daha önce kullandığı teknolojik araçlar en çoktan en aza 4 grup olarak incelenebilir. Modelleme/tasarım/analiz yazılımları, gelişmiş bilgi teknolojileri ve kablosuz iletişim teknolojilerine 1. Grup denilirse, telefon / tablet için mobil uygulamalar (28/32), optimizasyon yöntemleri (28/32), bulut bilişim teknolojileri (27/32) ve planlama yazılımları (20/38) en çok kullanılan 2. Gruptur.

Tasarımcılar tarafından daha az kullanılan 3. Grup'ta Büyük veri analitiği (14/38), BIM (13/38), görüntü yakalanan teknolojiler (13/38), bulanık mantık (13/38), robotik uygulamalar (12/38), mekânsal teknolojiler (11/38) ve kaynak planlama teknolojileri (11/38) bulunmaktadır.

Tasarımcılar tarafından daha önce en az kullanılan teknolojik araçları içeren 4. Grup'ta nesnelerin interneti (9/38), makine öğrenmesi (7/38), artırılmış gerçeklik / sanal gerçeklik / karma gerçeklik (6/38), giyilebilir teknoloji (6/38) ve blok zincir (4/38) bulunmaktadır.

Yüklenici paydaşının Şekil 4.29'da görüldüğü daha önce en az bir kez kullandığı teknolojik araçlardan gelişmiş bilgi teknolojileri (28/30) 1.sırada yer almaktadır. 2. sırada kablosuz iletişim teknolojileri bulunurken (25/30), bunu 3.sırada modelleme tasarım/analiz araçları izlemektedir (24/30). Bulut bilişim teknolojileri (23/30) %77 oranla 4.sırada yer almaktadır.



Şekil 4.29 Paydaşlar ve teknolojik araç kullanımları

Telefon/tablet için uygulamalar (21/30) ve planlama yazılımları (21/30), yüklenicilerin çoğunluğu tarafından daha önce kullanılmış teknolojik araçlardandır. Blok zincir (7/30) ve bulanık mantık (7/30) yükleniciler tarafından en az kullanılan araçlardandır. yine nesnelerin interneti (10/30), büyük veri analitiği (10/30), giyilebilir teknoloji (10/30) ve artırılmış/sanal/karma gerçeklik (9/30) yükleniciler tarafından az kullanılan araçlardandır.

Mekânsal teknolojiler (14/30), görüntü yakalanan teknolojiler (13/30), robotik uygulamalar (13/30), makine öğrenmesi (13/30), BIM (12/30) ve kaynak planlama araçları yüklenicilerin ne çok az ne de çok fazla kullandığı orta gruptaki araçlardır. Diğer paydaşların hepsi en az bir kez modelleme tasarım/analiz yazılımları ve gelişmiş bilgi teknolojilerini daha önce kullanmışlardır (12/12). Bulanık mantık ise bu paydaşların en az kullandığı teknolojik araç olmuştur (2/12) (Şekil 4.29).

4.5.2 Kategorilere göre En Çok ve En Az tercih edilen teknolojik araçlar

4.5.2.1 Geoteknik Riskler ile Teknolojik Araçları Eşleştirme

Teknolojik araçlar ve kullanıcıların bu araçlar hakkında hangi geoteknik risklerin yönetilmesine, öngörülmesine katkıda bulunacakları ile ilgili görüşleri yorumlama kısmı merkezi dağılım ölçüleri ile yapılmıştır. Bu yorumlamanın aşamaları Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Tablo 4.5'te katılımcıların hangi geoteknik risk için en çok ve en az tercih ettiği teknolojik araçlar, 10 adet geoteknik riskin tabloda sıralanması ve en çok tercih edilen ve en az tercih edilen sütunları ile birlikte gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Geoteknik Riskler için en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar

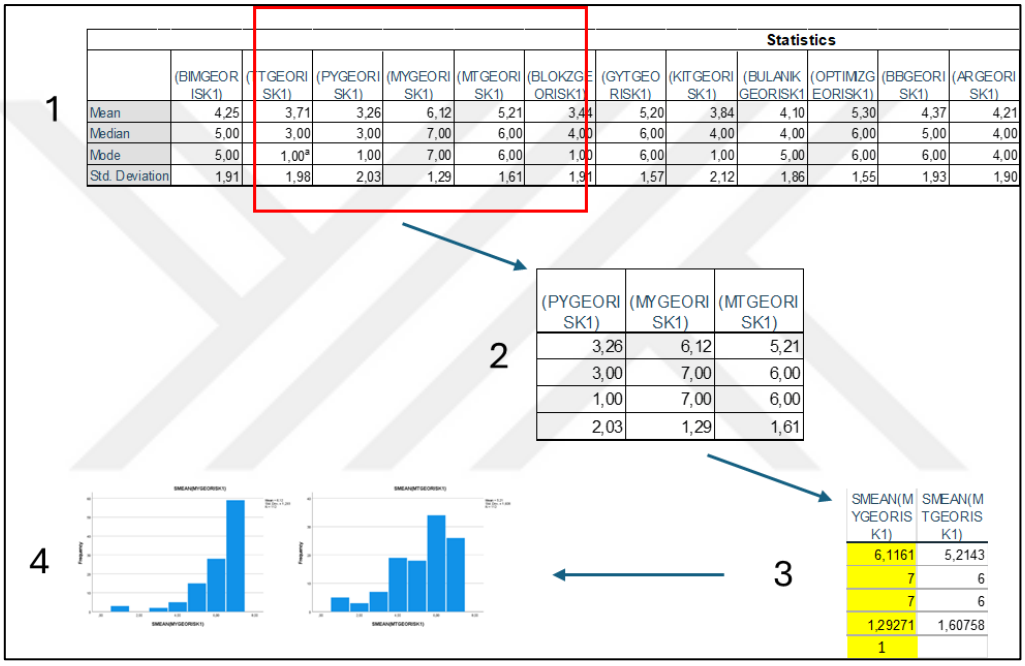
No	Geoteknik Risk	Teknolojik Aletler	
		En Çok Tercih Edilen	**En Az Tercih Edilen**
1	**Şev Kayması**	1. Modelleme Yazılımları/ 2. Optimizasyon Yöntemleri	1. Planlama Yazılımları/ 2. Giyilebilir Teknoloji
2	**Zeminde Sıvılaşma**	1. Modelleme Yazılımları/ 2. Optimizasyon Yöntemleri	1. Planlama Yazılımları/ 2. Giyilebilir Teknoloji
3	**Taşıma Gücü Kaybı**	1. Modelleme Yazılımları/ 2. Optimizasyon Yöntemleri	1. Planlama Yazılımları/ 2. Giyilebilir Teknoloji
4	**Kazı Tabanı Çökmesi**	1. Modelleme Yazılımları/ 2. Optimizasyon Yöntemleri	1. Planlama Yazılımları/ 2. Giyilebilir Teknoloji
5	**Şişme/Büzülme**	1. Modelleme Yazılımları/ 2. Büyük Veri Analitiği	1. Giyilebilir Teknoloji/ 2. Kaynak Planlama

Tablo 4.5 Geoteknik Riskler için en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar (devamı)

6	**Oturma (Ani Konsolidasyon)**	1. Modelleme Yazılımları/ 2. Optimizasyon Yöntemleri	1. Giyilebilir Teknoloji/ 2. Planlama Yazılımları
7	**Donma/Çözünme**	1. Modelleme Yazılımları/ 2. Optimizasyon Yöntemleri	1. Giyilebilir Teknoloji/ 2. Planlama Yazılımları
8	**Yeraltı Suyu Yükselmesi**	1. Modelleme Yazılımları/ 2. Mekânsal Teknolojiler: GIS	1. Giyilebilir Teknoloji/ 2. Kaynak Planlama
9	**Kazık Stabilitesi**	1. Modelleme Yazılımları/ 2. Optimizasyon Yöntemleri	1. Giyilebilir Teknoloji/ 2. Kaynak Planlama
10	**Kayaç Süreksizliği**	1. Modelleme Yazılımları/ 2. Optimizasyon Yöntemleri	1. Giyilebilir Teknoloji/ 2. Planlama Yazılımları

Geoteknik Riskler için en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlarda ve daha sonraki **4.5.2.2 Performans Kriterleri ile Teknolojik Araçları Eşleştirme** ve **4.5.2.3 Proje Yaşam Döngüsü ile Teknolojik Araçları Eşleştirme** bölümlerinde en çok ve en az tercih edilen araçları belirlemede **Şekil 4.30**'da sırasıyla gösterilen 4 adımdan yararlanılmıştır. 1.adımda SPSS programında geoteknik risklerden 1. numara olan şev kayması ile ilgili teknolojik araçların bu riskin çözülmesine/öngörülmesine 1 ile 7 arasından ne ölçekte katkı sağladığı ile ilgili sorunun cevaplarının tanımlayıcı istatistiklerinden frekansları analizi sonuçları görünmektedir. 2.adımda bu risklerden ortalaması ve modu en yüksek olan (sonuçlarda ortalaması yüksek olan serinin modunun da yüksek olduğu gözlemlenmiştir) seçildiği gösterilmiştir. Bunun nedeni ise ortalaması yüksek olan serinin, katılımcıların risk için bu teknolojik araca yüksek puan verdiğidir. Lakin bu durum, her zaman doğru sonucu vermeyebilir. Örneğin ortalaması daha düşük olan bir seri, aslında katılımcılar tarafından daha çok seçilebilir. Bu yüzden mod ve medyan değerlerine bakılıp aynı zamanda bu serinin dağılımının da incelenmesi gerekmektedir. 3. Adım, ortalamaları yüksek ve birbirine yakın olan iki serinin seçilip, 4. Adım bunların histogram eğrisine bakılıp karşılaştırılmasını göstermektedir. Örneğin **Şekil 4.30**'da gösterilen örnekte şev kayması geoteknik riski için modelleme tasarım/analiz yazılımları cevaplarının ortalamasının 6,12; mekânsal teknolojiler aracının ortalamasının ise 5,12 olduğu görülmektedir. Burada, şev kayması riski için en etkili olan teknolojik aracın direkt modelleme

tasarım/analiz yazılımları olduğunu söylemektense, bu araca en yakın ortalaması olan mekânsal teknolojilerin modu ve medyanı incelenmiş, aynı zamanda dağılım-histogram eğrisine de bakılmıştır. Modelleme yazılımlarının mekânsal teknolojilere kıyasla modu ve medyanın yüksek olmasının yanı sıra, bu teknolojilerin histogram eğrisinde, olumsuz cevapların diğer araca kıyasla daha az olduğu ve en çok tercih edilen seçeneğin "7" yani "çok-fazla" olduğu görülmektedir. Buradan modelleme yazılımlarının, şev kayması riskinde katılımcılar tarafından en etkili araç olarak seçildiği sonucuna ulaşılmaktadır. Aynı zamanda adımlar arasında arada kalınan serilerde, standart sapma, varyans vb. merkezi dağılım ölçüleri de incelenmiştir.



Şekil 4.30 Geoteknik riskler için en çok ve en az tercih edilen teknolojik aracın seçilmesi adımları

4.5.2.2 Performans Kriterleri ile Teknolojik Araçları Eşleştirme

Tablo 4.6 Performans kriterleri için en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar

No	Performans Kriteri	Teknolojik Aletler	
		En Çok Tercih Edilen	En Az Tercih Edilen
1	Zaman	1. Modelleme Yazılımları 2. Planlama Yazılımları	1. Giyilebilir Teknoloji 2. Blok Zincir

Tablo 4.6 Performans kriterleri için en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar (devamı)

2	**Maliyet**	1. Modelleme Yazılımları 2. Planlama Yazılımları	1. Giyilebilir Teknoloji 2. Blok Zincir
3	**Kalite**	1. Modelleme Yazılımları 2. BIM	1. Giyilebilir Teknoloji 2. Blok Zincir
4	**İş Güvenliği**	1.Modelleme Yazılımları 2. Gelişmiş Bilgi Teknolojileri	1. Blok Zincir 2. Bulanık Mantık
5	**İletişim Yönetimi**	1.Gelişmiş Bilgi Teknolojileri 2. BIM	1. Giyilebilir Teknoloji 2. Bulanık Mantık
6	**Sözleşme Yönetimi**	1. Planlama Yazılımları 2. Gelişmiş Bilgi Teknolojileri	1. Giyilebilir Teknoloji 2. Bulanık Mantık

Şekil 4.30'daki aşamalar sonucunda proje performans kriterleri için en çok ve en az tercih edilen teknolojik araçlar **Tablo 4.6'**da listelenmiştir. Performans kriterlerinden "zaman" ve "maliyet" kriterleri için en çok tercih edilen teknolojik araçlar "modelleme" ve "planlama yazılımları" olurken en az tercih edilen teknolojik araçlar "giyilebilir teknoloji" ve "blok zincir" olmuştur.

"Kalite" kriteri için en çok tercih edilen teknolojik araçlar yine "modelleme yazılımları" ve "BIM" olurken en az tercih edilen teknolojik araçlar "giyilebilir teknoloji" ve "blok zincir" olmuştur.

"İş güvenliği" kriteri için en çok tercih edilen teknolojik araçlar "modelleme yazılımları" ve "gelişmiş bilgi teknolojileri" olurken en az tercih edilen teknolojik araçlar "blok zincir" ve "bulanık mantık" olmuştur.

"İletişim güvenliği" kriteri için en çok tercih edilen teknolojik araçlar "gelişmiş bilgi teknolojileri" ve "BIM" olurken en az tercih edilen teknolojik araçlar "giyilebilir teknoloji" ve "bulanık mantık" olmuştur.

"Sözleşme yönetimi" kriteri için ise en çok tercih edilen teknolojik araçlar "planlama yazılımları" ve "gelişmiş bilgi teknolojileri" olurken en az tercih edilen teknolojik araçlar "giyilebilir teknoloji" ve "bulanık mantık" olmuştur.

4.5.2.3 Proje Yaşam Döngüsü ile Teknolojik Araçları Eşleştirme

Tablo 4.7 Proje yaşam döngüsü için en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar

No	Performans Kriteri	Teknolojik Aletler	
		En Çok Tercih Edilen	En Az Tercih Edilen
1	**Başlangıç**	1. Modelleme Yazılımları 2. Gelişmiş Bilgi Teknolojileri	1. Giyilebilir Teknoloji 2. Blok Zincir
2	**Planlama**	1. Modelleme Yazılımları 2. Planlama Yazılımları	1. Giyilebilir Teknoloji 2. Blok Zincir
3	**Yürütme**	1. Modelleme Yazılımları 2. BIM	1. Giyilebilir Teknoloji 2. Bulanık Mantık
4	**İzleme ve Kontrol**	1. Modelleme Yazılımları 2. BIM	1. Giyilebilir Teknoloji 2. Bulanık Mantık
5	**Kapanış**	1. Gelişmiş Bilgi Teknolojiler 2. Planlama Yazılımları	1. Giyilebilir Teknoloji 2. Bulanık Mantık

Tablo 4.7'de ise proje yaşam döngüsü için en çok ve en az tercih edilen teknolojik araçlar **Şekil 4.30**'da anlatılan aşamalara göre listelenmiş, "başlangıç" aşamasında projede risk yönetimi açısından en çok kullanılması gereken teknolojik araçlar "modelleme yazılımları" ve "gelişmiş bilgi teknolojileri" olarak seçilmiştir. "Giyilebilir teknoloji ve "blok zincir" bu aşama için en az seçilen teknolojik araçlar olmuştur.

"Planlama" aşamasında, "modelleme ve planlama" yazılımlarının risk yönetimi açısından kullanılması gerektiğini seçen katılımcılar, yine başlangıç aşamasında olduğu gibi "giyilebilir teknoloji ve "blok zincir"i bu aşama için de en az tercih etmişlerdir.

"Yürütme" ve "izleme ve kontrol" aşamalarına gelindiğinde ise "modelleme yazılımları" ve "BIM" en çok tercih edilen araçlar olurken, "giyilebilir teknoloji" ve "bulanık mantık" en az tercih edilen araçlardan olmuşlardır.

"Kapanış" aşamasında "gelişmiş bilgi teknolojileri" ve "planlama yazılımları" en çok tercih edilen araçlar olup, "giyilebilir teknoloji" ve "bulanık mantık" en az tercih edilen araçlardan olmuşlardır.

4.5.2.4 İş Tecrübesine Göre Teknolojik Araç Kullanımı

Tablo 4.8 İş Tecrübesine göre en çok & en az tercih edilen teknolojik araçlar

No	İş Tecrübesi	Teknolojik Aletler	
		En Çok Kullanılan	En Az Kullanılan
1	**0-5 yıl**	• Modelleme Yazılımları • Gelişmiş Bilgi Teknolojileri	• Bulanık Mantık • Nesnelerin İnterneti • Artırılmış gerçeklik / Sanal gerçeklik / Karma gerçeklik
2	**5-10 yıl**	• Modelleme Yazılımları • Gelişmiş Bilgi Teknolojileri	• Blok Zincir • Artırılmış gerçeklik / Sanal gerçeklik / Karma gerçeklik
3	**10-20 yıl**	• Modelleme Yazılımları • Gelişmiş Bilgi Teknolojileri	• Blok Zincir • Giyilebilir Teknoloji
4	**20-40 yıl**	• Modelleme Yazılımları • Gelişmiş Bilgi Teknolojileri • Kablosuz İletişim Teknolojileri	• Blok Zincir • Giyilebilir Teknoloji • Bulanık Mantık

Şekil 4.30'daki aşamalar takip edilerek, merkezi dağılım ölçüleriyle iş tecrübesine göre kategorilere ayrılan katılımcıların en çok ve en az kullandıkları teknolojik araçlar Tablo 4.8'de verilmiştir. 0 ila 5 yıl sektörde deneyimi olanlar, en çok modelleme yazılımları ile gelişmiş bilgi teknolojilerini kullanmaktadır. Bulanık Mantık, Nesnelerin İnterneti ve artırılmış/sanal/karma gerçeklik ise bu katılımcıların daha önce çok az ya da hiç kullanmadıkları araçlardır.

5 ila 10 yıl arası sektörde deneyimi olanlar da en çok modelleme yazılımları ile gelişmiş bilgi teknolojilerini kullanmaktadır. Blok zincir ve artırılmış/sanal/karma gerçeklik araçları bu katılımcıların yabancı olduğu teknolojik araçlardır.

Sektörde 10-20 yıl arası tecrübesi bulunanlar da 0-5 yıl ve 5-10 yıl tecrübesi olanlarda olduğu gibi en çok modelleme yazılımları ile gelişmiş bilgi teknolojilerini

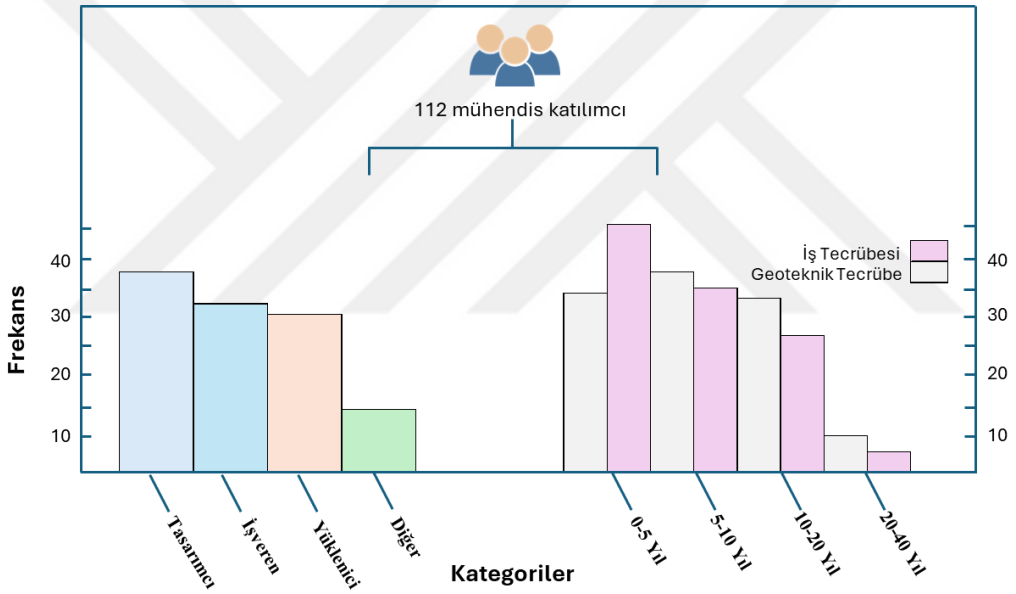
kullanmaktadırlar. Blok zincir ve giyilebilir teknoloji bu katılımcıların çok az ya da daha önce hiç kullanmadıkları araçlardandır.

Sektörde en çok deneyime sahip olan 20-40 yıl arası çalışmış katılımcıların, en çok modelleme yazılımları, gelişmiş bilgi teknolojileri ve kablosuz iletişim teknolojileri kullandığı görülmektedir. Bu katılımcıların yabancı oldukları teknolojik araçlar ise blok zincir, giyilebilir teknoloji ve bulanık mantıktır.

5
SONUÇ

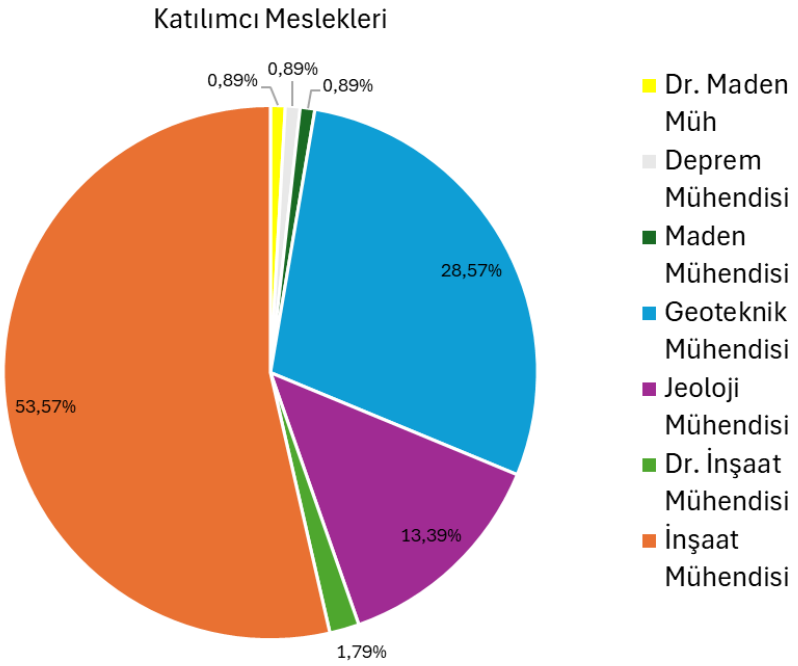
5.1 Bulgular

İnşaat projelerinde geoteknik risklerin yönetiminde teknolojik araçların kullanımını sorgulamak için farklı tür kurumlarda çalışan çoğunluğu inşaat mühendisliği altında geoteknik mühendisleri, jeoloji/jeofizik mühendisi, deprem mühendisi; sektörde 0-40 yıl aralığında tecrübesi olan ve daha önce geoteknik işlerde çalışmış 112 katılımcıyla anket çalışması yapılmış, anketin yanında bilirkişi, uzmanlarla yüz yüze görüşmeler ayarlanmıştır. Şekil 5.1 ve 5.2'de katılımcıların özellikleri özet olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Anket katılımcıları ve özellikleri

- Ankette katılımcı cevapları arasında kategorik olarak -ör. çalıştıkları kurum- anlamlı fark olup olmadığı merak edilmiş, burada anlamlı farkı bulmak için hangi testin kullanılacağını belirlemek için cevap serilerinin normal dağılımlı olup olmadığı SPSS programı ile test edilmiştir.
- Bölüm 4.3.1'de anlatılan yöntemlerle cevapların **"normal dağılımlı olmadığı"** bulunmuştur.



Şekil 5.2 Katılımcı meslekleri

- Katılımcıların **en çok kullanmayı** deneyimlediği teknolojik araç e-posta, ses ve el bilgisayarı gibi **gelişmiş bilgi teknolojileri** olurken, daha önce **en az kullanılan** teknolojik araç **blok zincir** olmuştur.
- Cevaplar arasında anlamlı fark olup olmadığını test etmek için normal dağılımlı olmayan setlerde **kullanılan Kruskal-Wallis, Wilcoxon ve Man Whitney** testleri seçilmiştir. Bunlara ek olarak frekanslara bağlı karşılaştırmalar için **Ki-Kare testi** de kullanılmıştır. Bu testlerde **anlamlılık seviyesi** $p = 0{,}05$ alınmıştır. Cevapları daha spesifik incelemek için parametrik olmayan testlerin yardımcı olmadığı konularda merkezi dağılım ölçüleri de kullanılmıştır.
- Anlamlı farklılığın nasıl seçildiği ve genel karşılaştırmaların nasıl yapılacağı **Bölüm 4.4.1**'de BIM teknolojik aracı üzerinden anlatılmış, daha sonraki bölümlerde ise ikili ya da genel karşılaştırmalara devam edilmiştir.

5.1.1 Anlamlı Farklılıklar

Aralarında herhangi bir ilişki olup olmadığı merak edilen tüm kategorilerde anlamlı farklılık, kategori sayısına hangi test uygunsa o test ile analiz edilmiştir. Örnek olarak, aşağıda öncelikli test edilen iki hipotez verilmiştir.

Katılımcıların hepsi, daha önce geoteknik işlerde çalışmışlardır. İlk olarak merak edilenlerden bir tanesi "Katılımcılar arasında iş tecrübesi arttıkça geoteknik işlerde çalışma deneyimi de artacaktır" hipotezinin doğruluğu olmuştur.

> $H0_0$ = Katılımcıların iş tecrübesi ile geoteknik işlerde çalışma tecrübesi arasında anlamlı farklılık vardır.

Direkt ikili karşılaştırmalarda kullanılabilen Wilcoxon Testi ile iş tecrübesi ve geoteknik tecrübe arasında anlamlı farklılık olduğu bulunmuştur (p=0,000 <0,05), $H0_0$ tezi doğrulanmıştır.

5.1.1.1 Kullananlar ve Kullanmayanlar

Bir diğer merak edilen hipotez $H1_o$;

> $H1_o$ = Teknolojik araçları daha önce kullanmayanlar, kullananlara katılmaktadır.

Bunun için, cevaplar arasında p> 0,05 olmalı yani anlamlı farklılık çıkmaması gerekmektedir. Cevaplar birbirine ne kadar yakın ise anlamlı farklılık o kadar azalacaktır. $H1_o$ hipotezi, Kruskal-Wallis testine göre kısmi olarak doğru çıkmaktadır. Bunun nedeni ise bazı teknolojik araçlar için kullananlar ve kullanmayanlar arasında anlamlı farklılık çıkarken, çoğu teknolojik araçta çıkmamıştır. Aşağıda, anlamlı farklılığın olmadığı durumlar listelenmiştir:

- BIM, giyilebilir teknoloji, gelişmiş bilgi teknolojileri ve makine öğrenmesinin geoteknik riskleri, proje performans kriterleri ve proje yaşam döngüsü aşamalarını yönetmede ne derece etkili olabileceği konusunda katılımcılardan bu araçları daha önce kullanmayanlar, kullananlara katılmaktadır.
- Telefon / tablet için mobil uygulamaların geoteknik risklerin ve proje performans kriterlerinin yönetimine etkisi konusunda daha önce kullanmayanlar, kullananlara katılmaktadır.
- Planlama Yazılımlarının proje yaşam döngüsüne etkisi konusunda daha önce kullanmayanlar, kullananlara katılmaktadır.
- Modelleme Yazılımlarının proje performans kriterleri ve proje yaşam döngüsü aşamalarına etkileri konusunda kullanmayanlar, kullananlara katılmaktadır.
- Fotogrametri, video kamera, lazer tarama, lazer-radar (LIDAR/LADAR) gibi görüntü yakalanan teknolojilerin proje yaşam döngülerini ne derece

etkileyebileceği konusunda daha önce kullanmayanlar kullananlara katılmaktadır.

- Bulanık Mantık'ın performans kriterlerine etkisi konusunda daha önce kullanmayanlar kullananlara katılmaktadır.
- Nesnelerin İnterneti teknolojisinin proje performans kriterleri ve proje yaşam döngüsüne etkisi konusunda daha önce kullanmayanlar kullananlara katılmaktadır.
- Otonom araçlar, insansız hava aracı, 3 boyutlu yazıcı gibi robotik uygulamaların proje performans kriterlerine etkisi konusunda daha önce kullanmayanlar kullananlara katılmaktadır.

Sonuç olarak teknolojik araçları daha önce kullanmayandan bu araçları daha önce kullananlara katılanlar vardır. Örneğin daha önce BIM kullanmayan katılımcılar, BIM'in geoteknik risklerde, proje performans krtierlerinde ve proje yaşam döngüsünde etkili olabileceğine, bu aracı kullananların da düşündüğü gibi, olumlu kanaat getirmişlerdir. Kullananlar BIM'in kalite ve iletişim yönetiminde; projenin yürütme ve izleme kontrol aşamalarında etkin rol oynadığını düşünürken, kullanmayanlar da BIM tanımına göre buna katılmışlardır. Bir başka örnek olarak da, daha önce az kullanılmış olması ile birlikte kullanan kişiler giyilebilir teknolojinin genel olarak geoteknik riskler, proje performans kriterleri ve proje yaşam döngüsünde çok faydalı bir araç olacağını düşünmemişlerdir. Kullanmayan katılımcılarda bu araç için aynı şekilde düşünmüşlerdir. Giyilebilir teknolojinin etkili olabileceği tek kriterin iş güvenliği olduğunu belirten katılımcılar, yine de iş güvenliği için en etki aracın modelleme yazılımları olduğunu düşünmüştür. Buradan, aslında projenin en başından bütün aksiyonların, yapının, çevrenin ve şartların doğru bir şekilde modellenmesi ile iş güvenliği risklerinin azaltılabileceğini düşünmüş olabilirler.

5.1.1.2 İş Tecrübesi

- Analiz sonucunda iş tecrübesine göre teknolojik araçların daha önce en az bir kez kullanılıp kullanılmaması ile ilgili anlamlı bir farklılık bulunmamıştır, bu da iş tecrübesinin teknolojik araçların kullanılıp kullanılmamasında farklılık yaratmadığını göstermektedir.
- İş tecrübesine göre BIM teknolojik aracının proje yaşam döngüsüne etkisi konusunda katılımcılar birbirine katılmaktadır.

- İş tecrübesine göre Planlama Yazılımlarının geoteknik risklere etkisi ve proje yaşam döngüsüne katkısı konusunda katılımcılar birbirine katılmaktadır.
- İş tecrübelerine göre artırılmış/sanal/karma gerçekliğin geoteknik risklerin yönetimine etkisi, proje performans kriterleri ve proje yaşam döngüsü aşamalarına etkileri konusunda genel olarak katılımcılar arasında fikir birliği bulunmamıştır.
- İş tecrübelerine göre nesnelerin interneti ile geoteknik risklerin yönetimine etkisi, proje performans kriterleri ve proje yaşam döngüsü aşamalarına etkileri konusunda genel olarak katılımcılar arasında fikir birliği bulunmamıştır.
- İş tecrübelerine göre robotik uygulamalar ile geoteknik risklerin yönetimine etkisi, proje performans kriterleri ve proje yaşam döngüsü aşamalarına etkileri konusunda genel olarak katılımcılar arasında fikir birliği bulunmamıştır.

İş tecrübesi teknolojik araçların daha önce kullanılıp kullanılmamasını etkilememektedir. Teknolojik araçların kullanımımın iş tecrübesine göre etkili olması ancak yıllarca spesifik (sadece tasarımda çalışmış, sadece danışman olarak çalışmış) şirketlerde çalışan katılımcıların çokluğuna göre değişebilirdi. Katılımcı profillerine bakıldığında, yıllarca aynı yerde çalışan kişi sayısının oldukça az olduğu görülmektedir. Buradan da bu hipotezin doğruluğunun güvenilir olduğu sonucuna çıkılmaktadır.

BIM hakkında daha önce kullanan ve kullanmayanlar arasında fikir birliği olmakla birlikte, BIM'in potansiyel faydaları konusunda ayrıca iş tecrübe süresi farklı olan katılımcılar da birbirine katılmaktadır. Örneğin, sektörde 40 yıla yakın çalışmış katılımcının düşündüğü gibi 5 yıl çalışmış katılımcı da BIM'in proje yaşam döngüsünde oldukça efektif bir araç olduğunu düşünmektedir. Bir başka örnek olarak, iş tecrübe süresi farketmeksizin, katılımcıların planlama yazılımlarının geoteknik risklere ve proje yaşam döngüsüne etkileri ile ilgili görüşleri benzerdir. Planlama yazılımlarının geoteknik risklerde çok etkili olacağını düşünmeyen katılımcılar, bu yazılımların zaman, maliyet, sözleşme yönetimi gibi performans kriterlerinde ve planlama, kapanış aşamaları gibi yaşam döngülerinde oldukça etkili olabileceğini düşünmüşlerdir. Bunun yanında son çağ teknolojileri olan artırılmış/sanal/karma gerçeklik, nesnelerin interneti ve robotik uygulamalar konusunda sektörde daha deneyimli olan çalışanlar bu araçların çok etkili olabileceğini düşünmezken, sektörde 0-5 yıl arası deneyimi olan çalışanlar bu

araçların belirtilen kategorilere etkili olabileceğini düşünmüşlerdir. Buradan, sektörde uzun süre çalışan katılımcılarda daha geleneksel bir düşünce tarzının olduğu, yeni nesil çalışanların ise daha yenilikçi ve inovatif bir düşünce yapısına sahip olduğu çıkarılabilir. Lakin, burada geleneksel düşünce yapısına göre bu teknolojilere uzak bakmanın direkt haksız bir düşünce yapısı olduğu söylenemez, çünkü onlara ve uzun süreli sektör deneyimlerine göre bu araçları sektöre entegre etmek maliyetli, zordur ve sektör şuan zaten kötü bir piyasada ve sıkıntıdadır.

5.1.1.3 Paydaşlar

- Analiz sonucunda kurum türüne göre teknolojik araçların (modelleme yazılımları hariç) daha önce en az bir kez kullanılıp kullanılmaması ile ilgili anlamlı bir farklılık bulunmamıştır, bu da çalışanların çalıştıkları kurumun tasarım, işveren, yüklenici ya da diğer olarak farketmeksizin teknolojik araçları kullanıp kullanmamalarında farklılık olmadığını göstermektedir.
  Modelleme yazılımları, tasarımcı firmalarda çalışan veya danışman, tedarikçi ve denetimci olan tüm paydaşlar tarafından kullanılırken, yüklenici firmalar en çok "gelişmiş bilgi teknolojilerini" kullanmaktadır.
- Paydaşlar teknolojik araçların proje performans kriterlerine etkisi konusunda benzer cevaplar vermişlerdir.
- Paydaşlar aynı zamanda teknolojik araçların proje yaşam döngülerine etkileri konusunda benzer cevaplar vermişlerdir.
- Paydaşlar BIM teknolojisinin geoteknik risk, proje performans kriterleri ve proje yaşam döngüsüne etkileri konusunda genel olarak birbirlerine katılırken, sadece BIM'in "kazık stabilitesi" riskinin yönetimine etkisi konusunda katılımcılar arasında işveren ve tasarım arasında net bir görüş ayrılığı bulunmaktadır. İşveren kazık stabilitesinin BIM ile yönetilebileceğini savunurken, tasarımcılar bunun tersini, BIM'in kazık stabilitesi ile riskleri yönetmede çok az etkili olacağını savunmuşlardır.
- Paydaşlara göre telefon / tablet için mobil uygulamaların "zeminde sıvılaşma" geoteknik riskinin yönetimine etkisinde görüş farklılığı vardır. İşveren, yüklenici ve diğer paydaşlar telefon / tablet için mobil uygulamaların "zeminde sıvılaşma" riskinin yönetilmesinde orta derecede etkili olabileceğini savunurken tasarımcı paydaşı bu teknolojik aracın çok az etkili olacağını savunmuştur.

- Paydaşlar arasında geoteknik risklerin yönetilmesinde planlama yazılımlarının ne derece etkili olabileceği konusunda görüş farklılıkları olsa da "şev stabilitesinin" planlama yazılımları ile orta-çok yönetilebileceği konusunda hemfikirlerdir.
- Paydaşlar mekansal teknolojiler ile geoteknik risklerin yönetilmesi konusunda fikir ayrılıkları yaşasa da, şev stabilitesi ve kayaç süreksizliklerinin bu teknolojik araç ile çok iyi yönetilebileceğini, kazı taban çökmesinin orta, şişme/büzülme ve yeraltı suyunun orta-çok yönetilebileceği konusunda hemfikirdirler.
- Paydaşlardan işveren ve diğer paydaşlara göre blok zincir ile taşıma gücü kaybı riski orta yönetilebilecekken, tasarımcı ve yüklenici paydaşlara göre blok zincir ile bu risk yönetilemeyecektir. Paydaşlardan genel olarak tasarımcılar blok zincir ile geoteknik risk yönetiminin çok az mümkün olacağını belirtmişlerdir. Bunun yanında diğer paydaşlar blok zincir konusunda daha ılımlı olup, blok zincirin şev kayması, şişme/büzülme, dönma/çözünme etkisinde ooldukça işe yarayabileceğini savunmuşlardır.
- Paydaşlara göre görüntü yakalanan teknolojiler ile "zeminde sıvılaşma", "taşıma gücü kaybı", "şişme/büzülme", "donma çözünme", "yeraltı suyu yükselmesi" risklerinin yönetilmesinde katılımcı cevapları arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. İşveren bu risklerin bu teknoloji ile yönetilmesi konusunda iyimser olurken, tasarımcı bu risklerin bu teknoloji ile yönetilebileceğini düşünmemektedir. Yüklenici ve diğer paydaşlar bu risklerin bu araçla yönetilebileceği konusunda arada kalıp, daha çekimser cevaplar vermişlerdir.
- Paydaşlardan yükleniciye göre görüntü yakalayan teknoloji başlangıç aşamasına çok etki edebilecekken, diğer paydaşlar bu konuda bu teknolojinin başlangıç aşamasına genel olarak orta derecede etki edebileceğini savunup, çekimser kalmışlardır.
- Paydaşlar kablosuz iletişim teknolojilerinin geoteknik risklerin yönetiminde etkili olup olmayacağı konusunda birbirlerine katılmamaktadırlar. Örneğin, işverenler için kablosuz iletişim teknolojileri ile zeminde sıvılaşma, taşıma gücü kaybı ve kazı tabanı çökmesi riski oldukça yönetilebilecekken, kazık stabilitesi yönetilemeyecektir. Tasarımcı ve diğer paydaşlara göre ise bu teknlojiler ile

genel olarak hiçbir geoteknik risk yönetilemeyecektir. Yüklenicilere göre ise kablosuz iletişim teknolojileri ile sadece şev stabilitesi riski yönetilebilir.

- Paydaşlardan küçük farklılıklar hariç olmak üzere diğer paydaşlar (danışman, denetimci, tedarikçi) dışındakiler kablosuz iletişim teknolojileri ile proje performans kriterlerinin yönetiminin mümkün olabileceğini düşünmektedir. örneğin işveren, tasarımcı ve yüklenici paydaşlarının hepsi kablosuz iletişim teknolojileri'nin "zaman" performans kriterine oldukça etki edeceğini düşünmektedir. Lakin, paydaşlardan tasarımcıya göre bu teknolojik araç "kalite" performans kriterine çok az etki edebilecekken, öteki paydaşlara göre bu teknolojik araç ile "kalite" yönetimi oldukça mümkündür.
- Paydaşlardan işveren ve tasarımcı'ya göre proje yaşam döngülerinden "başlangıç", "planlama" ve "kapanış" aşamaları kablosuz iletişim teknolojileri ile yönetilebilecekken, yüklenici ve diğer paydaşlara göre bu araç bu aşamalara çok etki etmeyecektir.
- Paydaşlar bulut bilişim teknolojilerinin geoteknik riskleri, proje performans kriterlerini ve proje yaşam döngüsü aşamalarını ne derece etkileyebileceği konusunda genel olarak birbirlerine katılmaktadırlar. İşveren paydaşı genel olarak geoteknik risklerin bulut bilişim teknolojileri ile yönetilebileceğini savunurken, tasarımcı'nın bazı geoteknik riskler konusunda bu konuda çekimserliği vardır. Tasarımcı ve yüklenici "oturma (ani konsolidasyon), "donma-çözünme etkisi", "yeraltı suyu yükselmesi" ve "kayaç süreksizlikleri" risklerininin bulut bilişim teknolojileri ile yönetilip öngörülebileceğini düşünmemektedir. Diğer paydaşlar bu konuda daha çekimser olup, net bir görüşleri bulunmamaktadır. Tasarımcı ve yüklenici aynı zamanda, "kalite" performans kriterinin bu teknoloji ile yönetilecebileceğini çok düşünmezken, işveren ve diğer paydaşlar bunun mümkün olduğunu düşünmektedir. Paydaşlar çoğunlukla bulut bilişim teknolojileri ile proje yaşam döngülerinin etkili yönetilebileceğini düşünmektedirler.
- Paydaşlardam yüklenici ve işveren artırılmış gerçeklik / sanal gerçeklik / karma gerçeklik teknolojik aracının "zeminde sıvılaşma" riski ile yönetilebileceğini düşünürken, tasarımcı ve diğer paydaşlar bu teknolojik araç ile bu riskin yönetilebileceğini düşünmemektedir.

- Paydaşlara göre giyilebilir teknoloji (EEG, ECG/EKG sensörleri, UV ışınlarını ölçen sensör, stresi kontrol eden bileklik, akıllı baret) geoteknik risk yönetimini etkilemeyecektir. Paydaşlar giyilebilir teknoloji ile "iş güvenliği" performans kriterinin yönetilmesinin etkili olacağını düşünürken, diğer performans kriterleri ve proje yaşam döngüsü aşamlarının yönetilmesinde bu aracın pasif kalacağını düşünmektedir.

Modelleme yazılımları, gerek geoteknik riskler olsun, gerek proje performans kriterleri ve proje yaşam döngüsü aşamaları olsun, projede en etkili olacak araç seçilmiştir. Paydaşların da yüklenici firma dışında kendi içlerinde en çok kullandığı araç modelleme yazılımları olmuştur. Yüklenici en çok e-porta, ses, el bilgisayarı gibi gelişmiş bilgi teknolojilerini kullanmaktadır. Buradan, katılımcılardan yüklenici olanların daha çok ofiste çalıştığı ve teknik kısımdan daha uzak olan profiller olabileceği düşünülmektedir. Bu yüzden, modelleme yazılımlarından çok gelişmiş bilgi teknolojilerini kullanmaktadırlar. Paydaşlar genel olarak, modelleme yazılımları ve gelişmiş bilgi teknolojilerinin projenin başlangıç, planlama aşamalarında çok etkili olacağını düşünmekteyken, bu aşamalarda giyilebilir teknoloji ve blok zincir araçlarının çok az etkili olacağını belirtmişlerdir. Modelleme yazılımları ve BIM, yürütme ve izleme kontrol aşamalarında yine paydaşlar için etkili olabilecek araçlar seçilmiştir. Buradan, gelecekteki çalışmalar için modelleme yazılımları ve BIM'in birlikte entegre çalıştırılması (herhangi bir Modelleme aracı-BIM aracı) ile ilgili çalışmalar üzerinde yoğunlaşılması önerilebilir. Planlama yazılımları proje döngülerinde paydaşlara göre hep aktif olması gereken yazılımlardır. Gelişmiş bilgi teknolojileri ise paydaşlara göre başlangıç ve kapanışta çok etkili olacaktır. Buradan da gelişmiş bilgi teknolojilerinin projeye ilk ve son dokunuşları yapmada anahtar bir araç olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Performans kriterlerinde ise yine modelleme yazılımları başta olmak üzere, gelişmiş bilgi teknolojileri ve planlama yazılımları, etkili olacağı en çok düşünülen yazılımlardır. Proje performans kriterleri için de en az etkili olacağı düşünülen araçlar giyilebilir teknoloji, blok zincir ve bulanık mantık olarak seçilmiştir.

Paydaşların genel olarak fikirleri benzer olsa da, tasarımcılar paydaşlardan fikir birliği konusunda en çok uzaklaşan katılımcılar olmuştur. Teknolojik araçlar ve bu araçlardan özellikle bilgisayar yazılımları ile çalışan bu paydaşlar, örneğin, BIM

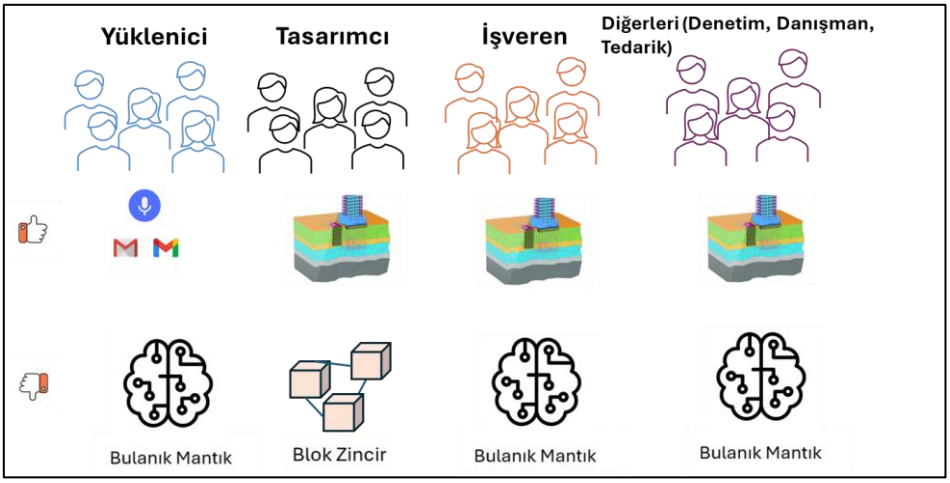
aracının diğer paydaşların aksine kazık stabilitesinde etkili olacağını düşünmemektedir. Tasarımcı, diğer paydaşların aksine yine telefon/tablet mobil uygulamalarının zeminde sıvılaşma riskinde etkili olacağını düşünmemektedirler. Şev stabilitesi riskinin genel olarak modelleme yazılımları ile yönetilebileceği bilinen ve beklenen bir görüş olsada, anket sonucunda bu riskin planlama yazılımları ile de yönetilebileceği paydaşar tarafından savunulmuştur. Paydaşlar aynı zamanda, mekânsal teknolojiler: GIS gibi teknolojik araçların şev stabilitesi ve kayaç süreksizliğini yönetebileceği konusunda hemfikir olmuşlardır. Bu araç ile projenin mekânsal özellikleri olan şev, süreksizlikler ve yeraltı suyu ile bağdaştırdıkları, o yüzden bu aracı seçtikleri düşünülebilir. Blok zincir teknolojisine genel olarak önyargılı bakılsa da işveren ve danışman, denetimci gibi diğer paydaşlar blok zincire bir şans verilmesi gerektiğini düşünmektedirler. Genel olarak işveren paydaşının, bütün teknolojik araçlara karşı öteki paydaşlara kıyasla daha olumlu baktığı da anket sonuçları analizlerinde görünmektedir.

5.1.2 Teknolojik Araçların Kategorilere göre Dağılımları & İncelenmesi

5.1.2.1 Paydaşlara Göre Teknolojik Araç Kullanımı

- Modelleme Yazılımları ve Gelişmiş Bilgi Teknolojileri: Tüm paydaşlar arasında en sık kullanılan teknolojik araçlar bunlardır. Bütün paydaşlar bu araçları en az bir kez kullanmışlardır.
- Kablosuz İletişim Teknolojileri: Yine bütün paydaşlar arasında yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Bütün paydaşlar bu teknolojiyi en az bir kez kullanmışlardır.
- Bulut Bilişim Teknolojileri: İşverenler, tasarımcılar ve yükleniciler arasında ortak olarak en sık kullanılan teknolojik araçlardan biridir. Tüm bu paydaş grupları, bulut bilişim teknolojilerini en az bir kez kullanmışlardır.
- Telefon/Tablet için Mobil Uygulamalar: İşverenler ve yükleniciler arasında ortak olarak sıkça kullanılan bir teknolojidir. Her iki grup da bu teknolojiyi en az bir kez kullanmıştır.
- Robotik Uygulamalar: İşverenler, tasarımcılar ve yükleniciler arasında kullanımı düşük olan bir teknolojidir. Bu gruplar arasında robotik uygulamaların kullanımı oldukça sınırlıdır.
- Artırılmış/Sanal/Karma Gerçeklik: İşveren ve yüklenici tasarımcıya kıyasla bu teknolojik araçları daha az kullanmışlardır.

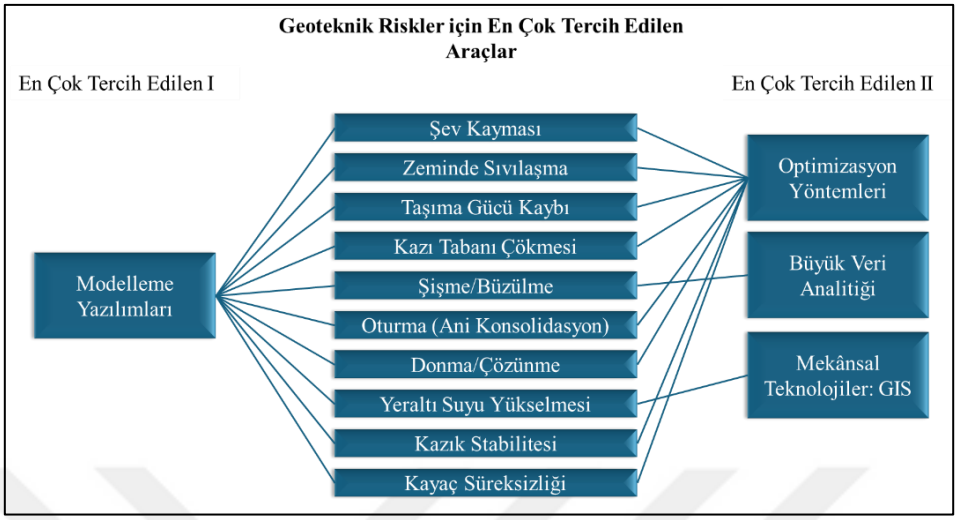
- Blok Zincir: İşveren ve yüklenici, diğer paydaşlara kıyasla blok zincir teknolojisini daha az kullanmışlardır.
- Büyük Veri Analitiği ve Nesnelerin İnterneti: Bu teknolojik araçlar, özellikle tasarımcı ve yükleniciler arasında daha az kullanılan araçlardır. İşverenin bu teknolojileri kullanma oranları daha yüksektir.
- Robotik Uygulamalar: İşveren, tasarımcı ve yüklenici arasında kullanımı düşük olan bir teknolojidir. Bu gruplar arasında robotik uygulamaların kullanımı oldukça sınırlıdır.
- Makine Öğrenmesi: İşveren ve tasarımcı, yükleniciye kıyasla makine öğrenmesi teknolojisini daha sık kullanmıştır. Diğer paydaşlar arasında da bu teknoloji daha az kullanılmıştır.
- Giyilebilir Teknoloji: Tasarımcı, işverene kıyasla giyilebilir teknolojiyi daha fazla kullanmıştır. Yüklenici ve diğer paydaşlar arasında ise bu teknoloji daha az kullanılmıştır.
- Bulanık Mantık: Tasarımcı ve diğer paydaşlar arasında en az kullanılan teknolojik araçlardan biridir. İşverenler ve yükleniciler arasında da kullanımı oldukça sınırlıdır.
- Planlama Yazılımları: İşveren ve yüklenici, tasarımcılara kıyasla planlama yazılımlarını daha fazla kullanmıştır. Diğer paydaşlar arasında bu teknoloji daha az kullanılmıştır.



Şekil 5.3 Paydaşların en çok ve en az kullandığı teknolojik araçlar

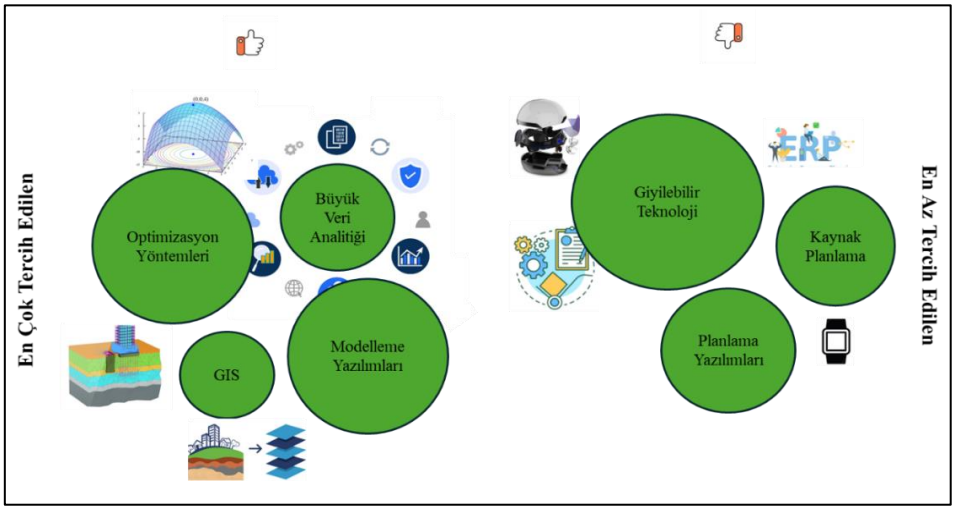
5.1.2.2 Kategorilere göre En Çok ve En Az tercih edilen teknolojik araçlar

- **Geoteknik Riskler için**



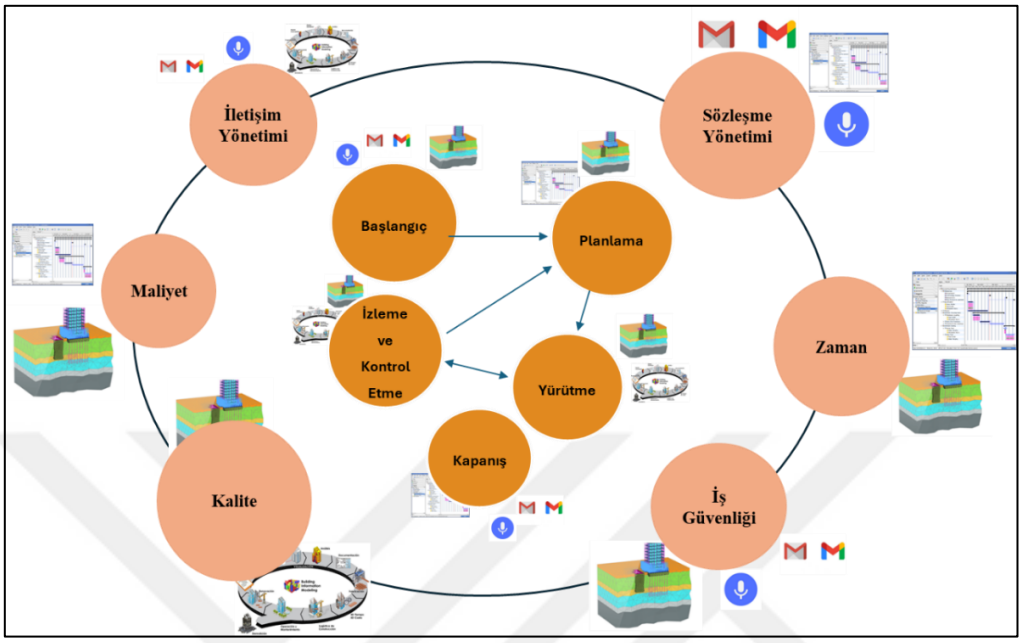
Şekil 5.4 Geoteknik riskler için en çok tercih edilen teknolojik araçlar

Şekil 5.4'te geoteknik riskler için en çok tercih edilen teknolojik araçlar sırayla gösterilmiştir. Bütün geoteknik risklerin öngörülüp yönetilmesinde katılımcılar en çok modelleme yazılımlarını seçmiştir. Bu riskler için en çok tercih edilen ikinci teknlojik araçlarda ise optimizasyon yöntemleri, büyük veri analitiği ve mekansal teknojiler: GIS yeralmaktadır. Şev kayması, zeminde sıvılaşmai taşıma gücü kaybı, kazı tabanı çökmesi, oturma (ani konsolidasyon), donma/çözünme, kazık stabilitesi ve kayaç süreksizliği risklerinin yönetilmesinde ikinci sırada optimizasyon yöntemleri seçilirken, şişme/büzülme riski için büyük veri analitiği, yeraltı suyu yükselmesi için mekânsal teknolojiler seçilmiştir.



Şekil 5.5 En tercih edilen ve en az tercih edilen teknolojik araçlar

Giyilebilir teknoloji, kaynak planlama ve planlama yazılımları genel olarak katılımcılar tarafından geoteknik risklerin yönetilmesinde en az kullanılabilecek araçlar olarak seçilmiştir.



Şekil 5.6 Proje yaşam döngüsü ve proje performans kriterleri için en çok tercih edilen teknolojik araçlar

Modelleme ve planlama yazılımları, ses, e-posta gibi gelişmiş bilgi teknolojileri ve BIM, proje performans kriterleri açısından geoteknik risklerin yönetiminde en etkili olabilecek araçlar olarak seçilirken, bu araçlar aynı zamanda proje yaşam döngüsü içinde de geoteknik risk yönetiminde etkin olacak araçlar olarak seçilmiştir.

5.2 Tartışma

Özellikle son 10 yılda, inşaat sektöründe yeni teknolojik araçların kullanımı gündeme gelmeye başlamıştır. Bu teknolojik araçlardan 19 tanesi, literatür taraması ve uzman görüşleri sonucu seçilip sektörde ne kadar tanınıp tanınmadıkları ve ayrıca geoteknik risk yönetimine, geoteknik risk yönetimi kapsamında proje performans kriterlerine ve proje yaşam döngüsü aşamalarına ne kadar katkı sağladıkları/sağlayabileceklerimerak edilmişir.

Bulunan sonuçlara göre, seçilen teknolojik araçlardan blok zincir, artırılmış/karma/sanal gerçeklik ve bulanık mantık anket katılımcılarının daha önce kullanmadıkları araçlarda ilk sıralarda bulunmaktadır. Bu teknolojik araçların aynı

zamanda proje yönetimi açısından faydalı olacağı katılımcılar tarafından çok düşünülmemiştir. Yüz yüze yapılan görüşmelerde bir bulanık mantığın nümerik analizlere entegre edilmesi üzerine çalışan akademisyen, bu aracın aslında sektörde kullanılmasının çok işe yarayabileceğini, lakin daha henüz Türkiye'de bunun üzerine çalışan kişi sayısının çok az olduğundan bahsetmiştir. Literatürde bu araçların inşaat sektöründe kullanımları ile ilgili dünya bazında örnekler olsa da, Türkiye inşaat sektörü, anket sonuçlarıyla bu kullanıma dahil olmadığını göstermiştir. Ayrıca, bu araçlara aşina olan kısmın daha çok Ar-Ge çalışmalarına önem veren şirketlerde ya da üniversitelerde öğretim üyesi olarak çalışan katılımcılar olduğu görülmüştür. Burada sonuç olarak, daha çok Endüstri 5.0 ile alakalı olan bu araçların sektöre entegre edilmesinde, danışman veya akademisyenlerle işveren, yüklenici, tasarımcı firmaların daha yakın çalışması gerektiği vurgulanabilir.

Gelişmiş bilgi teknolojileri ve modelleme yazılımları ise katılımcıların en çok kullandıkları teknolojik araçlar olmuştur. Bu şaşırtıcı bir sonuç olmamıştır. Bilidindiği üzere, inşaat sektöründe bütün aksiyonların modelleme ve iletişimle başlar ve o şekilde devam eder. En başından ilgili proje işverenin yüklenici ve ilgili paydaşlara ulaşması gelişmiş bilgi teknolojileri ile başlar. Gerekli görüşmeler ve anlaşmalar yapıldıktan sonra kontrat imzalanma aşamasından sonra sahaya çıkma, survey kısmının başlamasıyla modelleme yazılımları kullanılmaya başlanır. Gerekli revizyonlar ve bütün aşamaların kaydedilmesi yine bu iki teknolojik aracın kullanımı ile olur.

Anket çalışması, belirlenen teknolojik araçların aslında katılımcılara hiç kullanmasalar dahi tanıtılmasına imkan sağlamıştır. Daha önce araçları hiç kullanmayan katılımcılar bu araçların kullanılmasının geoteknik risk ve proje yönetimi bazında artı sağlayabileceğini belirtmişlerdir. Örneğin, daha önce katılımcıların yarısından azın kullandığı büyük veri analitiği ve BIM, proje yönetimi kapsamında performans kriterleri, proje aşamaları ya da geoteknik risklerin yönetilmesinde en çok işe yarayacak araçlardan seçilmişlerdir. Aralarında, proje müdürleri ve şirket sahipleri olan katılımcıların bulunduğu bu anketin teknolojik araçların sektöre tanıtılması ve uygulanmasını hızlandırabileceği de söylenebilir.

Paydaşlardan işveren paydaşının genel olarak teknolojik araçları kullanmaya daha açık ve hevesli oldukları sonucuna anket sorularında genel olarak araçlarla ilgili olumlu cevaplar verdiklerinden ulaşılabilir. Tasarımcı paydaşı ise genel olarak modelleme yazılımları ve gelişmiş bilgi teknolojileri gibi bilindik teknolojik araçlar dışında diğer teknolojik araçların proje yönetimde çok da etkili olacağını düşünmemektedir. Yüklenici ve diğer paydaşlar, yeni teknolojik araçları kullanmaya karşı işverenlere göre daha çekingen olsalar da yeniliklere açıktırlar.

Anket sonuçları, ileride özellikle geoteknik ağırlıklı çalışan veya geoteknik risk yönetimi konusunda sıkıntı çeken şirketlerin proje yönetimi kapsamında ne tür teknolojik araçlardan faydalanabileceğini göstermektedir. Örneğin, çalıştıkları alanda yeraltı suyu yükselmesi riski ile karşı karşıya olan bir şirket, aynı zamanda proje performans kriterlerinden de kısıtlı "zaman"a sahipse, hem "zaman" yönetimi hem de "yeraltı suyu yükselmesi" risk yönetimi için en çok tercih edilen araçlardan modelleme yazılımlarını kullanmaları gerektiğini ve ayrıca bu yazılımlara ek olarak GIS ve planlama yazılımlarının da bu araçlara alternatif araçlar olabileceğini bileceklerdir. Bir başka örnek, yine geoteknik çalışmaların ağırlıklı olduğu bir şirkette, "izleme ve yürütme" aşamalarında şirket içi ya da dışı sıkıntılar yaşanıyorsa bu şirket modelleme yazılımlarını ya da varsa BIM aracını daha etkin kullanmaları gerektiğini bileceklerdir. Burada şirket bütçesine göre bu araçlardan sadece bir tanesini seçebilirken aynı zamanda bu iki aracı aynı anda seçip entegre yönetim sistemleri üzerinde de çalışabileceklerdir.

Bu şekilde birçok geoteknik risk, proje performans kriteri veya proje yaşam döngüsü aşamaları kombinasyonlarında şirketlerin hangi konuda sıkıntı çekip veya hangi konularda gelişmeleri gerektikleri konusunda farkındalık oluşturmanın yanı sıra aynı zamanda bu kriterlerde en az tercih edilen ya da daha az işlerine yarayacak teknolojik araçları bilmeleri de karar alma aşamasında daha hızlı aksiyon almalarında yararlı olacaktır.

Bu çalışmanın Türkiye inşaat sektöründe, dijital dönüşüm ve Ar-Ge konularında daha aktif olmak isteyen şirketlere bir yön vereceği, proje yönetim departmanlarının şirketleri daha efektif yönetebilmelere katkı sağlayacağı, geoteknik risk yönetime daha dijital bir bakış sağlamayı ve daha inovatif &sürdürülebilir düşünmede sektöre ışık tutacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Kartam, Nabil A., and Saied A. Kartam, "Risk and its management in the Kuwaiti construction industry: a contractors' perspective." *International journal of project management,* pp. 325-335., 2001.

[2] Ham, Y., Han, K. K., Lin, J. J., & Golparvar-Fard, M., "Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works." *Visualization in Engineering, 4(1),* pp. 1-8., 2016.

[3] Jang, W. S., Healy, W. M., & Skibniewski, M. J., "Wireless sensor networks as part of a web-based building environmental monitoring system.,» *Automation in Construction, 17(6) ,* pp. 729-736, 2008.

[4] B. Akay, "Anadolu Ajansı", https://www.aa.com.tr/tr/gundem/1915-canakkale-koprusunun-yapi-guvenligi-yuksek-teknolojiyle-24-saat-izleniyor/2831357. 26.02.2023

[5] A. Tüneli, "Avrasya Tüneli Projenin İlkleri" [Çevrimiçi]. https://www.avrasyatuneli.com/kurumsal/ne/projenin-ilkleri.

[6] H. ALADAĞ, "Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma" *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi,* no. 10(3), pp. 973-986, 2022.

[7] Lu, Y., Li, Y., Skibniewski, M., Wu, Z., Wang, R., & Le, Y. , "Information and communication technology applications in architecture, engineering, and construction organizations: A 15-year review." *Journal of Management in Engineering, 31(1), A4014010,* 2014.

[8] Eliwa, H. K., Jelodar, M. B., Poshdar, M., & Yi, W. , "Information and Communication Technology Applications in Construction Organizations: A Scientometric Review." *Journal of Information Technology in Construction,* pp. 286-305, 2023.

[9] K.R.Molenaar, "Programmatic cost risk analysis for highway megaprojects." *Journal of construction engineering and management,* pp. 343-353, 2005.

[10] Proverbs, D. G., Holt, G. D., & Cheok, H. Y., "Construction Industry Problems: The Views of UK Construction Directors" *In 16th annual ARCOM conference,* cilt 1, 2020.

[11] "Longman Dictionary of Contemporary English" [Çevrimiçi]. https://www.ldoceonline.com/dictionary/cowboy-builder#google_vignette

[12] Genç, O., Erdiş, E., & Oral, E.. "İnşaat firmalarının karşılaştıkları potansiyel risklerin proje başarısına etkisi." 2018.

[13] Dawoody, H. W., & Gad, G. M(2022). Management and Contract Allocation of Geotechnical Risks on Mega Design-Build Infrastructure Projects. In Construction Research Congress 2022 (pp. 210-218)., "Management and Contract Allocation of Geotechnical Risks on Mega Design-Build

Infrastructure Projects" %1 içinde *In Construction Research Congress 2022*, 2022.

[14] Choi, J., Yun, S., Leite, F., & Mulva, S. P. "Team integration and owner satisfaction: Comparing integrated project delivery with construction management at risk in health care projects." *Journal of Management in Engineering*, no. 35(1), 05018014., 2019.

[15] F. W. J. &. M. J. Barbosa, "Reinventing construction: A route of higher productivity" McKinsey Global Institute, 2017.

[16] A. R. M. H. &. K. J. Schlachter, "Using Linked Building Data for managing temporary construction items" *Automation in Construction*, 2022.

[17] KPMG, "No Turning Back: An Industry to Transcend - Global Construction Survey" KPMG, 2021.

[18] S.M.A. &. N.M.V. Changali, "The construction productivity imperative" 2015.

[19] I. Agenda, "Shaping the future of construction a breakthrough in mindset and technology" In World Economic Forum, 2016.

[20] Maskuriy, R., Selamat, A., Ali, K. N., Maresova, P., & Krejcar, O. , "Industry 4.0 for the construction industry—how ready is the industry?" *Applied Sciences*, no. 9(14), 2819., 2019.

[21] Holcombe, E. A., Beesley, M. E., Vardanega, P. J., & Sorbie, R. , "Urbanisation and landslides: Hazard drivers and better practices" *In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering* , cilt 169, pp. 137-144, 2016.

[22] Cheung, E., & Chan, A. P. , "Risk factors of public-private partnership projects in China: Comparison between the water, power, and transportation sectors." *Journal of urban planning and development*, no. 137(4), pp. 409-415, 2011.

[23] Da Silva, J. B. N., Senna, P., Chousa, A., & Coelho, O., "Data mining and operations research techniques in Supply Chain Risk Management: A bibliometric study." *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, no. 17(3), pp. 1-14., 2020.

[24] Araz, O. M., Choi, T. M., Olson, D. L., & Salman, F. S. , "Role of analytics for operational risk management in the era of big data." *Decision Sciences*, no. 51(6), 1, pp. 1320-1346, 2020.

[25] PMI: Project Management Institute https://www.pmi.org/.

[26] ISO ISO 31000 https://www.iso.org/iso-31000-risk-management.html

[27] BSI, "BS ISO 31000: Risk management principles and guidelines." BSI, London, UK, 2010.

[28] G. M. Becker, “A practical risk management approach.” %1 içinde *Paper presented at PMI® Global Congress 2004*, North America, Anaheim, CA. Newtown Square, 2004.

[29] “Detailed Overview” https://www.astm.org/about/overview/detailed-overview.html.

[30] ASTM, “Environmental Assessment Standards and Risk Management Standards” ASTM. : https://www.astm.org/products-services/standards-and-publications/standards/environmental-assessment-standards-and-risk-management-standards.html.

[31] ASTM, “Standard Classification for Building Elements and Related Sitework—UNIFORMAT II” ASTM, :https://www.astm.org/e1557-09r20e01.html. [Erişildi: 6 May 2020].

[32] AASHTO, “AASHTO”. : https://transportation.org/.

[33] AASHTO, “AASHTO Guide for Enterprise Risk Management - First Edition” American Association of State Highway and Transportation Officials, 2016 .

[34] “TÜRK STANDARDI” TSE. [Çevrimiçi]. : https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073085090082048065111101120107108114 30.09.2019.

[35] C. Wohlin, “Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering” %1 içinde *In Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering*, 2014.

[36] Kamble, S. S., & Gunasekaran, A., “Big data-driven supply chain performance measurement system: a review and framework for implementation.” *International journal of production research,* cilt 58(1), pp. 65-86, 2020.

[37] Sarker, M. N. I., Peng, Y., Yiran, C., & Shouse, R. C. , “Disaster resilience through big data: Way to environmental sustainability.” *International Journal of Disaster Risk Reduction,* Cilt %1 / %251, 101769, 2020.

[38] Yıldız, U. A., & Topal, S., “Büyük veri kahramanı veri bilimci” *Bilim ve Teknik,* no. 569, pp. 76-79, 2015.

[39] D. Üniversitesi, “Büyük Veri (Big Data) Nedir?” Düzce Üniversitesi https://duzce.edu.tr/

[40] Enterprise, “The History of Email” https://www.exabytes.cloud/blog/

[41] S. Silver, https://info.keylimeinteractive.com/history-of-voice-technology Key Lime Interactive https://info.keylimeinteractive.com/history-of-voice-technology. 21.08.2020.

[42] Onsight,“A short history of tablets” https://www.onsightapp.com/blog/short-history-tablets

[43] “CPDEVICE-How Tablets are Revolutionizing the Construction Site”. https://www.cpdevice.com/how-tablets-are-revolutionizing-the-construction-site/ 12.05.2023.

[44] “The Benefits of Voice over Cloud for the building and construction industry” VoC Phone. https://vocphone.com/news/the-benefits-of-voice-over-cloud-for-the-building-and-construction-industry.

[45] K. Wong, “Unlocking the Voice-Enabled Construction Site,» [Çevrimiçi]. : https://rain.agency/raindrops/unlocking-voice-enabled-construction-site.

[46] E. J. Heady, “Effective Use of Email for Construction Project Communications and Documentation”: https://www.smithcurrie.com/

[47] de la Garza, J. M., & Howitt, I. , “Wireless communication and computing at the construction jobsite.” *Automation in Construction,* no. 7(4), pp. 327-347, 1998.

[48] Domdouzis, K., Anumba, C., & Thorpe, A. , “Wireless sensor networking in the construction industry-prospects and problems.” *In Proc. 20th Annu. ARCOM Conf ,* pp. 1107-1120, 2004, September .

[49] Bhadoria, R. S., Nimbalkar, A., & Saxena, N., “On the role of blockchain technology in the Internet of Things.” *Advanced applications of blockchain technology,* pp. 129-140, 2020.

[50] H. Breuer, “Machines” siliconrepublic, 17 9 2017. [Çevrimiçi]. https://www.siliconrepublic.com/machines/brooklyn-microgrid-blockchain-energy-networks#

[51] Aggarwal, S., & Kumar, N. , “Blockchain 2.0: smart contracts.,» *In Advances in Computers ,* cilt 121, pp. 301-322, 2021.

[52] M. Von Haller Gronbaek, “Blockchain 2.0, smart contracts and challenges.,» *Comput. Law, SCL Mag,* no. 1, pp. 1-5, 2016.

[53] Turk, Ž., & Klinc, R., “Potentials of blockchain technology for construction management.,» *Procedia engineering, 196, 638-645.*, no. 196, pp. 638-645, 2017.

[54] “ScienceSoft’s Tech Stack for Blockchain Implementation,» ScienceSoft, [Çevrimiçi]. : https://www.scnsoft.com/blockchain/implementation

[55] Kim, K., Lee, G., & Kim, S. , “A study on the application of blockchain technology in the construction industry.” *KSCE Journal of Civil Engineering,* cilt 24, no. 9, pp. 2561-2571, 2020.

[56] P. PRO, “Primavera P6 nedir?” PRIME PRO, [Çevrimiçi]. : https://primepmo.com/tr/primavera-p6-nedir/.

[57] M. Thakur, “Primavera vs MS-Project,» EDUCBA, 24 5 2023. [Çevrimiçi]. : https://www.educba.com/primavera-vs-ms-project/.

[58] Abdel-Khalek, H. A., Aziz, R. F., & Abdellatif, I. A., "Prepare and analysis for claims in construction projects using Primavera Contract Management (PCM)." *Alexandria Engineering Journal,* cilt 58(2), pp. 487-497, 2019.

[59] I. McCue, "The History of ERP" ORACLE NETSUITE, 12 8 2020. [Çevrimiçi]. : https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/erp/erp-history.shtml.

[60] G. Rehal, "ERP in Construction Industry and Why You Need It?" Sofware Suggest , [Çevrimiçi]. : https://www.softwaresuggest.com/blog/erp-in-construction-industry/.

[61] Chang, A. S., & Lee, K. P. , "Information needs and direction for construction ERP development." %1 içinde *In 10th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Civil-Comp 2005.*, 2005, Aralık.

[62] Lee, S., & Kim, D. , "The Effects of Industry Classification on a Successful ERP Implementation Model." *J. Inf. Process. Syst.,* cilt 12(1) , pp. 169-181, 2016.

[63] Ozorhon, B., & Cinar, E. , "Critical success factors of enterprise resource planning implementation in construction: Case of Turkey." *Journal of Management in Engineering,* pp. 31(6), 04015014, 2015.

[64] Yadav, N., Sadeghi, N., & Kang, J. , "On-body placement of wearable safety promotion devices based on wireless communication for construction workers-on-foot: state-of-the-art review." *Sensors,* pp. 22(9), 3134, 2022.

[65] D. Kindy, "The History of the Hard Hat" Smithsonian Magazine https://www.smithsonianmag.com/innovation/history-hard-hat-180974238/. 21.02.2020.

[66] "The Hıstory Of The Hard Hat" Pro Choıce Safety Gear By Pip, https://prochoicesafetygear.com/ppe/blog/hard-hats/the-history-of-the-hard-hat/

[67] "Occupational Safety and Health Administration" https://www.osha.gov/.

[68] Abderrahim, M., Garcia, E., Diez, R., & Balaguer, C. , "A mechatronics security system for the construction site." *Automation in construction,* cilt 14(4), pp. 460-466, 2005.

[69] Ruff, T. M., & Frederick, L. D. , "Development and testing of a tag-based backup warning system for construction equipment" SAE Technical Paper, (No. 2007-01-4233) , 2007.

[70] Teizer, J., Allread, B. S., Fullerton, C. E., & Hinze, J. , "Autonomous pro-active real-time construction worker and equipment operator proximity safety alert system." *Automation in construction,* cilt 19(5), pp. 630-640, 2010.

[71] Thomas, S.; Teizer, J.; Reynolds, M., " SmartHat: A Battery-free Worker Safety Device Employing Passive UHF RFID Technology." *In Proceedings*

of the International Conference on RFID, Orlando, FL, USA, 12–14 April 2011. , 12–14 Nisan 2011.

[72] Hines, K.; Lages,W.; Somasundaram, N.; Martin, T. , "Protecting Workers with Smart E-Vests." *In Proceedings of the International Pervasive and Ubiquitous Computing and International Symposium on Wearable Computers, New York, NY, USA, 11–15* , pp. 101-104, 2015 .

[73] "Project MAC" DARPA, https://www.darpa.mil/about-us/timeline/project-mac.

[74] WaMessage, https://wamessage.app/tr/is-surecleri-otomasyon.

[75] V. Prasad, https://www.linkedin.com/pulse/cloud-computing-construction-enhancing-collaboration-data-prasad/ 10.05.2023.

[76] Jardim-Goncalves, R., & Grilo, A. , "SOA4BIM: Putting the building and construction industry in the Single European Information Space" *Automation in construction*, no. 19(4), pp. 388-397, 2010.

[77] Senescu, R. R., & Haymaker, J. R., "Evaluating and improving the effectiveness and efficiency of design process communication." *Advanced Engineering Informatics*, cilt 27(2), pp. 299-313, 2013.

[78] Abedi, M., Rawai, N. M., Fathi, M. S., & Mirasa, A. K. , "Cloud computing as a construction collaboration tool for precast supply chain management." *Jurnal Teknologi*, no. 70(7), pp. 1-7, 2014.

[79] Sureshkumar, M.P. and Vennila, G., "Structural Health Monitoring Using Iot" *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, cilt 1, no. 6, p. 144 – 147, 2019.

[80] Solanki, A., Sarkar, D., & Kapdi, P., "Evaluation of key performance indicators of Internet of Things and Cloud Computing for infrastructure projects in Gujarat, India through Consistent Fuzzy Preference Relations approach." *International Journal of Construction Management*, pp. 1-15, 2022.

[81] G. Ellis, "Essential Construction KPIs to Improve Profits and Productivity" AUTODESK Construction Cloud https://constructionblog.autodesk.com 26.04.2023

[82] Cuellar, S., Grisales, S., & Castaneda, D. I. , "Constructing tomorrow: A multifaceted exploration of Industry 4.0 scientific, patents, and market trend." *Automation in Construction*, Cilt %1 / %2156, 105113, 2023.

[83] Cohn, M. Z., & Dinovitzer, A. S., "Application of structural optimization." *Journal of Structural Engineering*, cilt 120(2) , pp. 617-650, 1994.

[84] L. O. UĞUR, "MOORA optimizasyon yaklaşımı ile inşaat proje müdürü seçimi: Çok kriterli bir karar verme uygulaması." *Politeknik dergisi*, cilt 20(3) , pp. 717-723, 2017.

[85] Dillen, W., Lombaert, G., Mertens, R., Van Beurden, H., Jaspaert, D., & Schevenels, M. , "Optimization in a realistic structural engineering context: Redesign of the Market Hall in Ghent." *Engineering Structures,* pp. 228, 111473, 2021.

[86] "A (mostly) quick history of smartphones" cellularsales. https://www.cellularsales.com/blog/a-mostly-quick-history-of-smartphones/ 28.09.2021.

[87] Dzeng, R. J., Fang, Y. C., & Chen, I. C. , "A feasibility study of using smartphone built-in accelerometers to detect fall portents." *Automation in Construction,* cilt 38 , pp. 74-86, 2014.

[88] C. Bostancı, "SAP Mobile Start Nedir?", https://mdpgroup.com/blog/sap-mobil-start-nedir/.

[89] "Discover the possibilities of AI with watsonx" IBM , 2023. https://www.ibm.com/uk-en.

[90] Loryn P. Riggiola, Alana T. Sliwinski, "The Use (and Misuse) of Emails in the Construction Industry" https://www.zdlaw.com/media_27.06.2016

[91] M. Davis, "A Brief History of Construction Automation" Mark Davis Design, https://www.markdavisdesign.com/blog/insights-from-the-construction-industry 21.11.2023.

[92] Taylor, M., Wamuziri, S., & Smith, I. , " Automated construction in Japan." %1 içinde *In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering (Vol. 156, No. 1, pp. 34-41). Thomas Telford Ltd.*, (2003, February).

[93] J. Maeda, "Current research and development and approach to future automated construction in Japan.,» *In Construction Research Congress 2005: Broadening Perspectives* , pp. (pp. 1-11), (2005).

[94] Saidi, K. S., Bock, T., & Georgoulas, C. "Robotics in construction.,» *In Springer handbook of robotics. Cham: Springer International Publishing.*, pp. (pp. 1493-1520), (2016).

[95] Suresh, P., Daniel, J. V., Parthasarathy, V., & Aswathy, R. H. "A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment." *In 2014 International conference on science engineering and management,* (2014, November).

[96] Paterson, G., Crowther, P., & Taylor, S., "Design for disassembly and recycling-using radio frequency identification (RFID) technology to facilitate whole life actions for sustainable construction." *In CESB 07 Prague: International Conference-Central Europe Towards Sustainable Building: proceedings. CBS Servis.*, cilt 2, (2007).

[97] Dave, B., Kubler, S., Pikas, E., Holmström, J., Singh, V., Främling, K., & Koskela, L. , "Intelligent products: shifting the production control logic in construction (with Lean and BIM)." *In Proceedings of the 23rd Annual Conference of the Internation,* (2015).

[98] Wang, M., Qiu, S., Dong, H., & Wang, Y. "Design an IoT-based building management cloud platform for green buildings." *In 2017 Chinese Automation Congress (CAC)* , pp. pp. 5663-5667. IEEE., (2017, October). .

[99] Y. Baba, "15 Examples of the Use of Augmented Reality (AR) in Construction" https://capsulesight.com/arglasses/15-examples-of-the-use-of-augmented-reality-ar-in-construction/. 07.04.2023.

[100] "Extended Reality: An Overview of Augmented, Virtual, & Mixed Reality" Launch Team Incorporated https://www.launchteaminc.com/blog/extended-reality-an-overview-of-augmented-virtual-mixed-reality.

[101] Kamat, V. R., & El-Tawil, S. , "Rapid post-disaster evaluation of building damage using augmented situational visualization." *In Construction Research Congress 2005: Broadening Perspectives*, pp. pp. 1-10, 2005 .

[102] Hammad[1], A., Khabeer, B., Mozaffari, E., Devarakonda, P., & Bauchkar, P. , "Augmented reality interaction model for mobile infrastructure management systems." *1st CSCE Specialty Conference on Infrastructure Technologies, Management and Policy*, (2005).

[103] Behzadan, A. H., & Kamat, V. R., "Interactive augmented reality visualization for improved damage prevention and maintenance of underground infrastructure." %1 içinde *In Construction Research Congress 2009: Building a Sustainable Future*, 2009.

[104] Zollmann, S., Hoppe, C., Kluckner, S., Poglitsch, C., Bischof, H., & Reitmayr, G. , "(2014). Augmented reality for construction site monitoring and documentation." *Proceedings of the IEEE*, cilt 102(2) , pp. 137-154, 2014.

[105] Chai, C. S., LAU, S. E. N., AMINUDIN, E., LOO, S. C., GHEISARI, M., & ABDALRAHMAN, M. A., "Integration of Augmented Reality in Building Information Modeling: Applicability and Practicality." %1 içinde *WIT Transactions on The Built Environment, 192.*, (2019).

[106] El Kassis, R., Ayer, S. K., & El Asmar, M. , "Augmented Reality Applications for Synchronized Communication in Construction: A Review of Challenges and Opportunities." *Applied Sciences, 13(13), 7614.*, (2023).

[107] G. Scott, "Fuzzy Logic: Definition, Meaning, Examples, and History" Investopedia, https://www.investopedia.com/terms/f/fuzzy-logic.asp#citation-4. 04.04.2023.

[108] Paek, J. H., Lee, Y. W., & Napier, T. R. , "Selection of design/build proposal using fuzzy-logic system." *Journal of Construction Engineering and Management, 118(2), 303-317.*, 1992.

[109] Paek, J. H., Lee, Y. W., & Ock, J. H. , "(1993). Pricing construction risk: fuzzy set application." *Journal of construction engineering and , 119(4), 743-756.*, cilt 119(4), pp. 743-756, 1993.

[110] Choi, H. H., Cho, H. N., & Seo, J. W., "Risk assessment methodology for underground construction projects." *Journal of construction Engineering and management*, cilt 130, no. 2, pp. 258-272, (2004)..

[111] C. Eastman, "An Outline of the Building Description System. Research Report No. 50" Carnegie-Mellon Univ., 1974 .

[112] K. Miller, https://aecmag.com/bim/exploring-bims-hidden-past-history-of-bim/. 2021

[113] W. v. ark., "BIM–history and trends." %1 içinde *11th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality.* , Weimar , 2011 .

[114] Cao, D., Li, H., Wang, G., & Huang, T., "Identifying and contextualising the motivations for BIM implementation in construction projects: An empirical study in China." *International journal of project management*, cilt 35, no. 4, pp. 658-669., 2017.

[115] A. N. T. H. M. A. &. H. U. R. Tak, "Evaluating industrial modularization strategies: Local vs. overseas fabrication." *Automation in Construction, 114, 103175.* , 2020.

[116] Tak, A. N., Taghaddos, H., Mousaei, A., Bolourani, A., & Hermann, U. , "BIM-based 4D mobile crane simulation and onsite operation management." *Automation in Construction, 128, 103766.* , 2021.

[117] "BIM and rısk analysis" InterFocus, https://www.mynewlab.com/resources/building-information-modelling/bim-and-risk-analysis/.

[118] Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W., "A review of risk management through BIM and BIM-related technologies." *Safety science*, cilt 97, pp. 88-98, 2017.

[119] H. M. B. a. a. t. t. o. a. m. p. r. m. I. J. o. M. E. 7. Alzoubi, "BIM as a tool to optimize and manage project risk management." *International Journal of Mechanical Engineering*, cilt 7, no. 1, 2022.

[120] Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. ,"BIM-based risk management: challenges and opportunities." (2015).

[121] "Evolution of GIS." GEOINFOTECH , 4 January 2021. https://geoinfotech.ng/evolution-of-gis/

[122] Cheng, M. Y., & O'Connor, J. T., "Site layout of construction temporary facilities using an enhanced-geographic information system (GIS)" *Automation in construction*, cilt 3, no. 1, pp. 11-19, 1994.

[123] Cheng, M. Y., & Chang, G. L., "Automating utility route design and planning through GIS." *Automation in Construction.*, cilt 10, no. 4, pp. 507-516, 2001.

[124] Bansal, V. K., & Pal, M., "Potential of geographic information systems in building cost estimation and visualization." *Automation in Construction,* cilt 16, no. 3, pp. 311-322, 2007.

[125] Karan, E. P., & Irizarry, J., "Extending BIM interoperability to preconstruction operations using geospatial analyses and semantic web services." *Automation in Construction,* cilt 53, pp. 1-12, 2015.

[126] "A Brief History of Camera Technologies" emergentvisiontec, https://emergentvisiontec.com/tech-portal/a-brief-history-of-camera-technologies/.

[127] Cheok, G. S., Stone, W. C., Lipman, R. R., & Witzgall, C. , "Ladars for construction assessment and update." *Automation in Construction,* cilt 9, no. (5-6), pp. 463-477, 2000.

[128] Cheng, C. C., Cheng, T. M., & Chiang, C. H. , "Defect detection of concrete structures using both infrared thermography and elastic waves" *Automation in Construction,* cilt 18, no. 1, pp. 87-92, 2008.

[129] Son, H., Kim, C., & Choi, K. , "Rapid 3D object detection and modeling using range data from 3D range imaging camera for heavy equipment operation." *Automation in Construction,* cilt 19, no. 7, pp. 898-906, 2010.

[130] Dinh, K., Gucunski, N., Tran, K., Novo, A., & Nguyen, T. , "Full-resolution 3D imaging for concrete structures with dual-polarization GPR" *Automation in Construction, 125, 103652.*, 2021.

[131] R. Karjian, "History and evolution of machine learning: A timeline" TechTarget , https://www.techtarget.com/whatis/A-Timeline-of-Machine-Learning-History. 22 Eylül 2023.

[132] Arciszewski, T., Michalski, R. S., & Dybala, T. , "STAR methodology-based learning about construction accidents and their prevention." *Automation in construction,* cilt 4 , no. 1, pp. 75-85, 1995.

[133] Choi, M., & Lee, G. , "Decision tree for selecting retaining wall systems based on logistic regression analysis." *Automation in Construction,* cilt 19, no. 7, pp. 917-928, 2010.

[134] Sakhakarmi, S., Park, J., & Cho, C. , "Enhanced machine learning classification accuracy for scaffolding safety using increased features." *Journal of construction engineering and management,* cilt 145, no. 2, p. 04018133, 2019.

[135] Jebelli, H., Choi, B., & Lee, S. , "Application of wearable biosensors to construction sites. I: Assessing workers' stress." *Journal of Construction Engineering and Management,* cilt 145, no. 12, p. 04019079, 2019.

[136] "History of analysis and design methods for process modeling,» System Architect https://support.unicomsi.com/manuals/systemarchitect/114100/starthelp.html#page/Architecting_and_designing%2FStructuredAnalysisDesign1002769.html.

[137] Y. Yamazaki, "Integrated design and construction planning system for computer integrated construction.,» *Automation in Construction,* cilt 1, no. 1, pp. 21-26, 1992.

[138] J. F. Cotton, "Solid modeling as a tool for constructing solar envelopes.,» *Automation in construction,* cilt 5, no. 3, pp. 185-192, 1996.

[139] Whyte, J., Bouchlaghem, N., Thorpe, A., & McCaffer, R. , "From CAD to virtual reality: modelling approaches, data exchange and interactive 3D building design tools.,» *Automation in construction,* cilt 10, no. 1, pp. 43-55, 2000.

[140] Papamichael, K., Chauvet, H., LaPorta, J., & Dandridge, R. , "Product modeling for computer-aided decision-making.,» *Automation in construction,* cilt 8, no. 3, pp. 339-350, 1999.

[141] Hwang, K. E., Kim, I., Kim, J. I., & Cha, S. H., "Client-engaged collaborative pre-design framework for modular housing." *Automation in Construction,* Cilt %1 / %2156, 105123, 2023.

[142] "What is Geotechnical Engineering?" https://www.hlnengineering.co.uk/geotechnical-engineering/.

[143] "Mevzuat Bilgi Sistemi" T.C. Cumhurbaşkanlığı İdari İşler Başkanlığı Hukuk ve Mevzuat Genel Müdürlüğü, https://www.mevzuat.gov.tr/.

[144] "Exploring the Historical Evolution of Geotechnical Engineering" SAALG GEOMECHANICS, https://www.saalg.com/post/exploring-the-historical-evolution-of-geotechnical-engineering-from-ancient-civilizations-to.

[145] Chwała, M., Phoon, K. K., Uzielli, M., Zhang, J., Zhang, L., & Ching, J. , "Time capsule for geotechnical risk and reliability.,» *Georisk: Assessment and management of risk for engineered systems and geohazards,* cilt 17, no. 3, pp. 439-466, (2023).

[146] P. Lumb, "The variability of natural soils." *Canadian geotechnical journal,* cilt 3, no. 2, pp. 74-97, 1966.

[147] Corotis, R. B., Azzouz, A. S., & Krizek, R. J. , "Statistical evaluation of soil index properties and constrained modulus." pp. 273-293., 1975.

[148] Kay, J. N. , "Safety factor evaluation for single piles in sand." *Journal of the Geotechnical Engineering Division,* cilt 102 , no. 10, pp. 1093-1108, 1976.

[149] S. Lacasse, "Hazard, risk and reliability in geotechnical practice." %1 içinde *55th Rankine Lecture.*, 2015.

[150] Y. Honjo, "Challenges in geotechnical reliability based design." %1 içinde *In Proceedings of 3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk (pp. 11-27).*, 2011, June .

[151] Chaulya, S., & Prasad, G. M. , Sensing and monitoring technologies for mines and hazardous areas: monitoring and prediction technologies., Elsevier, 2016.

[152] Kazemzadeh-Parsi, M. J., & Daneshmand, F. , "Three dimensional smoothed fixed grid finite element method for the solution of unconfined seepage problems." *Finite Elements in Analysis and Design, 64*, pp. 24-35, 2013.

[153] S. Yuan, "Discussion on anti-seepage technologies in the construction of small-scale rural water conservancy projects." *Journal of World Architecture*, cilt 6, no. 2, pp. 19-24., 2022.

[154] "Water Seepage and Leakage Investigation,» CASTCO https://www.castco.com.hk/eng/our-services/survey/building-survey/details/water-seepage-and-leakage-investigation.

[155] Song, S. J., & Jang, Y. G., "Construction of digital twin geotechnical resistance model for liquefaction risk evaluation." %1 içinde *In Proceedings of the 2nd International Symposium on Computer Science and Intelligent Control*, 2018, September.

[156] Lavasan, A. A., Ghazavi, M., von Blumenthal, A., & Schanz, T. , "Bearing capacity of interfering strip footings." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 04018003.*, cilt 144, no. 3, 2018 .

[157] Zhang, M., Zhu, H., Yang, J., Qiu, C., & Javadi, A. A. , "Experimental study of a 3D printed geogrid embedded with FBG sensor for reinforcement of subgrade with underlying cave." *Geotextiles and Geomembranes.*, 2023.

[158] Y.-S. Song, "Advances in Civil Engineering,» Hindawi, 27 September 2019. https://www.hindawi.com/journals/ace/si/529787/.

[159] "Batang Kali landslide: Geotechnical Society offers technical assistance to investigate disaster" LO TERN CHERN. https://www.thestar.com.my/news/nation/2022/12/17/batang-kali-landslide-geotechnical-society-offers-technical-assistance-to-investigate-disaster. 17.12.2022.

[160] "Why is Geotechnical Engineering Important?" Central Geotechnical Services https://centralgeotech.com/uncategorized/geotechnical-engineering-important 18.06. 2023.

[161] "The Benefits of Early Geotech Risk Mitigation" HKA https://www.hka.com/geotech-risks/. 25.10.2023.

[162] GHAURI, P. & GRONHAUG, K. , "Research Methods in Business Studies, Harlow, FT/Prentice Hall" 2005.

[163] CARMINES, E. G. & ZELLER, R. A. , "Reliability and Validity Assessment, Newbury Park, CA, SAGE" 1979.

[164] S. Ellison, "Re: How to Check the normality of survey data collected on likert scale questionnaire?. Retrieved from: researchgate" (2017). https://www.researchgate.net/post/How_to_Check_the_normality_of_survey_data_collected_on_likert_scale_questionnaire/58d523ad3.

[165] H. Y. Kim, "Statistical notes for clinical researchers: assessing normal distribution (2) using skewness and kurtosis." *Restorative dentistry & endodontics*, cilt 38, no. 1, p. 52, 2013.

[166] D. M. Otrar, "Dağılımların Normalliği ve Normalliğin Test Edilmesi" Marmara Üniversitesi https://mustafaotrar.net/istatistik/dagilimlarin-normalligi-ve-normalligin-test-edilmesi/.

[167] B. Academy, "University of Bristol" https://www.bristol.ac.uk

[168] McKight, P. E., & Najab, J. , "Kruskal-wallis test" *The corsini encyclopedia of psychology*, pp. 1-1 , 2010.

[169] Ostertagova, E., Ostertag, O., & Kováč, J. , "Methodology and application of the Kruskal-Wallis test" *Applied mechanics and materials*, cilt 611, pp. 115-120, 2014.

[170] M. L. McHugh, "The Chi-square test of independence" *Biochemia medica*, cilt 23, no. 2, pp. 143-149, 2013.

[171] P. Gurwitz, "What is the difference between the Chi-Square test and the Kruskal-Wallis test? Does it matter which you use?" Quora https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-the-Chi-Square-test-and-the-Kruskal-Wallis-test-Does-it-matter-which-you-use

[172] S. Turney, "Scribbr" Available: https://www.scribbr.com/statistics/chi-square-distribution-table/. [Erişildi: 31.05.2022].

A

ANKET

İNŞAAT PROJELERİNDE GEOTEKNİK RİSKLERİN YÖNETİMİNDE TEKNOLOJİK ARAÇLARIN KULLANIMI

Bu çalışmada, inşaat projelerinde geoteknik risklerin yönetiminde kullanılan teknolojik araçların etkileri risk yönetiminde, proje aşamaları ve proje performans kriterleri özelinde irdelenecektir.

1. KATILIMCI BİLGİLERİ

Adı Soyadı:	
Çalıştığınız şirket/kurum:	
Kurumdaki görevi:	
Kurumun sözleşmedeki rolü:	**İşveren () Yüklenici ( ) Tasarımcı ( ) Danışman ( ) Alt yüklenici ( ) Tedarikçi ( )**
İnşaat Sektöründeki deneyim Süresi:	
Geoteknik uygulamalardaki deneyim süresi	
Mesleği (İnşaat mühendisi/ Mimar vs.):	

2. TEKNOLOJİK ARAÇLAR VE TANIMLARI

Teknolojik araçlar	Tanımlar
Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)	Proje verilerinin 3 boyutlu bir şekilde dijital olarak oluşturulduğu ve yönetildiği, şantiye yerleşim planlaması, proje planlaması, proje koordinatörlüğü, inşaatın izlenmesi, prefabrikasyon, güvenlik gibi faaliyetlerin yürütüldüğü süreçtir.
Telefon / tablet için mobil uygulamalar	Saha ziyaretlerini kolaylaştıran ve hareket halinde işlerin tamamlanmasını sağlayan uygulamalardır. Örneğin; AUTOCAD çizimlerini görüntülemeyi, oluşturmayı ve düzenlemeyi sağlayan DWG görüntüleme uygulaması, e-fatura, beton hesaplayıcı uygulamalar gibi.
Planlama yazılımları	Projeleri ve programları planlamak, yönetmek ve yürütmek için bir çözümdür. Örneğin; Primavera P6, MS Project gibi.

Modelleme Tasarım/ Analiz Yazılımları (Plaxis, K-REA, RS2 DeepSoil, GEO5)	Geoteknik mühendisliğinde çeşitli deformasyon, stabilite analizleri gibi temel hesaplardan kazık-destek tasarımı analizlerinden tünel açma nedeniyle bina hasarı gibi daha spesifik konulara kadar kullanılabilen programlardır.
Mekansal teknolojiler: GIS (Coğrafik Bilgi Sistemi), Akıllı sensörler, vb.)	**GIS:** Çevresel veri analizi ve planlaması için güçlü bir araçtır. GIS, mekansal bilgileri (verileri) dijital bir haritalama ortamında saklar. **Akıllı sensör**: Çevresel girdileri (nem, sıcaklık, duman, su kaçağı) okunabilir verilere dönüştürmek ve daha sonra merkezi bir depoya iletmek için kullanır ve veri dağıtımında çok önemli bir rol oynar. Kablosuz eğim sensörü gibi
Blok zincir	Bir çeşit kayıt defteri olan bu teknoloji, bloklardan oluşan ve bloklar halinde muhafaza edilen şifrelenmiş işlem takibi olanağı sağlayan bir veri tabanı sistemidir. Enerji, su, atık su, yağmur suyu ve katı atık akışlarını gözlemlemek ve kaydetmek için akıllı sayaçlarla birlikte kullanılabilir.
Görüntü yakalanan teknolojiler (Fotogrametri, Video Kamera, Lazer tarama, Lazer-radar (LIDAR/LADAR))	**Lazer tarama:** Binaların veya arazilerin gerçeğe uygun olarak ve ölçüme dayalı hataların minimize edilerek 3 boyutlu ölçümlerinin alınmasında önemlidir. **LIDAR:** Lazer ışınlarını kullanarak, nesnelerin, ölçüm aleti arasındaki uzaklığını ölçmeye yaran bir uzaktan algılama teknolojisidir.
Kablosuz iletişim teknolojileri (Bluetooth, wireless, WSN, WLAN)	Kablosuz teknolojiler, elektromanyetik dalgalar kullanılarak cihazlar arasında bilgi taşınır.
Bulanık mantık / Monte Carlo	**Bulanık mantık** yaklaşımında, insan kararlarında öznellik olduğunu varsayarak öznelliği azaltmak için, keskin ifadeler yerine belirsiz ifadeler modellenebilir. “Biraz soğuk”, “hemen hemen yanlış”, “çok yavaş” gibi ifadelerle sayısal modellemeler oluşturulabilir. Örneğin, betonun elastisite modülünü hesaplamada, geliştirilen bulanık modelde öncelikle basınç dayanımlarının aralığı belirlenir. Basınç dayanımı için fonksiyonlar, elastisite modülü için lineer denklemler ve kural tabanı belirlendikten sonra, verilen bir f_c değeri için elastisite modülü hesaplanır. Örnek: Eğer f_c çok düşükse, o zaman $y_1 = -138.5x\ f_c + 11170$ **Monte Carlo**: Az sayıda veri elde edilmesi durumunda veri sayısını istatistiksel olarak arttırmaya yarayan bir araçtır. Örneğin, Monte Carlo Simülasyonu yardımıyla inşaat ana maliyet kalemlerinin öngörülenden sapma oranlarının, istatistiki dağılım yardımı ile belirlenmesi.

Optimizasyon yöntemleri	Bir işlemin yapılacağı en kısa yoldur. Problemdeki en iyi sonucu bulmak için uygulanan metotlara denir. (Şev duraylılık analizi için optimizasyon algoritması)
Bulut bilişim teknolojileri	Kurulum gerektirmeyen web tabanlı uygulamalar ile işlemsel olarak kolaylık sunması ile birçok verinin saklanmasını ve mekândan bağımsız olarak gerçek zamanlı erişim sağlanmaktadır.
Artırılmış gerçeklik / Sanal gerçeklik / Karma gerçeklik	**Artırılmış gerçeklik:** AR kullanarak bir yapıyı sanal dünyada inşa edip, insan yapı-ekipman etkileşimini önceden test edebilir, ortaya çıkabilecek olumsuzlukları baştan fark edip gerekli önlemleri iş işten geçmeden alabiliriz. **Sanal gerçeklik:** 3D modelleme veya 360 derece video çekimi ile benzetilmiş bir ortam yaratmak için bilgisayar tarafından tasarlanan dijital temsili içinde, tamamen gerçek hayattan arınmış ve soyutlanmış bir deneyim sunar. **Karma gerçeklik**: Gerçek ve sanal ortam nesnelerinin bir arada olduğu ortamdır.
Nesnelerin interneti (IoT)	İnternet üzerinden diğer cihaz ve sistemlerle veri bağlantısı ve paylaşımı amacıyla sensörler, yazılımlar ve diğer teknolojilerle gömülü olan fiziksel nesnelerin ağını açıklar. Örneğin, araç, ekipman takibi ve makina, onarım, tamirat, ihtiyacının tespiti gibi konularda şantiyeyi gitmeden uzaktan yönetmek.
Büyük veri analitiği	Birçok geoteknik problem yüksek oranda nonlineer ve çok değişkenli olduğundan, geleneksel veri tabanı sistemleriyle depolama, yönetme ve analiz işlemleri mümkün değildir. Büyük veri, analiz edilmesi ve verimliliği arttırması için toplanan, bilginin doğru ve güvenilir bir şekilde depolanmasını ve bilgiye ihtiyaç duyulduğunda ulaşılmasını sağlayan anlamlı ve işlenebilir veriler bütünüdür.
Robotik uygulamalar (Otonom araçlar, İnsansız hava aracı, 3 Boyutlu yazıcı)	Sürücüsüz dozer, tuğla dizen robotlar, tünellerde robotik harita sistemi gibi. **İnsansız hava araçları (İHA) veya dronlar:** Sanal tasarımlar ve inşaat iş akışlarını düzenli bir hale getirmede önemlidir. Havadan çekilen yüksek çözünürlüklü fotoğraflar, videolar ve haritalar sayesinde büyük ölçekli projeler daha kısa sürede ve daha düşük maliyetle planlanabiliyor ve yönetilebiliyor. **3 Boyutlu yazıcı:** Sanal ortamda tasarlanan ürünleri somut nesnelere dönüştürür.
Giyilebilir teknoloji (EEG, ECG/EKG sensörleri, UV ışınlarını ölçen sensör, Stresi kontrol eden bileklik, Akıllı baret)	**EEG:** Kullanıcının beyin aktivitesini kaydeden ve verileri akıllı bir cihaza aktaran bu bantlar, uyku kalitesi hakkında da bilgi verir. **EKG sensörü:** Kalp atış hızı sensörüdür. **Akıllı bileklik:** Kalp atışlarını takip ederek stres seviyesini ölçer ve kullanıcısına rahatlama önerileri verir.
Kaynak Planlama ve Araçları (ERP, SAP)	**ERP:** Kurumsal Kaynak Planlama Sistemleri

	SAP: Şirketteki her çalışan için daha iyi bir çalışma ortamı yaratmak için her departmanın ortak verilere erişmesini ve bunları paylaşmasını sağlayan, işletmeler için merkezi bir sistem oluşturur.
Gelişmiş bilgi teknolojileri	E-posta, ses, el bilgisayarı vb. Bu teknolojiler bir iletişim aracı olarak katkı sunar.
Makine öğrenmesi (Radyan tabanlı fonksiyon, destek vektör sistemleri, yapay sinir ağları vb.) / Yapay zekâ	İnsanların öğrenme şekillerini taklit etmek için veri ve algoritmaların kullanımına odaklanıp doğruluğunu kademeli olarak artıran bir tahmin yaklaşımıdır.

3. TEKNOLOJİK ARAÇLARIN GEOTEKNİK RİSK YÖNETİMİNE KATKILARI

Bu ölçekte **1=çok az; 2=az, 3=orta-az, 4=orta, 5=orta-çok, 6=çok, 7=çok aşırı** anlamına gelmektedir. Tecrübelerinize göre aşağıdaki teknolojik araçlar belirtilen geoteknik problemlerin/risklerin, çözülmesine/öngörülmesine 1 (çok az) – 7 (çok aşırı) arasından ne düzeyde katkı sağlar?

Teknolojik Araçlar	**Daha önce kullanmadım**	**Geoteknik Uygulamalarında Karşılaşılan Problemler/Riskler**									
		Şev Kayması	**Zeminde Sıvılaşma**	**Taşıma Gücü Kaybı**	**Kazı Tabanı Çökmesi**	**Şişme/Büzülme**	**Oturma(ani konsolidasyon)**	**Donma-Çözünme Etkisi**	**Yeraltı Suyu Yükselmesi**	**Kazık Stabilitesi**	**Kayaç Süreksizlikleri**
Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)											
Telefon / tablet için mobil uygulamalar											
Planlama yazılımları											
Modelleme Tasarım/ Analiz Yazılımları (Plaxis, K-REA, RS2 DeepSoil, GEO5)											
Mekansal teknolojiler: GIS (Coğrafik Bilgi Sistemi), Akıllı sensörler, vb.)											
Blok zincir											
Görüntü yakalanan teknolojiler (Fotogrametri, Video Kamera, Lazer tarama, Lazer-radar (LIDAR/LADAR))											
Kablosuz iletişim teknolojileri (Bluetooth, wireless, WSN, WLAN)											
Bulanık mantık / Monte Carlo											
Optimizasyon yöntemleri											
Bulut bilişim teknolojileri											

Artırılmış gerçeklik / Sanal gerçeklik / Karma gerçeklik											
Nesnelerin interneti (IoT)											
Büyük veri analitiği											
Robotik uygulamalar (Otonom araçlar, İnsansız hava aracı, 3 Boyutlu yazıcı)											
Giyilebilir teknoloji (EEG, ECG/EKG sensörleri, UV ışınlarını ölçen sensör, Stresi kontrol eden bileklik, Akıllı baret)											
Kaynak Planlama ve Araçları (ERP, SAP)											
Gelişmiş bilgi teknolojileri (E-posta, Ses, El bilgisayarı)											
Makine öğrenmesi (Radyan tabanlı fonksiyon, destek vektör sistemleri, yapay sinir ağları vb.) / Yapay zekâ											

4. TEKNOLOJİK ARAÇLARLA GEOTEKNİK RİSK YÖNETİMİNİN PERFORMANS KRİTERLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRMESİ*

Çalışmanın bu bölümünde teknolojik araçlar ile geoteknik risk yönetiminin, performans kriterlerine sağlayabilecekleri katkı düzeyleri 1-7 ölçeğinde değerlendirilmek istenmiştir. Bu ölçekte **1=çok az; 2=az, 3=orta-az, 4=orta, 5=orta-çok, 6=çok, 7=çok aşırı** anlamına gelmektedir.

Tecrübelerinize göre aşağıdaki teknolojik araçlar ile geoteknik risk yönetiminin performans kriterlerine sağlayabilecekleri katkı düzeyleri 1 (çok az) – 7 (çok aşırı) arasından ne olur?

Teknolojik araçlar	**Performans Kriterleri**					
	Zaman	**Maliyet**	**Kalite**	**İş güvenliği**	**İletişim Yönetimi**	**Sözleşme Yönetimi**
Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)						
Telefon / tablet için mobil uygulamalar						
Planlama yazılımları						
Modelleme Tasarım/ Analiz Yazılımları (Plaxis, K-REA, RS2 DeepSoil, GEO5)						

Mekansal teknolojiler: GIS (Coğrafik Bilgi Sistemi), Akıllı sensörler, vb.)						
Blok zincir						
Görüntü yakalanan teknolojiler (Fotogrametri, Video Kamera, Lazer tarama, Lazer-radar (LIDAR/LADAR))						
Kablosuz iletişim teknolojileri (Bluetooth, wireless, WSN, WLAN)						
Bulanık mantık / Monte Carlo						
Optimizasyon yöntemleri						
Bulut bilişim teknolojileri						
Artırılmış gerçeklik / Sanal gerçeklik / Karma gerçeklik						
Nesnelerin interneti (IoT)						
Büyük veri analitiği						
Robotik uygulamalar (Otonom araçlar, İnsansız hava aracı, 3 Boyutlu yazıcı)						
Giyilebilir teknoloji (EEG, ECG/EKG sensörleri, UV ışınlarını ölçen sensör, Stresi kontrol eden bileklik, Akıllı baret)						
Kaynak Planlama ve Araçları (ERP, SAP)						
Gelişmiş bilgi teknolojileri (E-posta, Ses, El bilgisayarı)						
Makine öğrenmesi (Radyan tabanlı fonksiyon, destek vektör sistemleri, yapay sinir ağları vb.) / Yapay zekâ						

5. TEKNOLOJİK ARAÇLARIN PROJE YAŞAM DÖNGÜSÜ İÇİNDE GEO-RİSK YÖNETİMİNE KATKILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bu bölümünde teknolojik araçların, proje aşamalarında geoteknik risk yönetimine sağlayabilecekleri katkı düzeyleri 1-7 ölçeğinde değerlendirilmek istenmiştir. Bu ölçekte **1=çok az; 2=az, 3=orta-az, 4=orta, 5=orta-çok, 6=çok, 7=çok aşırı** anlamına gelmektedir. Tecrübelerinize göre, aşağıdaki teknolojik araçların proje aşamalarında geoteknik risk yönetimine sağlayabilecekleri katkı düzeyleri 1(çok az) – 7(çok aşırı) arasından ne olur?

Teknolojik araçlar	Proje Yönetimi Yaşam Döngüsü Aşamaları				
	Başlangıç	**Planlama**	**Yürütme**	**İzleme ve Kontrol etme**	**Kapanış**
Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)					
Telefon / tablet için mobil uygulamalar					
Planlama yazılımları					
Modelleme Tasarım/ Analiz Yazılımları (Plaxis, K-REA, RS2 DeepSoil, GEO5)					
Mekansal teknolojiler: GIS (Coğrafik Bilgi Sistemi), Akıllı sensörler, vb.)					
Blok zincir					
Görüntü yakalanan teknolojiler (Fotogrametri, Video Kamera, Lazer tarama, Lazer-radar (LIDAR/LADAR))					
Kablosuz iletişim teknolojileri (Bluetooth, wireless, WSN, WLAN)					
Bulanık mantık / Monte Carlo					
Optimizasyon yöntemleri					
Bulut bilişim teknolojileri					
Artırılmış gerçeklik / Sanal gerçeklik / Karma gerçeklik					
Nesnelerin interneti (IoT)					
Büyük veri analitiği					
Robotik uygulamalar (Otonom araçlar, İnsansız hava aracı, 3 Boyutlu yazıcı)					

Giyilebilir teknoloji (EEG, ECG/EKG sensörleri, UV ışınlarını ölçen sensör, Stresi kontrol eden bileklik, Akıllı baret)					
Kaynak Planlama ve Araçları (ERP, SAP)					
Gelişmiş bilgi teknolojileri (E-posta, Ses, El bilgisayarı)					
Makine öğrenmesi (Radyan tabanlı fonksiyon, destek vektör sistemleri, yapay sinir ağları vb.) / Yapay zekâ					

6. GÖRÜŞ/ÖNERİLERİNİZ

Anketle ilgili görüş/önerileriniz varsa lütfen belirtiniz.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Calik, I., Gurgun, A. P., and Ozcoban, M., Methods and Tools Used for Management of Geotechnical Risks in Construction Projects, Proceedings of International Structural Engineering and Construction, 10(1), 2023.